

Peter König
Andreas Lipp

Lehrbuch für Forschungstaucher

Manuskript einer Vorlesung am
Institut für Meereskunde der Universität Hamburg

Eine Haftung der Autoren für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Copyright © 2007 by Peter König, Andreas Lipp, Durchdeich 54, D-21037 Hamburg
Alle Rechte vorbehalten.

5. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage Juni 2007

Der Abdruck der Tabellen DECO 2000 im Kapitel 8 erfolgte mit freundlicher Genehmigung des VDST e.V..

0. INHALTSVERZEICHNIS

1. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

- 1.1. Begriffe, Definitionen
 - 1.1.1. Kraft, Masse, Gewicht
 - 1.1.2. Dichte
 - 1.1.3. Spezifisches Gewicht
 - 1.1.4. Temperatur (kinetische Gastheorie)
 - 1.1.5. Wärmemenge
 - 1.1.6. Luftmenge (in "Barlitern")
- 1.2. Druck
 - 1.2.0. Allgemeines
 - 1.2.1. Atmosphärendruck (Luftdruck)
 - 1.2.2. Hydrostatischer Druck (Wasserdruck)
 - 1.2.3. Gesamtdruck (Umgebungsdruck, absoluter Druck)
- 1.3. Auftrieb
 - 1.3.1. Auftriebskraft
 - 1.3.2. Archimedisches Prinzip
- 1.4. Atemgase
 - 1.4.1. Wichtige Gase
 - 1.4.2. Luft
 - 1.4.3. Partialdruck
- 1.5. Gasgesetze für ideale Gase
 - 1.5.1. Gesetz von Boyle-Mariotte (Kompressibilität von Gasen)
 - 1.5.2. Gesetz von Charles
 - 1.5.3. Gesetz von Gay-Lussac (*oder auch 2. Gesetz von Charles*)
 - 1.5.4. Allgemeines Gasgesetz
 - 1.5.5. Gesetz von Dalton (Partialdruckgesetz)
 - 1.5.6. Gesetz von Henry, Halbwertskurve
 - 1.5.7. Berechnung der maximalen Einsattiefe für ein Gas i in einem Gasgemisch
 - 1.5.8. Zusammenfassung
- 1.6. Optik (Sehen unter Wasser)
 - 1.6.1. Lichtbrechung (Refraktion)
 - 1.6.2. Farben und Lichtstärke (Helligkeit) unter Wasser
 - 1.6.3. Dunkelheitsgewöhnung
- 1.7. Akustik (Hören unter Wasser)
- 1.8. Temperatur-Schichtung in Süßwasserseen und biologische Produktion
- 1.9. Wärmetransport, Kälteschutz
- 1.10. Diffusion
 - 1.10.1. Ficksche Diffusionsgesetze

2. ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE

- 2.1. Atmung
 - 2.1.1. Atemapparat
 - 2.1.2. Atemmechanik
 - 2.1.3. Atemgrößen (Atemrhythmus, -volumen)
 - 2.1.4. Surfactant ('surface active agent')
 - 2.1.5. Ertrinken und Beinahe-Ertrinken
 - 2.1.6. Spiratmung
- 2.2. Herz- und Kreislauf
 - 2.2.1. Blutdruck und Blutdruckmessung
 - 2.2.2. Schock und Schockindex
 - 2.2.3. Foramen ovale
 - 2.2.4. Atemfunktion des Blutes
 - 2.2.5. Transport von Sauerstoff und Kohlendioxid im Blut (*Hintergrundwissen*)
- 2.3. Gasgefüllte Körperhöhlräume
- 2.4. Ohr
 - 2.4.1. Äußerer Gehörgang: Entzündung / Vorbeugung
 - 2.4.2. Druckausgleichstechniken
- 2.5. Ohnmacht (Blackout) beim Tauchen
 - 2.5.1. Schwimmbad-Blackout
 - 2.5.2. Geräte-Blackout
 - 2.5.3. Aufstiegs-Blackout (Sauerstoffmangel beim Apnoetieftauchen)
- 2.6. Tauchreflex und Wasser-Nasen-Reflex
- 2.7. Essoufflement (Außer Atem, Kurzatmigkeit)
- 2.8. Dehydratation

3. GERÄTEKUNDE

- 3.0. Übersicht: Systeme bei autonomen Tauchgeräten
- 3.1. Rechtsvorschriften
 - 3.1.1. Allgemein gültige Rechtsvorschriften (Gesetze)
 - 3.1.2. Überblick „Technischer Arbeitsschutz“
 - 3.1.3. Arbeitsschutzrecht (Gesetze und Verordnungen)
 - 3.1.4. Normen (allgemein anerkannte Regeln der Technik)
 - 3.1.5. Berufsgenossenschaftliche (BG) Vorschriften (u. a. Unfallverhütungsvorschriften), Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Grundsätze und Informationen
 - 3.1.6. DIN EN 250: Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft (Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung)
- 3.2. Druckluftflaschen [Pressluftflaschen] und Ventile
 - 3.2.1. Flaschenmaterial: Stahl- oder Aluminiumlegierung
 - 3.2.2. Gasflaschen und deren Kennzeichnung
 - 3.2.3. Transport von Gasflaschen: GGVS (Gefahrgutverordnung Straße) und ADR

- 3.2.4. Wiederkehrende Prüfung: Betriebssicherheitsverordnung [BetrSichV]
- 3.2.5. Arbeitsschritte bei der „Wiederkehrenden Prüfung“
- 3.2.6. Korrosion an Druckluftflaschen
- 3.2.7. Vergleich: Aluminiumflaschen ↔ Stahlflaschen
- 3.2.8. Flaschenventil(e)
 - 3.2.8.1. Funktion
- 3.2.9. Einschraubgewinde
- 3.2.10. Anschlussstutzen (Seitenstutzen)
- 3.2.11. Wasserschutzrohr und Sinterfilter
- 3.2.12. Sicherheitseinrichtungen
- 3.3. Atemregler
 - 3.3.1. Atemregler der Firma POSEIDON (Schweden)
 - 3.3.1.1. Atemregler Cyklon 300 und Cyklon 5000
 - 3.3.1.2. Atemregler POSEIDON XSTREAM
 - 3.3.2. Atemregler des Leichttauchgerätes PA 38
- 3.4. Auftriebsmittel
 - 3.4.0. Vorgeschriebene Auftriebsmittel für Forschungstaucher
 - 3.4.1. Auftriebsmittel: DIN EN 1809 und DIN EN 12628
 - 3.4.2. Jackets
 - 3.4.3. Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise
 - 3.4.4. Ohnmachtsichere Auftriebsrettungsmittel der Firma A. P. Valves
 - 3.4.5. BUDDY Stabilitätswesten der Firma A. P. Valves
- 3.5. *z. Zt. nicht belegt*
- 3.6. Taucherdruckkammer (inkl. Druckkammer-Behandlung)
 - 3.6.1. Anforderungen (Bau- und Ausrüstung)
 - 3.6.2. Behandlung in der Druckkammer
- 3.7. Atemluft-Kompressor (-Verdichter)
 - 3.7.1. Vorschriften, Normen, etc.
 - 3.7.2. Aufbau und Funktion
 - 3.7.3. Betrieb
- 3.8. Kommunikation
 - 3.8.1. Signalleine, Blub
 - 3.8.2. Tauchertelefon
 - 3.8.3. Drahtlose Sprech- und Signalverbindung
- 3.9. Rettungskoffer
 - 3.9.1. Besondere Wartungshinweise für das Sauerstoffatmungsgerät
- 3.10. Seemannschaft
 - 3.10.1. Schlauchboot
 - 3.10.2. Außenborder
 - 3.10.3. Anker
 - 3.10.4. Knoten und Steke
 - 3.10.5. Seefunksprechverkehr, Seenotfunksystem
 - 3.10.6. Signalmittel
 - 3.10.7. Seekarte
- 3.11. Funktionsstörungen von Tauchgeräten durch Vereisung
- 3.12. UW-Schutzbekleidung

- 3.12.1. Nasstauchanzüge
- 3.12.2. Trockentauchanzüge
- 3.13. Tauchzubehör
 - 3.13.1. Halbmasken, Vollmasken, Taucherhelme
 - 3.13.2. Flossen
 - 3.13.3. Tauchermesser, Rettungsschere
 - 3.13.4. Tiefenmesser
 - 3.13.5. Taucheruhr
 - 3.13.6. Tauchcomputer
 - 3.13.7. Taucherschutzhelm
 - 3.13.8. Taucherkompass
 - 3.13.9. Unterwasserlampen
 - 3.13.10. Taucherbleigewichte, Gewichtsgürtel
 - 3.13.11. Signalmittel
 - 3.13.12. Taucherhandschuhe

- 4. DIE AUSWIRKUNGEN DES DRUCKES BEIM TAUCHEN**
- 4.1. Kompressionsphase, Unterdruckbarotraumata
 - 4.1.1. Unterdruckbarotrauma der Lungen
 - 4.1.2. Unterdruckbarotrauma des Mittelohres und des Trommelfells
 - 4.1.3. Unterdruckbarotrauma des Innenohres
 - 4.1.4. Unterdruckbarotrauma des äußeren Gehörganges
 - 4.1.5. Unterdruckbarotrauma der Nasennebenhöhlen (NNH)
 - 4.1.6. Mikro-Unterdruckbarotrauma der Zähne
 - 4.1.7. Unterdruckbarotrauma der Haut
 - 4.1.8. Unterdruckbarotrauma des Gesichtes
 - Unterdruckbarotrauma des Auges
- 4.2. Isopressionsphase, atemgasbedingte Taucherkrankheiten (Intoxikationen)
 - 4.2.1. Sauerstoff [O₂]-Vergiftung, Hyperoxie
 - 4.2.2. Sauerstoff [O₂]-Mangel, Hypoxie
 - 4.2.3. Kohlendioxid-Vergiftung [CO₂], Hyperkapnie
 - 4.2.4. Kohlenmonoxid [CO]-Vergiftung
 - 4.2.5. Stickstoff [N₂]-Narkose ("Tiefenrausch")
- 4.3. Dekompressionsphase, Druckabfall (p↓)
 - 4.3.1. Überdehnung der Lunge,
Lungenüberdruckbarotrauma (Mögliche Folgen: Luftembolie,
Lungenriss, AGE, CAGE)
 - 4.3.2. Weitere Überdruckbarotraumata
 - 4.3.2.1. Mikro-Überdruckbarotrauma der Zähne
 - 4.3.2.2. Überdruckbarotrauma des Mittelohres
 - 4.3.2.3. Überdruckbarotrauma des Innenohres (inkl. "implosives
Innenohr-Barotrauma")
 - 4.3.2.4. Überdruckbarotrauma der Nasennebenhöhlen
 - 4.3.2.5. Überdruckbarotrauma des Magen-Darm-Traktes

- 4.3.3. Dekompressionskrankheit(en) (DCS)
- 4.3.4. Dekompressionserkrankung (DCI)
- 4.3.4.1. Beschreibende Klassifizierung der Dekompressionserkrankung
- 4.4. Weitere Auswirkungen
 - 4.4.1. Tauchen und Fliegen
- 4.5. Diagnose und Differentialdiagnose von Taucherkrankheiten, dargestellt an einigen Beispielen
 - 4.5.1. Neurologische Erstuntersuchung durch den Laien
 - 4.5.1.1. Prüfung der psychischen Verfassung
 - 4.5.1.2. Diagnostik der Hirnnerven
 - 4.5.1.3. Sensorik
 - 4.5.1.4. Motorik
 - 4.5.1.5. Koordination
 - 4.5.1.6. Reflexe
 - 4.5.1.7. Sprache

- 5. SICHERHEITSBELEHRUNG / GESETZLICHER UNFALLSCHUTZ**
 - 5.1. GUV-R 2112 "Regeln für den Einsatz von Forschungstauchern"
 - 5.1.1. Allgemeine Übersicht über die GUV R-2112 in Tabellenform
 - 5.1.2. Betrieb (Taucheinsatz)
 - 5.2. Gesetzliche Unfallversicherung (SGB VII)
 - 5.3. Sicherung der Tauchstelle
 - 5.4. Prüfung der Ausrüstung durch eine befähigte Person und/oder durch Sachverständige

- 6. TAUCHERUNFÄLLE - VORBEUGEN, ERKENNEN UND BEHANDELN**
 - 6.1. Rettungskette
 - 6.2. Unterkühlung (Hypothermie)

- 7. WISSENSCHAFTLICHE ARBEITSMETHODEN UNTER WASSER**
 - 7.1. Feldbeobachtung und Dokumentation
 - 7.1.1. Schriftliche Aufzeichnung / Zeichnung
 - 7.1.2. Fotografie / Videotechnik
 - 7.1.3. Audiotechnik / Kommunikation
 - 7.1.4. Nachbearbeitung
 - 7.2. Positionsbestimmung
 - 7.2.1. Optische Methoden
 - 7.2.1.1. Dreieckspeilung
 - 7.2.1.2. Kompasspeilung
 - 7.2.1.3. Sextant
 - 7.2.1.4. Theodolit
 - 7.2.2. Elektronische Methoden

- 7.2.2.1 Totalstationen
- 7.2.2.2 Hyperbolische Navigationssysteme
- 7.2.2.3 Mikrowellen-Küstenstationen
- 7.2.2.4 Satellitennavigationssysteme (unter GPS bekannt)
- 7.2.2.5 GPS unter Wasser
- 7.3. Vermessen unter Wasser
 - 7.3.1. Vermessungsnetz
 - 7.3.2. Orthogonalverfahren
 - 7.3.3. Zeichengitter
 - 7.3.4. Dreipunktmessung
 - 7.3.5.1 Relative dreidimensionale Messung
 - 7.3.5.2 Absolute dreidimensionale Messung
 - 7.3.5.3 Direkte-Survey-Methode
- 7.4. Hilfsmittel für das wissenschaftliche Arbeiten

8. ANMERKUNGEN ZUM SPORTTAUCHEN

- 8.1. Unterschiede zwischen Forschungstauchen und Sporttauchen
- 8.2. Organisationen
- 8.3. Brevetierungssysteme (Lizenzen)
- 8.4. Austauschtabellen (Deko-Tabellen)
 - 8.4.1. Austauschabelle für Sporttaucher: DECO 2000

9. VERLETZUNGEN UND VERGIFTUNGEN DURCH MEERESTIERE

- 9.1. Nesselgifte (Staatsquallen, Seewespe, Feuerkorallen, Seeanemonen, u.a.)
- 9.2. Stichverletzungen
 - 9.2.1. Giftige Tiere
 - 9.2.2. Nicht giftige Tiere
- 9.3. Biss- und Schnittverletzungen durch Meerestiere
 - 9.3.1. Giftige Tiere
 - 9.3.2. Nicht giftige Tiere
- 9.4. Elektrische Schläge
- 9.5. Quetschungen
- 9.6. Gefährliche Tiere im Süßwasser
- 9.7. Genussgifte
- 9.8. Sonstige Verletzungen
- 9.9. Literatur zu Kapitel 9.
- 9.10. Ausgewählte **Giftnotzentren**

10. TAUCHERDIENST / THEORIE

- 10.1. Tauchen unter erschwerten Bedingungen
 - 10.1.1. Tauchen bei ungünstigen Wetterlagen (Schlechtwetter)
 - 10.1.2. Tauchen bei Strömung

- 10.1.3. Tauchen bei Nacht
- 10.1.4. Tauchen in Höhlen
- 10.1.5. Tauchen in kaltem Wasser
- 10.1.6. Tauchen in Bergseen
- 10.2. Orientierung beim Tauchen

- 11. LITERATUR**
- 11.1. Wissenschaftliches Arbeiten unter Wasser
- 11.2. Normen, Regeln, Vorschriften, Technik, UW-Fotografie
- 11.3. Tauchtechnik
- 11.4. Tauchmedizin
- 11.5. Gefahren unter Wasser (Giftige Meerestiere)
- 11.6. Tauchpraxis
- 11.7. Technisches Tauchen
- 11.8. Tauchen in Höhlen
- 11.9. Trainingslehre
- 11.10. Tauchzeitschriften / Mitteilungsblätter
- 11.11. Bestimmungsbücher (Meeresbiologie) (Auswahl und Kommentare von Frank Donat)

Anhang A Austauchtabeln der BGV C23 [VBG 39]

1. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Kapitel 1 beschreibt die physikalischen Grundgesetze, denen ein Taucher insbesondere unterliegt. Ein sehr gutes Verständnis dieser physikalischen Zusammenhänge ist Voraussetzung für die Sicherheit und erfolgreiche Arbeit eines Forschungstauchers.

1.1. Begriffe, Definitionen

1.1.1. Kraft, Masse, Gewicht

Sir Isaac Newton, 1642-1727, englischer Philosoph und Wissenschaftler

Newtonsche Näherung

Kraft = Masse × Beschleunigung

Formel:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{b}$$

SI-Einheiten:

$$m = \text{Masse [kg]}$$

$$F = \text{Kraft [N]}$$

Definition:

Ein **Newton** {SI-Einheit} entspricht der Kraft, die einem Körper der Masse 1 kg die Beschleunigung 1 m s^{-2} erteilt. [1 N = 1 kg m s⁻²]

Diese Definition gilt immer, sie ist nicht auf die Erde bezogen. Dagegen ist die Fallbeschleunigung b von der geographischen Breite abhängig. Der mittlere Wert ist mit $9,81 \text{ m s}^{-2}$ festgelegt.

Unter dem "Gewicht" eines Körpers versteht man die Gewichtskraft, d.h. die im Schwerfeld der Erde auf ihn ausgeübte Kraft.

„Gewicht“ ≡ Gewichtskraft

Die Masse (Menge) eines Körpers wird in kg angegeben und ist vom Ort unabhängig. So ist die Masse eines Körpers auf der Erde gleich seiner Masse auf dem Mond, während seine Gewichte deutlich verschieden sind.

Auf der Erde gilt:

$$\underline{\underline{1 \text{ kg Masse "wiegt" (in Luft):}} \quad 1 \times 9,81 \text{ N} = 9,81 \text{ N} \approx \underline{\underline{10 \text{ N}}}$$

oder anders ausgedrückt:

9,81 N (10 N) ist die Kraft, um die eine Masse von 1 kg im freien Fall beschleunigt wird.

Beispiel 1 Eine Masse von 29 kg ‚wiegt‘ an Land $29 \cdot 9,81 = 290 \text{ N}$.

Beispiel 2 Ein Newton ist die Kraft, mit der eine Tafel Schokolade (Masse = 102 g) auf eine Unterlage drückt.

1.1.2. Dichte

"Dichte" ist eine skalare Größe, definiert als Masse pro Volumen.

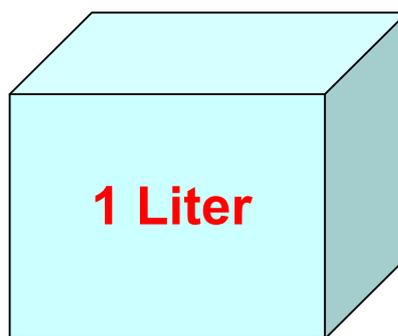
Dichte = Masse pro Volumen

$\rho := (\text{rho})$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ = Dichte [kg dm^{-3}] = [kg l^{-1}]
 m = Masse [kg]
 V = Volumen [l]

1 kg chemisch reines Wasser nimmt bei seiner größten Dichte (3,98 °C) einen Raum von 1 dm^3 (= 1 Liter) ein.



Kantenlänge: jeweils 10 cm

Reines Wasser (Süßwasser) hat bei 4 °C seine maximale Dichte. Diese und weitere ungewöhnliche Eigenschaften des Wassers werden allgemein als '**Anomalie des Wassers**' bezeichnet. Eis ist leichter als Wasser und schwimmt deshalb an der Oberfläche. In tieferen

Süßwasserseen unserer geographischen Breiten hat das Wasser am Boden immer eine Temperatur von etwa 4 °C.

Bei **Salzwasser** hängt die Dichte auch vom Salzgehalt ab. Der Gefrierpunkt liegt niedriger als beim Süßwasser. Bei einem Salzgehalt von 24,7 liegt er bei -1,33 °C; bei einem Salzgehalt von 35,0 bei -1,91 °C.

Anmerkung: In der Meereskunde wird der Begriff „Praktischer Salzgehalt“ („practical salinity“) verwendet und verkürzt der Begriff „Salzgehalt“ benutzt. Aufgrund der zugrunde gelegten Definition entfällt der Faktor 10^{-3} , der früher durch Y oder ppt ausgedrückt wurde.

Tabelle I / 1 :

Dichte von gasförmigen, flüssigen und festen Stoffen (1 l = 1 dm³)
(Dichte bei 0 °C und 1013 mbar Luftdruck, falls nichts anderes angegeben.)

Stoff	Dichte [kg l ⁻¹]	Dichte [g l ⁻¹]	
Luft	1,29 * 10⁻³	1,29	
Stickstoff (N ₂)	1,25 * 10 ⁻³	1,25	
Sauerstoff (O ₂)	1,42 * 10 ⁻³	1,42	
Kohlendioxid (CO ₂)	1,98 * 10 ⁻³	1,98	= ρ _{Luft} × 1,5
Helium	0,17 * 10 ⁻³	0,17	
Süßwasser von 4 °C	1,00000		
Süßwasser von 15 °C	0,99910		1 g leichter als bei 4 °C
Süßwasser von 20 °C	0,99823		2 g leichter als bei 4 °C
Süßwasser von 25 °C	0,99705		3 g leichter als bei 4 °C
Salzwasser	~ 1,03 (1,01 - 1,08)		
Blut	1,055		
Kork	0,2 - 0,3		
Holz	0,4 - 1,0		
Eis von 0°C	0,917		
Aluminium	2,7		
Beton	2,2 - 2,4		
Stahl	7,8		
Blei	11,34		

Hinweis In britischen und amerikanischen Einheiten wird die Dichte in 'pounds per cubic foot [lb ft⁻³]' angegeben. Die Umrechnung von der metrischen Einheit (SI-Einheit) in die brit./amerik. Einheit erfolgt durch Multiplikation mit 0.06245.

1.1.3. Spezifisches Gewicht

$$\text{Das spezifische Gewicht eines Stoffes} = \frac{\text{Gewichtskraft des Stoffes}}{\text{Volumen des Stoffes}}$$

Das spezifische Gewicht eines Körpers ist das Verhältnis seiner Gewichtskraft zu seinem Volumen.

Die Dichte und das spezifische Gewicht unterscheiden sich um den Faktor der Fallbeschleunigung G . Dichte (ρ) \times Fallbeschleunigung (G) = Spezifisches Gewicht (γ)

Das spezifische Gewicht ist im Gegensatz zur Dichte ortsabhängig, da die Fallbeschleunigung nicht überall gleich ist.

Einheiten für spez. Gewicht (γ): [N / m^3] oder [$(\text{kg m}) / (\text{m}^3 \text{s}^2)$]

1.1.4. Temperatur (kinetische Gastheorie)

Alle Stoffe kommen in **drei Zustandsformen** (Aggregatzustände) vor:

- fest
- flüssig
- gasförmig

Dabei führen die kleinsten Teilchen (Atome, Moleküle) Bewegungen aus:

fest	-	Bewegung um die Ruhelage <i>Da die gegenseitige Bindung der Teilchen an ihren Nachbarteilchen verhältnismäßig stark ist, bleiben feste Strukturen erhalten.</i>
flüssig	-	Freie Bewegung, aber im gegenseitigen Kontakt. <i>Die durchschnittlich gleiche Entfernung der Nachbarmoleküle bleibt erhalten → konstantes Volumen, aber die Gestalt kann sich ändern.</i>
gasförmig	-	Isolierte Teilchen führen eine freie Bewegung durch, es kommt zu Zusammenstößen. <i>Geringe gegenseitige Bindungskräfte, durchschnittliche gegenseitige Entfernung wird nur durch den verfügbaren Raum bestimmt.</i>

Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie (Bewegungsenergie) der Moleküle eines Körpers (Wärme). Sie wird mit einem Thermometer gemessen.

Grundlage für die gebräuchliche Temperatur-Skala (Grad Celsius) sind bestimmte Eigenschaften von Wasser (bei 1 bar Umgebungsdruck) und zwar sind Fixpunkte:

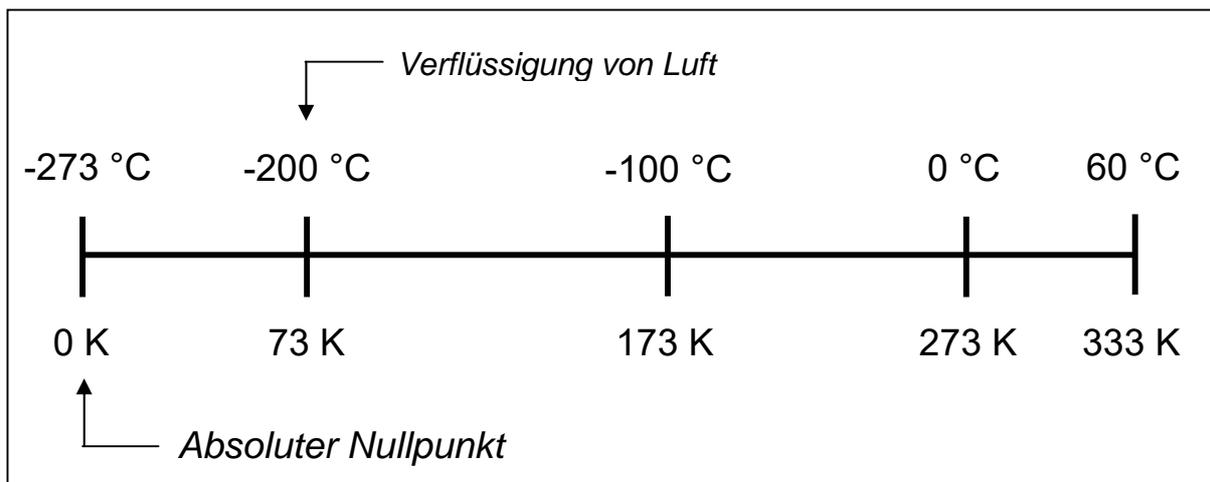
$$\begin{aligned} \text{Schmelzpunkt von Eis} &= 0\text{ }^{\circ}\text{C} \\ \text{Siedepunkt von Wasser} &= 100\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

In den Naturwissenschaften (Anwendung der Gasgesetze) benutzt man meist die **thermodynamische Temperatur-Skala** (*absolute oder Kelvin Skala*) mit gleicher Einheit, d.h. **1 °C Temperatur-Differenz entsprechen 1 Kelvin-Temperatur-Differenz, aber der Nullpunkt ist verschoben.**

Symbole: t = Temperatur in °C
 T = Temperatur in Kelvin (K)

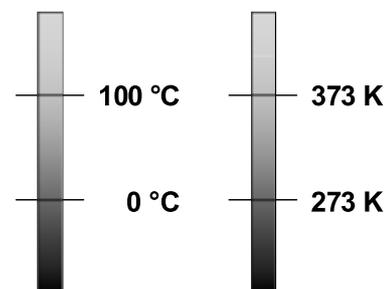
$$0\text{ Kelvin} \equiv -273,15\text{ }^{\circ}\text{C} \equiv \text{absoluter Nullpunkt}$$

Bei 0 Kelvin findet keine Bewegung der Moleküle mehr statt. Die Bewegungsenergie (kinetische Energie) ist gleich Null.



Umrechnung von GRAD CELSIUS [°C] in KELVIN:

$$K \approx ^{\circ}\text{C} + 273$$



Hinweis

In den USA werden die Temperaturen noch überwiegend in Fahrenheit angegeben,

wobei $^{\circ}\text{F} = \left(\frac{9}{5}\right) \times ^{\circ}\text{C} + 32 = (1,8 \times ^{\circ}\text{C}) + 32$

und $^{\circ}\text{C} = \left(\frac{5}{9}\right) \times (^{\circ}\text{F} - 32) = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 0,56$.

Der Schmelzpunkt von Eis liegt bei 0° C bzw. bei 32° F.

Der absolute Nullpunkt liegt bei -460 °F, bei -271,15 °C und bei 0 Kelvin.

Übung 1 Welcher Kelvintemperatur entsprechen 37 °C?

Übung 2 Welcher Kelvintemperatur entsprechen 27 °C?

Übung 3 Welcher Kelvintemperatur entsprechen 3 °C?

1.1.5. Wärmemenge

James Prescott Joule, 1818-1889, britischer Physiker

Wärmemenge ist die Energie, die einem Körper bei Temperaturänderung zu- oder abgeführt wird. Die Maßeinheit für die Energie ist Joule [J]. ($1 \text{ J} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ W s}$)

Auch der Energiegehalt (Brennwert) von Nahrungsmitteln wird in dieser Einheit angegeben, dabei entsprechen 4,184 Joule der veralteten Einheit von einer Kalorie.

4,1865 Joule sind die Energiemenge, die ausreicht, um 1 Gramm Wasser von 14,5 °C auf 15,5 °C zu erwärmen.

1.1.6. Luftmenge (in "Barlitern")

Zur Vereinfachung von Berechnungen verwenden wir als Maßeinheit für Luftmengen einen in der Sporttaucherei geprägten Begriff.

**1 Barliter Luft [bar l] ≡
Luftmenge, die einem Liter Luft bei 1 bar entspricht.
(= 1,29 g Luft)**

Beispiel 1 1 barl \equiv 1,0 Liter Luft bei 1,0 bar Druck = $1,0 * 1,0$ = 1 [barl]

Beispiel 2 1 barl \equiv 0,5 Liter Luft bei 2,0 bar Druck = $0,5 * 2,0$ = 1 [barl]

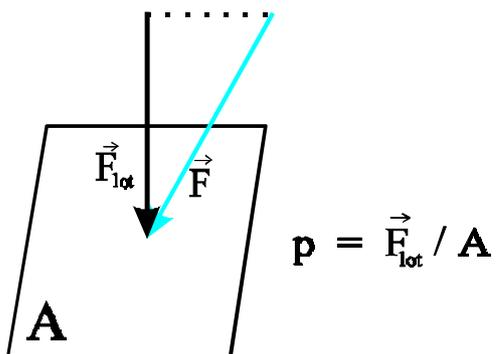
Beispiel 3 1 barl \equiv 2,0 Liter Luft bei 0,5 bar Druck = $2,0 * 0,5$ = 1 [barl]

Hinweis: 1 barl Luft hat eine Masse von etwa 1,29 g.

1.2. Druck

1.2.0 Allgemeines

Druck = Kraft, die senkrecht auf eine Flächeneinheit wirkt. (Kraft pro Flächeneinheit).



Druck = Kraft pro Fläche

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

P = Druck [Pascal] = [N m⁻²]
F = senkrecht wirkende Kraft [N]
A = Fläche [m²]

In den USA: pounds per square inch [psi]

1 bar ~ 14,7 psi

1 hPa = 1 mbar

Obwohl die korrekte Einheit für den Druck das Pascal [Pa] ist,
messen Taucher den Druck weiterhin in [bar],
 wobei $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pascal} = 100\,000 \text{ Pa} (= 10 \text{ N} / \text{cm}^2)$.

$$100\,000 \text{ Pa} = 1\,000 \text{ Hektopascal [hPa]} = 1 \text{ bar}$$

Auf der Erdoberfläche übt eine Masse von einem Kilogramm auf die Fläche von einem Quadratzentimeter annähernd die Gewichtskraft aus, die einem bar entspricht.

Beachte: Geringe Gewichtskraft kann bei großer Fläche kleinen Druck und bei kleiner Fläche großen Druck erzeugen.
 (Siehe hierzu auch die folgenden Beispiele.)

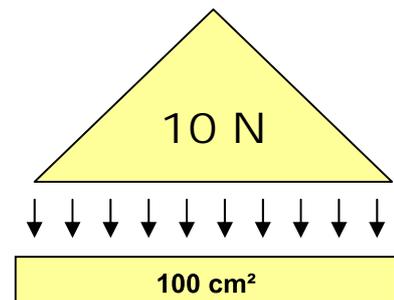
Beispiel 1

$$F = 10 \text{ N}, \quad A = 100 \text{ cm}^2$$

$$p = \frac{10}{100} = 0,1 \quad [\text{N} / \text{cm}^2]$$

→

$$= 0,01 \quad [\text{bar}]$$



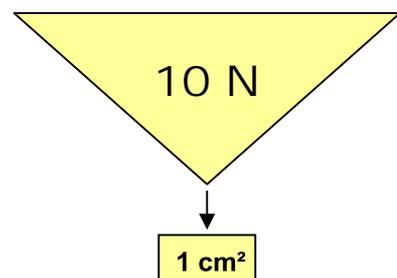
Beispiel 2

$$F = 10 \text{ N}, \quad A = 1 \text{ cm}^2$$

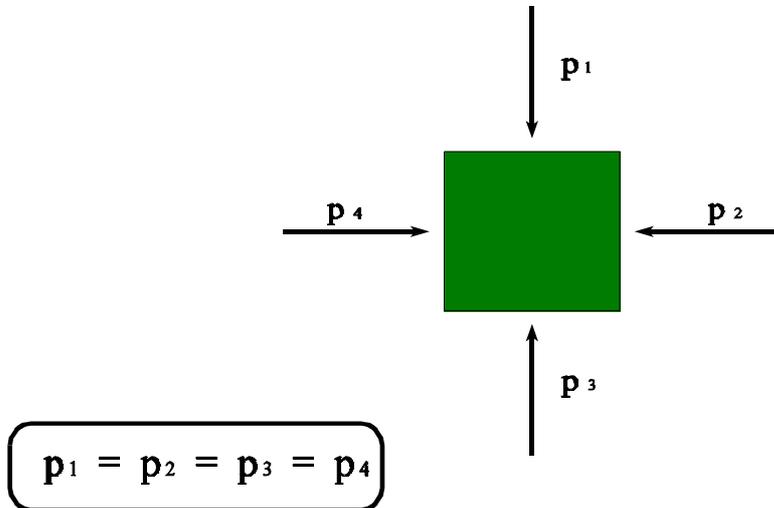
$$p = \frac{10}{1} = 10 \quad [\text{N} / \text{cm}^2]$$

→

$$= 1,0 \quad [\text{bar}]$$

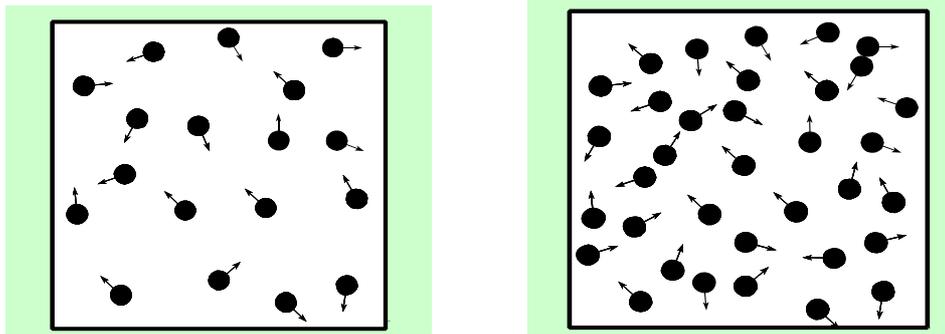


(Wasser-) Druck wirkt auf ein unendlich kleines Volumenelement aus allen Richtungen mit der gleichen Kraft!



Nach der *kinetischen Gastheorie* ist "Druck" der Ausdruck der Molekularbewegung; Moleküle in dauernder Bewegung \rightarrow Zusammenstöße untereinander \rightarrow Zusammenstöße mit der Wand eines Behälters.

Abb.: Doppelte Molekülanzahl ($V = \text{const}$) \rightarrow doppelte Anzahl von Kollisionen
 \rightarrow doppelter Druck



1.2.1. Atmosphärendruck (Luftdruck)

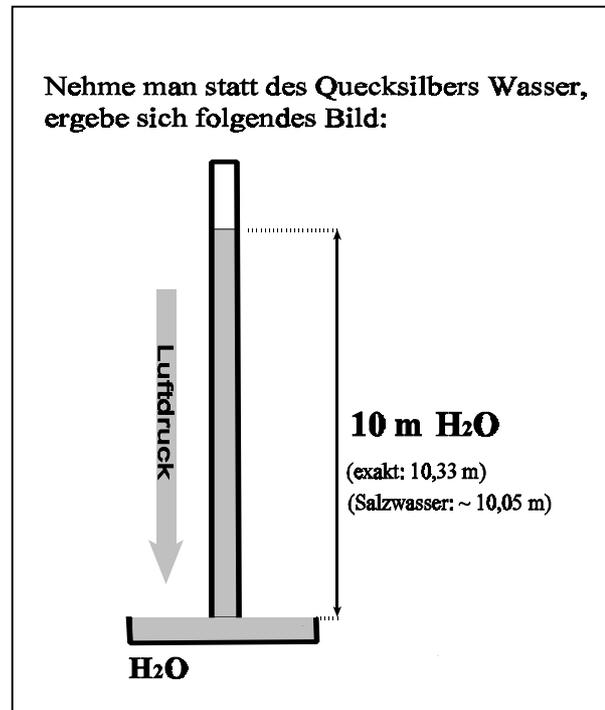
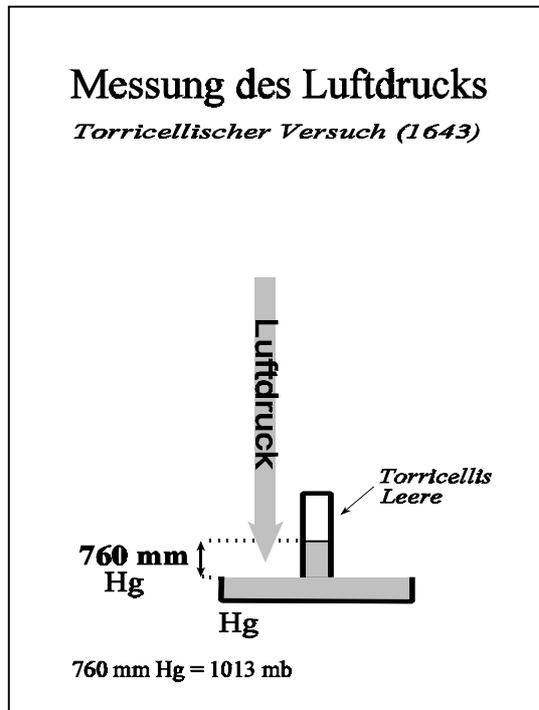
Die Lufthülle der Erde (80-100 km hoch) übt auf jeden Quadratcentimeter der Erdoberfläche auf Meereshöhe eine Gewichtskraft von 10 N aus. Entsprechend lastet auf dem menschlichen Körper eine Luftmasse von 15-18 t. Da der Mensch vorwiegend aus Wasser (fast inkompressibel) besteht, könnte er auch Drucksteigerungen auf das Tausendfache (bezogen auf die rein mechanische Druckwirkung) vertragen.

Atmosphärendruck = Gewicht der atmosphärischen Gase (Luft)

Der Atmosphärendruck wirkt auf alle Körper und Strukturen in der Atmosphäre und darunter. Er wirkt in jedem Punkt in alle Richtungen, daher neutralisieren sich seine Wirkungen im Allgemeinen.

In Meereshöhe herrscht ein Normaldruck von 1,01325 bar. (Dies gilt bei 15 °C und Vernachlässigung von meteorologisch bedingten Druckschwankungen (*Durchzug von Hoch- oder Tiefdruckgebieten*)). Für tauchphysikalische Berechnungen kann im Allgemeinen der Wert abgerundet werden. (Ausnahme: Tauchen in Bergseen oder auf anderen Planeten).

**Luftdruck (in Meereshöhe) \approx 1 bar (\pm 3%)
(Atmosphärendruck)**

Torricellischer Versuch (1643):

Torricelli, Evangelista, ital. Mathematiker und Physiker (1608-1647), Schüler Galileis u.a. Erfinder des Quecksilberbarometers.

Torricelli folgte einer Anregung von Galilei zur Messung des „horror vacui“, indem er eine an einem Ende zugeschmolzene und etwa 1,2 m lange Glasröhre mit Quecksilber füllte und dann in einer Schüssel mit Quecksilber aufrichtete. Er beobachtete, dass ein Teil des Quecksilbers nicht ausfloss und sich über dem Quecksilber ein Vakuum bildete. Er war damit der erste Mensch, der ein dauerhaftes Vakuum schuf. Nach vielen Beobachtungen folgerte er des weiteren, dass die Höhenschwankungen des Quecksilbers durch die Änderungen des Luftdrucks verursacht wurden. Er hat diese Erkenntnisse jedoch nie publiziert, da er zu sehr mit dem Studium der reinen Mathematik beschäftigt war.

Der Gesamtluftdruck (Atmosphärendruck) p nimmt mit der Höhe h exponentiell ab! (Grund: Luft (Gas) ist kompressibel und die Dichte nimmt mit der Höhe ab.) Dieser Effekt muss bei Tauchereinsätzen in Höhenlagen (Gebirge) beachtet und bei tauchphysikalischen Berechnungen besonders berücksichtigt werden (Stichwort: **Bergseetauchen**, s.a. Kap. 5 und Kap. 8)!

Formelmäßig gilt näherungsweise die „**Barometergleichung**“

$$p(h) = p_0 \times e^{-\left(\frac{g \times \rho_0}{p_0}\right) \times h}$$

wobei p_0 = Luftdruck auf Meereshöhe, ρ_0 = Dichte der Luft auf Meereshöhe und g = Erdbeschleunigung (im Mittel etwa $9,81 \text{ m s}^{-2}$).

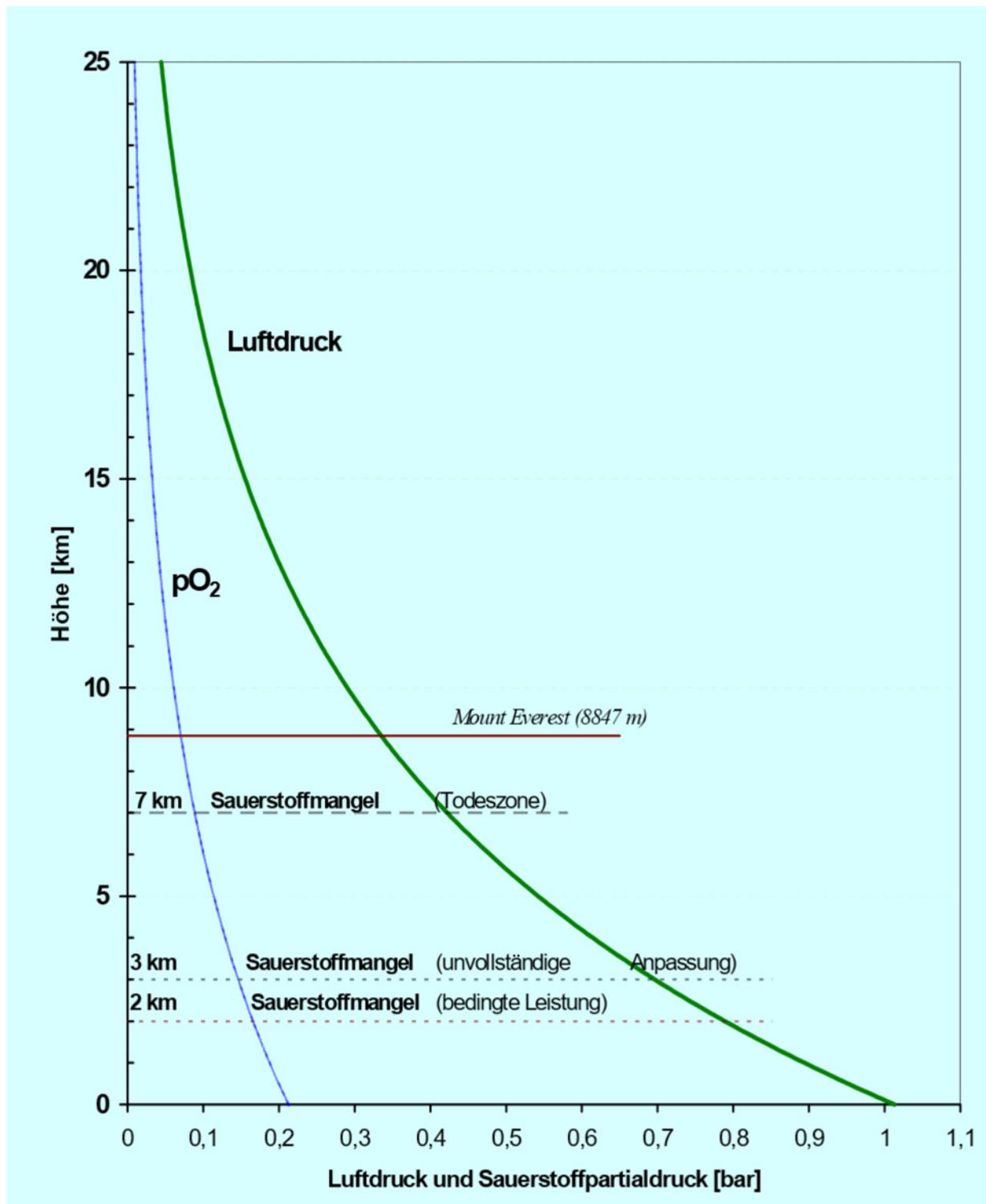
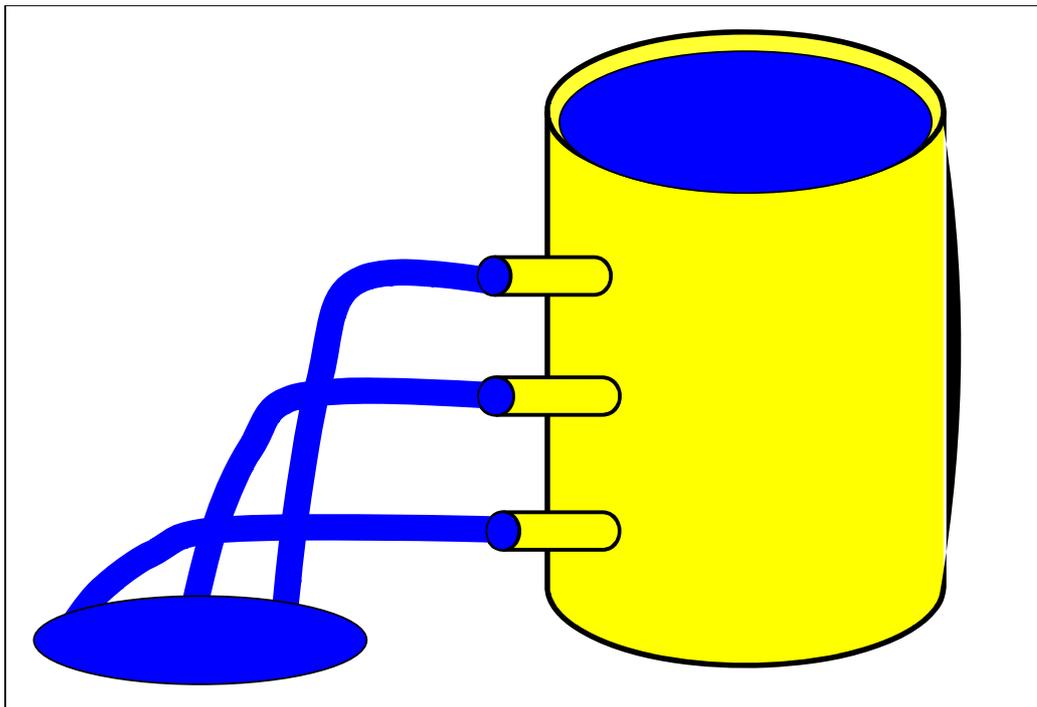


Abbildung Vertikale Verteilung des Gesamtluftdruckes und des O₂-Partialdruckes entsprechend der (vereinfachten) barometrischen Höhenformel.
 Der Begriff „Partialdruck“ wird ab Kap. 1.4.3 näher erläutert.

1.2.2 Hydrostatischer Druck (Wasserdruck)

Im Verhältnis zu Luft ist Wasser etwa 800mal schwerer und fast inkompressibel.

Der hydrostatische Druck (Wasserdruck) entsteht durch das Eigengewicht des Wassers über der jeweiligen Wassertiefe. Er nimmt mit der Tiefe linear mit etwa 10 [N cm⁻²] (entspricht 1 [bar]) pro 10 m Wassersäule zu. Der Wasserdruck ist in gleicher Tiefe in alle Richtungen gleich groß.



Für den hydrostatischen Druck gilt folgende Formel:

$$p_{\text{hydrost}} = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{A} = \frac{\rho \times g \times V}{A} = \frac{\rho \times g \times D \times A}{A} = \rho \times g \times D$$

wobei

F = Kraft (*engl. 'force'*), m = Masse, ρ = Dichte, V = Volumen,
 A = Fläche der Flüssigkeit bzw. der Flüssigkeitssäule,
 D = Tiefe und g = Erdbeschleunigung (etwa 9,81 m s⁻²).

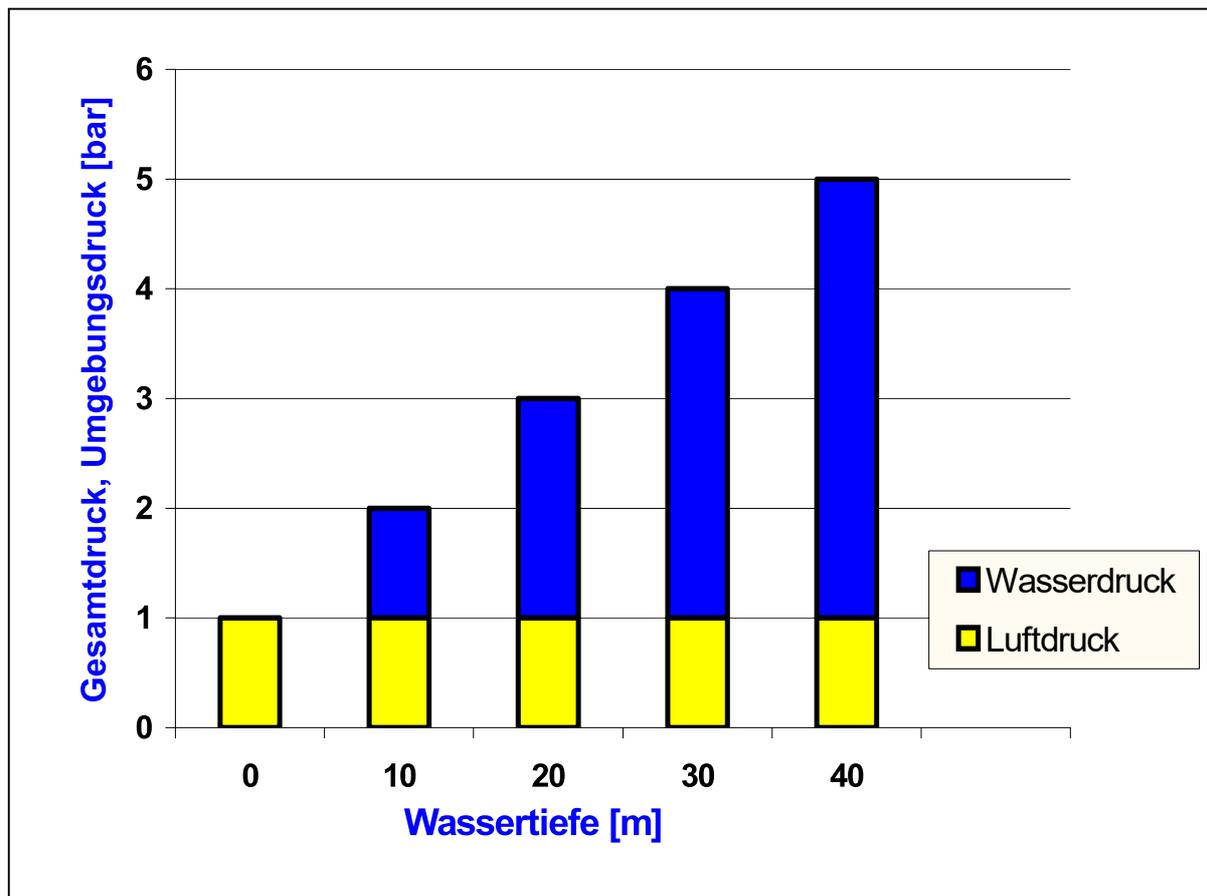
Wasserdruck pro 10 m Wassersäule \approx 1 bar (\pm 2%)

Beispiele:

Wassertiefe	Wasserdruck
0 m	0,0 bar
10 m	1,0 bar
30 m	3,0 bar
70 m	7,0 bar
13 m	1,3 bar
27 m	2,7 bar

1.2.3. Gesamtdruck (Umgebungsdruck, absoluter Druck)

Der Gesamtdruck (Umgebungsdruck, absoluter Druck) ist die Summe von atmosphärischen Druck und hydrostatischen Druck, die auf einen Körper ausgeübt wird.



**Der Druck auf einen Taucher unter Wasser
ist die Summe zweier Kräfte:**

**Gewicht des Wassers über ihm (und um ihn herum)
plus
Gewicht der Luft über dem Wasser.**

$$P_{\text{Gesamt}} = \frac{\text{Tiefe} \text{ [m]}}{10 \text{ [m]}} \text{ [bar]} + 1 \text{ [bar]}$$

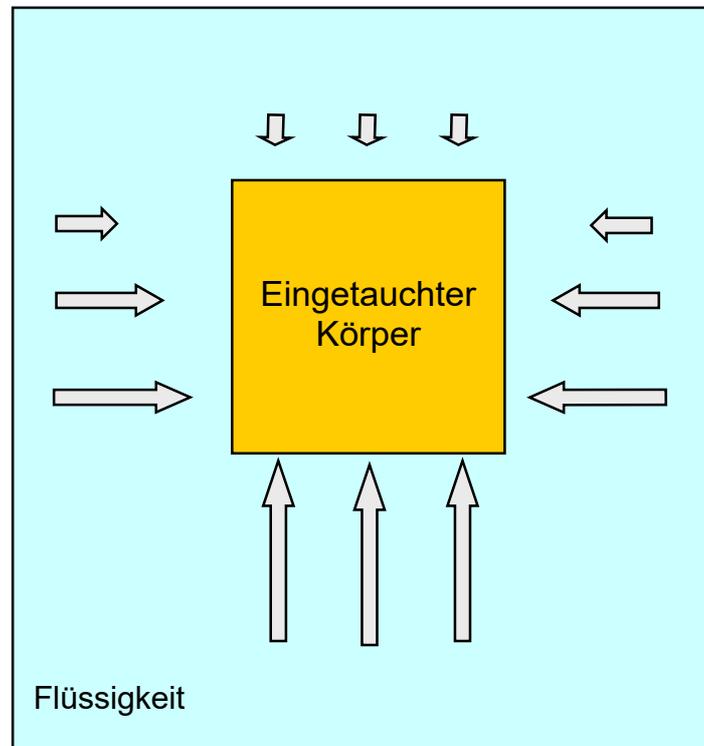
Vereinfachte Druckberechnung für Taucher:

Die Abweichung vom Idealwert beträgt bei der vereinfachten Berechnung maximal 6,3 %, in 20 m Tiefe nur 3,3 %. Der Fehler ergibt sich aus den wetterbedingten Schwankungen des Luftdruckes, der Variationsbreite der Wasserdichte (Süßwasser: $\approx 0,996$, Salzwasser $\approx 1,03$ $[\text{kg l}^{-1}]$) und der unterschiedlichen Erdbeschleunigung.

Für Taucher von Bedeutung ist die Tatsache, dass beim Abtauchen in die Tiefe die relative Änderung des Umgebungsdruckes in der Nähe der Wasseroberfläche am größten ist!

1.3. Auftrieb

1.3.1. Auftriebskraft



Auf einem in eine Flüssigkeit (hier: Wasser) eingetauchten (würfelförmigen) Körper wirkt der Umgebungsdruck (Schweredruck) entsprechend der Tiefe ein. In gleicher Tiefe ist der Druck gleich groß, d.h. die Kräfte auf die Seitenflächen des Würfels heben sich gegenseitig auf. Da der Druck an der Bodenfläche größer als an der Deckfläche ist, entsteht eine resultierende Kraft, die den Würfel nach oben drückt. Diese aus der Druckdifferenz resultierende Kraft wird als „**Auftriebskraft**“ bezeichnet. Dieser Auftriebskraft **entgegen wirkt die Gewichtskraft** des Würfels. Ist die Auftriebskraft größer als die Gewichtskraft, dann steigt der Würfel in der Flüssigkeit nach oben und schwimmt dann an der Oberfläche. Übersteigt die Gewichtskraft die Auftriebskraft, dann sinkt der Würfel auf den Boden. Sind beide Kräfte gleich groß, schwebt der Würfel in ständig gleicher Höhe in der Flüssigkeit.

"Auftrieb" = Kraft in Gasen und Flüssigkeiten, die durch Druckunterschiede entsteht.

1.3.2. Archimedisches Prinzip

Der "statische Auftrieb" ist die Kraft auf einen in einer Flüssigkeit (oder in einem Gas) ruhenden oder sich bewegenden Körper, die durch die Verdrängung von Flüssigkeit (oder Gas) durch diesen Körper hervorgerufen wird (Archimedes). Der statische Druck wirkt entgegen der Schwerkraft und lässt sich aus der Druckabnahme mit der Höhe erklären.

Archimedes, um 287 - 212 v. Chr., griechischer Mathematiker, Physiker, Mechaniker und Erfinder, lebte in Syrakus (Sizilien), für einige Zeit auch in Alexandria (Ägypten)

Archimedisches Prinzip

„Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit (scheinbar) soviel an Gewicht, (bzw. erhält soviel Auftrieb,) wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.“

Ein Körper, der ganz oder teilweise in einer ruhenden Flüssigkeit eingetaucht ist, unterliegt zwei Kräften: der Gewichtskraft in Richtung der Erdbeschleunigung und der lotrecht nach oben gerichteten Auftriebskraft. Das Verhältnis der beiden Kräfte bestimmt, ob der Körper sinkt, schwebt oder auftreibt.

Der Betrag der Auftriebskraft ist gleich der Gewichtskraft der von dem Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge. Diese Gewichtskraft errechnet sich aus dem Produkt von Volumen und Dichte der verdrängten Flüssigkeit.

$$F_A = F_F - F_L$$

- F_L Gewichtskraft eines Körpers in Luft
- F_F Gewichtskraft der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge
- F_A Restkraft

Hinweis: In einigen Lehrbüchern wird die Restkraft als $F_A = F_L - F_F$ definiert.

"AUFTRIEB"

$F_F > F_L$ (d.h. $F_A > 0$) Der **Körper steigt** (bzw. schwimmt).

Eine Restkraft größer Null wird im Sprachgebrauch als "Auftrieb" bezeichnet.

"ABTRIEB"

$F_L > F_F$ (d.h. $F_A < 0$) Der **Körper sinkt**.

Eine Restkraft kleiner Null wird im Sprachgebrauch als "Abtrieb" bezeichnet.

"AUSTARIERT"

$F_L = F_F$ (d.h. $F_A = 0$) Der **Körper schwebt (ist austariert)**.

Er befindet sich im hydrostatischen Gleichgewicht.

Beispiel

Wie verhalten sich 8 kg Blei ($\rho_{\text{Pb}} = 11 \text{ kg/l}$) unter Wasser?

$$\begin{aligned} V_{\text{Pb}} &= \text{Volumen der 8 kg Blei} \\ &= \text{Masse / Dichte} \\ &= 8 \text{ [kg]} / 11 \text{ [kg/l]} \\ &= 0,72 \text{ [l]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_F &= \text{Gewichtskraft der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge} \\ &= V_{\text{Pb}} \times \rho_{\text{Wasser}} \times \text{Erdbeschleunigung} \\ &= 0,72 \text{ [l]} \times 1 \text{ [kg/l]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \\ &\approx 0,72 \text{ [l]} \times 1 \text{ [kg/l]} \times 10 \text{ [m/s}^2\text{]} \\ &= 7,20 \text{ [kg} \times \text{m/s}^2\text{]} \\ &= 7,20 \text{ [N]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_L &= \text{Gewichtskraft des Körpers in Luft} \\ &= 80 \text{ [N]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_A &= F_F - F_L \\ &= 7,2 - 80 \text{ [N]} \\ &= -72,8 \text{ [N]} \end{aligned}$$

Ergebnis: Da $F_A < 0$ Der Körper (Blei) sinkt (Abtrieb).

Übung 1

Wie verhalten sich 12 kg Blei ($\rho = 11 \text{ kg/l}$) unter Wasser?

Übung 2

Wie verhalten sich 9 kg Holz ($\rho = 0,6 \text{ kg/l}$) unter Wasser?

Übung 3

Wie verändert sich der Auftrieb eines Tauchers, der unter Wasser 2 Liter Luft einatmet?

1.4. Atemgase

Als Atemluft werden verschiedene Gasgemische benutzt, normale atmosphärische Luft ist das gebräuchlichste (für Tiefen bis 50 m). Bei Einsätzen in sehr geringen Tiefen und in großen Tiefen werden andere Gasgemische geatmet.

Die Versorgung des Tauchers mit Atemluft erfolgt über einen Schlauch oder aus mitgeführten Atemgasbehältern (Druckgasflaschen).

(engl. "SCUBA" *Self-contained underwater breathing apparatus*)

1.4.1. Wichtige Gase

O₂	Sauerstoff	lebenswichtiges Gas für den menschlichen Körper, wirkt unter hohem Druck toxisch (ab etwa 1,6 bar pO₂)
N₂	Stickstoff	wirkt ab bestimmten Partialdruck toxisch (betäubende Wirkung), <u>Inertgas</u>
CO₂	Kohlendioxid	Expositionsgrenzwerte (AGW*: 5000 ml/m ³ (ppm)) entsteht bei natürlichen Prozessen (z.B. Verbrennung, Gärung, (Stoffwechsel), steuert den Atemreiz, sehr toxisch bei Konzentration > 0,03%
CO	Kohlenmonoxid	äußerst toxisch! Expositionsgrenzwerte (AGW*: 30 ppm, 35 mg/m ³) Entsteht bei unzureichender Verbrennung (Abgase). Starke toxische Wirkung als Atemgift (→ Bewusstlosigkeit, Tod). Lebensgefährliche Mengen können unbemerkt aufgenommen werden, da das Gas geruch- und reizlos ist und nicht zur Atemnot führt.
He	Helium	bei Tieftauchenaktionen wird ein Helium-Sauerstoff-Gemisch als Atemgas verwendet, Inertgas, Donald-Duck-Effekt
Alle fünf Gase sind farblos, geschmacklos und geruchlos.		

* Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) ist gemäß der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind.

Als "**inert**" werden Gase bezeichnet, die keine biochemischen Reaktionen eingehen ("neutrale" Gase). Sie haben alle mehr oder weniger narkoseartige Wirkung, die von ihrem Partialdruck abhängen (Inertgasnarkose).

Inertgase sind: Helium, Neon, Wasserstoff, Stickstoff, Argon, Krypton, Xenon.

Wichtige Gasgemische für die Durchführung von Taucherarbeiten in größeren Tiefen sind:

Heliox = He + O₂ (O₂ < 21%, He > 79%)

Trimix = He + N₂ + O₂ (O₂ < 21%, (He + N₂) > 79%, He ≥ 79%)

Beim Militär wird bei Kampfeinsätzen in geringen Tiefen mit

Sauerstoff = O₂ (O₂ = 100%, reiner Sauerstoff, Kreislaufgeräte)
getaucht.

Im Bereich des Sporttauchens wird seit einigen Jahren auch mit dem Atemgasgemisch **NITROX** getaucht.

Nitrox = N₂ + O₂ (O₂ > 21%, N₂ < 78%)

Durch die Reduzierung des N₂-Anteiles kann die Gefahr eines Dekompressionsunfalls verringert werden, wenn nach den gleichen Austauschregeln wie beim Tauchen mit normaler Luft getaucht wird.

Übliche Gemische sind u.a.:

NOAA NITROX I (32 % O₂, 68 % N₂) bis zu einer maximalen Tauchtiefe von 40 m

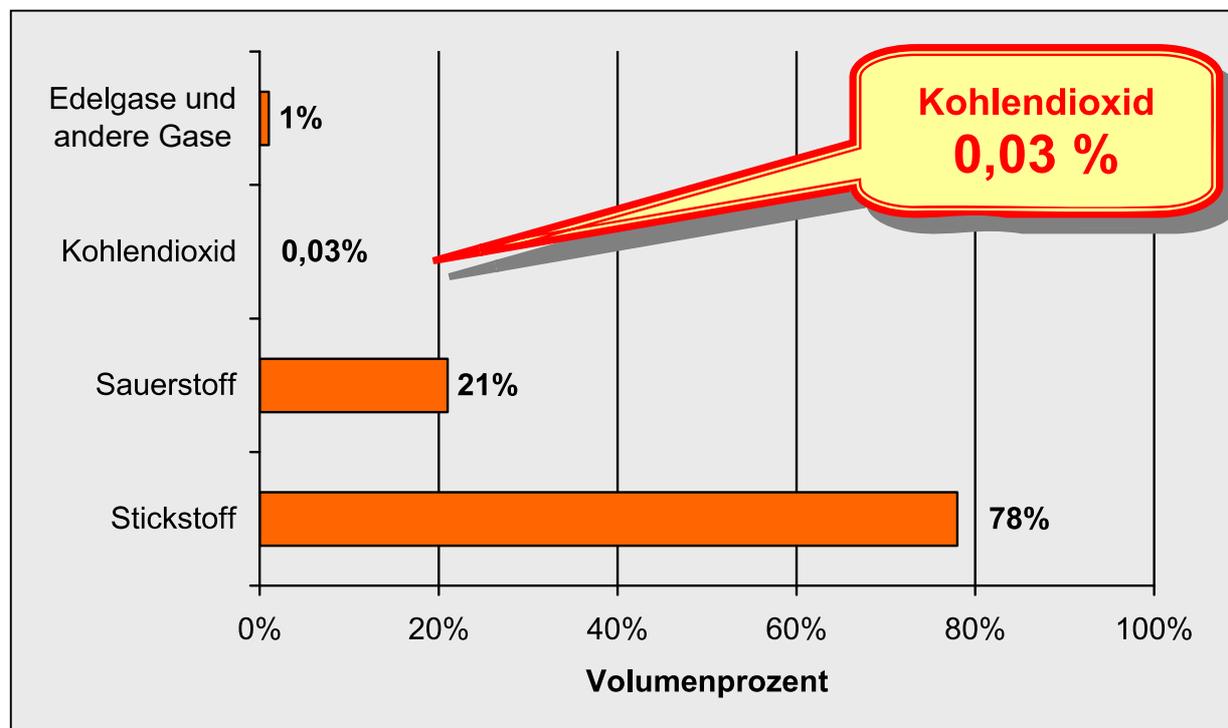
NOAA NITROX II (36 % O₂, 64 % N₂) bis zu einer maximalen Tauchtiefe von 36 m.

1.4.2. Luft

Die atmosphärische Luft ist ein Gasgemisch, bestehend aus:

78 %	Stickstoff
21 %	Sauerstoff
0,03 %	Kohlendioxid
1 %	Edelgase und andere Gase

(Näherungswerte für **trockene** Luft)



Die **genauen Werte** (für trockene Luft) gem. **ISO 2533** (in Volumenprozent):

78,084 %	Stickstoff (N ₂)
20,9476 %	Sauerstoff (O ₂)
0,0314 %	Kohlendioxid (CO ₂)
0,9340 %	Argon (Ar)
0,000050 %	Wasserstoff (H ₂)
0,001818 %	Neon (Ne)
0,000524 %	Helium (He)
0,000114 %	Krypton (Kr)
0,0000087 %	Xenon (Xe)

Der **Wasserdampfgehalt der Atmosphäre liegt zwischen 0 und 5 %**.

1.4.3. Partialdruck

Der Anteil eines Gases *i* am Gesamtdruck eines Gasgemisches wird als "**Partialdruck des Gases *i* (p_i)**" (Teildruck) bezeichnet.

Der Partialdruck eines einzelnen Gases ist direkt proportional zu seinem Prozentanteil am Gesamtvolumen des Gasgemisches.

Bei einem Luftdruck von 1 bar (etwa Meeressniveau) gilt für unsere Atemluft:

$$\text{Bei einem Gesamtdruck von 1 bar gilt:} \\ p_i = (\text{prozentualer Volumenanteil des Gases } i \text{ [\%] / } 100 \text{ [\%]}) \times 1 \text{ [bar]}$$

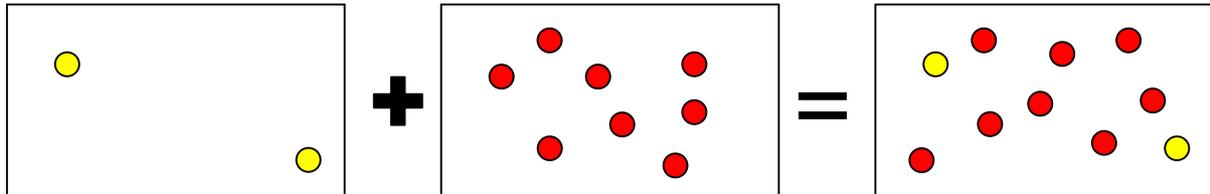
Für unsere Atemluft gilt vereinfacht (20 % O₂ + 80 % N₂):

$$p_{\text{O}_2} = (20 / 100) \times 1 = 0,2 \text{ bar}$$

In Worten: Der Sauerstoffpartialdruck beträgt 0,2 bar.

$$p_{\text{N}_2} = (80 / 100) \times 1 = 0,8 \text{ bar}$$

In Worten: Der Stickstoffpartialdruck beträgt 0,8 bar.



Sauerstoff

$$p_{\text{O}_2} = 0,2 \text{ bar}$$

Stickstoff

$$p_{\text{N}_2} = 0,8 \text{ bar}$$

Gasgemisch

$$p_{\Sigma} = 1,0 \text{ bar}$$

Falls der Gesamtdruck $\neq 1 \text{ bar}$, errechnet sich der Partialdruck entsprechend **dem Gesetz von Dalton** (s. 1.5.5.).

1.5. Gasgesetze für ideale Gase

Bei der Betrachtung idealer Gase werden die Gasteilchen als verschwindend klein angenommen und die Wirkung der van-der-Waals Kräfte zwischen den Molekülen vernachlässigt. Für einen bestimmten Druck- und Temperaturbereich ist diese Vereinfachung in der Tauchphysik zulässig, die Fehlerbereiche sind geringer als die Messfehler der eingesetzten Manometer, Thermometer und Tiefenmesser. Zu Auswirkungen kommt es erst bei den selten verwendeten 300 bar Tauchgeräten. Auch die Vereisung (Joule-Thompson-Effekt) von Tauchgeräten kann nur durch Betrachtung realer Gase erklärt werden.

Das physikalische Verhalten idealer Gase wird von drei Eigenschaften bestimmt:

Temperatur (T) (absolute Temperatur in **Kelvin**)
Druck (p)
Volumen (V).

Die Gasgesetze beschreiben mögliche Verknüpfungen.

1.5.1. Gesetz von Boyle-Mariotte (Kompressibilität von Gasen)

Problemstellung

Ein Luftballon wird von der Wasseroberfläche auf eine größere Tiefe gebracht, d.h. er wird einem größeren Druck ausgesetzt. Wie ändert sich sein Volumen?

Robert Boyle, engl. Naturforscher, 1627-1691, entdeckte 1662 experimentell den Zusammenhang zwischen Druck und Volumen der Luft.

Edmé Mariotte, frz. Physiker, ca. 1620-1684, machte ähnliche Versuche wie Boyle, jedoch ordnete er die Barometer in verschiedenen Tiefen unter Wasser an.

Gesetz von Boyle-Mariotte

"Bei gleichbleibender Temperatur ist das Produkt aus Druck und Volumen für eine abgeschlossene Gasmenge konstant."

$$p \times V = \text{const} \quad (\text{falls } T = \text{const})$$

$$\text{falls } T = \text{const} : \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

wobei zum Zeitpunkt 1 (Zustand 1): Druck p_1 , Volumen V_1
 Zeitpunkt 2 (Zustand 2): Druck p_2 , Volumen V_2

Beispiel 1

Ein Schnorcheltaucher (Apnoetaucher) mit einem Lungenvolumen von 6 Litern taucht in einer Schwimmhalle mit einer Wassertiefe von 3,8 m.

Wie groß ist sein Lungenvolumen, nachdem er von der Oberfläche zum Beckenboden abgetaucht ist?

Boyle-Mariotte'sches Gesetz:	$P \times V = c$		
Oberfläche (Zustand 1):	$p_1 \times V_1 = c$	\rightarrow	$1 \text{ bar} \times 6 \text{ l} = 6 \text{ bar l}$
Beckenboden (Zustand 2):	$p_2 \times V_2 = c$	\rightarrow	$V_2 = c / p_2$
			$= 6 \text{ bar l} / 1,38 \text{ bar}$
			$\approx 4,35 \text{ l}$

Beispiel 2

Ein Gerätetaucher mit einem Lungenvolumen von 6 Litern taucht in einer Schwimmhalle mit 3,8 m Tiefe. Wie ändert sich sein Lungenvolumen, wenn er am Beckenboden aus dem Gerät geatmet hat und ohne Luftabgabe zur Oberfläche zurückkehrt?

$$\begin{array}{ll} \text{Beckenboden (Zustand 1):} & p_1 \times V_1 = c \quad \rightarrow \quad 1,38 \text{ bar} \times 6 \text{ Liter} = 8,28 \text{ bar l} \\ \text{Oberfläche (Zustand 2):} & V_2 = c / p_2 = 8,28 \text{ bar l} / 1 \text{ bar} \approx \mathbf{8,28 \text{ Liter}} \end{array}$$

Volumenzunahme: 2,28 l (38 %)

Beachte

Lungenbläschen können ab $\Delta p = 100 \text{ mbar}$ zerreißen (= 1 m Tiefe)!

Übung 1

Ein Freitaucher (Schnorchler) besitzt ein Lungenvolumen von 6 Litern.

Wie groß ist sein Lungenvolumen in

- a. 10 m Tiefe b. 30 m Tiefe c. 17,5 m Tiefe?

Übung 2

Ein Gerätetaucher mit einem Lungenvolumen von 8 Litern atmet in 10 m Wassertiefe aus seinem Gerät (Scuba) und steigt anschließend ohne Luft abzuatmen an die Oberfläche auf.

Auf welches Volumen dehnt sich seine Lunge auf?

Übung 3

Ein Gerätetaucher verbraucht an der Oberfläche 25 Liter Luft pro Minute (AMV, Atemminutenvolumen). Wie viel Luft verbraucht er in 40 m Tiefe?

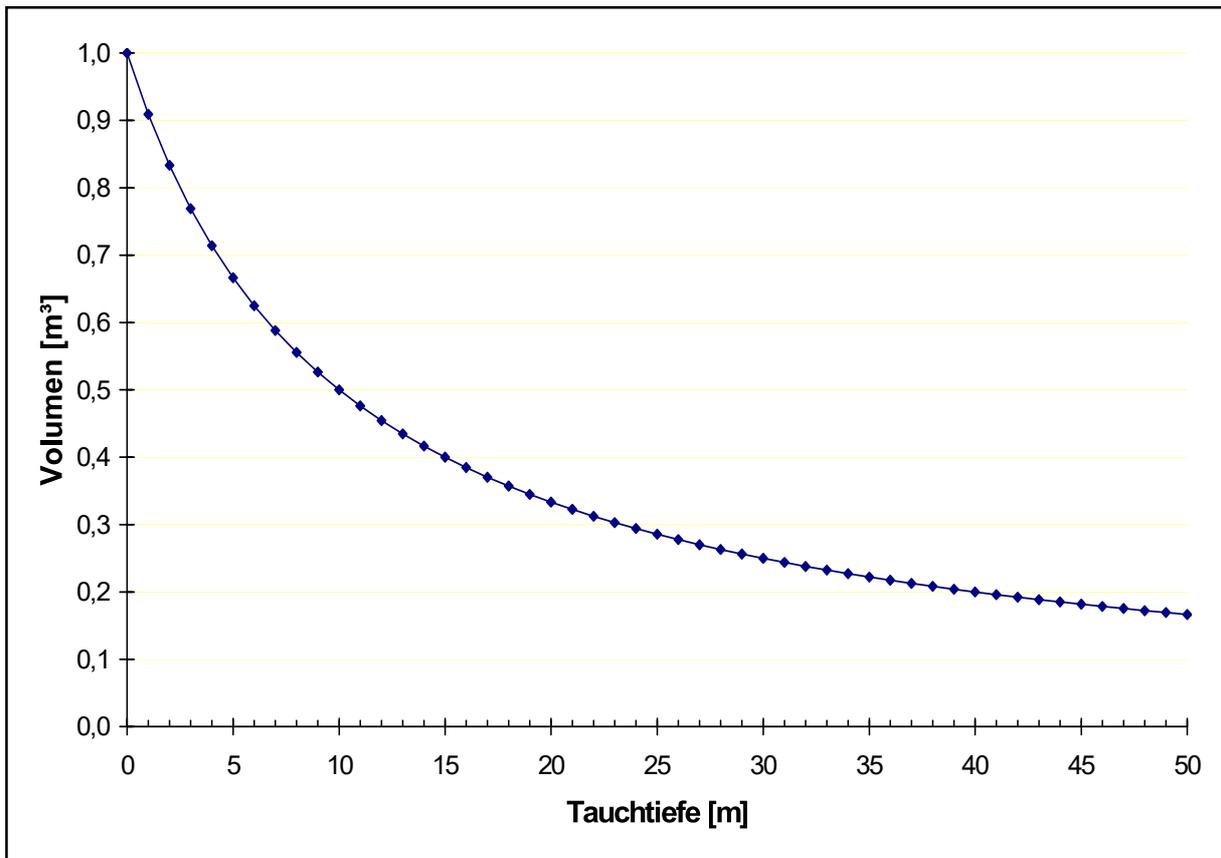


Abb.: Veränderung des Volumens einer abgeschlossenen Gasmenge mit der Tiefe entsprechend dem Gesetz von Boyle-Mariotte.

Wassertiefe [m]	Druck [bar] Tauchtiefendruck	Volumen [m³]	Volumenänderung je 10 m Tauchtiefe [%]
0	1	1,00	
10	2	0,50	50,00
20	3	0,33	16,67
30	4	0,25	8,33
40	5	0,20	5,00
50	6	0,17	3,33

1.5.2. Gesetz von Charles (engl. ‚Charles Law‘)

Jacques Alexandre César Charles, frz. Physiker und Mathematiker, 1746-1823, verbesserte die Montgolfiere durch die Verwendung von Wasserstoff als Füllgas, 1783 stieg er mit einem derartigen Luftballon (Charlière) in Paris auf, er erreichte Höhen bis 3000 m. Im Jahr 1787 entwickelte er das ‚Gesetz von Charles‘ über die Wärmeausdehnung von Gasen. Da er noch vor Gay-Lussac das nach diesem benannte Gesetz (s.a. 1.5.3) erfand, wird dieses in einigen Lehrbücher als das Gesetz von Charles (‚Charles law‘) bezeichnet.

Dieses Gesetz wird nur der Vollständigkeit halber hier mit aufgeführt. In der Tauchpraxis gibt es wenig Anwendungen. *Wichtig ist es dagegen für die Ballonfahrt.*

Gesetz von Charles

"Bei konstantem Druck wächst das Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge im direkten Verhältnis zur Zunahme der absoluten Temperatur."

Bei Abkühlung erfolgt der umgekehrte Vorgang.

Rechenvorschrift:

$$\text{falls } p = \text{const} : \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{oder} \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$

wobei zum

Zeitpunkt 1 (Zustand 1):	Volumen V_1 , Temperatur T_1
Zeitpunkt 2 (Zustand 2):	Volumen V_2 , Temperatur T_2

Beachte: Temperatur-Angaben T in Kelvin!

Beispiel

Eine unten offene Taucherammer mit einem Volumen von 5 m^3 befindet sich auf 30 m Tiefe. Die Temperatur in der Kammer kühlt von $27 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ab. Wie ändert sich das Volumen in der Kammer?

Zeitpunkt 1:	$V_1 = 5 \text{ m}^3$	$T_1 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$	(Kelvin!)
Zeitpunkt 2:	$V_2 = ? \text{ m}^3$	$T_2 = (273 + 10) \text{ K} = 283 \text{ K}$	

$$V_2 = V_1 \times (T_2 / T_1) = 5 \text{ m}^3 \times (283 \text{ K} / 300 \text{ K}) \approx 4,717 \text{ m}^3$$

1.5.3. Gesetz von Gay-Lussac *(oder auch 2. Gesetz von Charles)*

Problemstellung

Erwärmung von Gasen in einer Druckluftflasche



Warum kann eine Druckluftflasche, die auf einen Druck von 220 bar gefüllt wurde, nach dem Eintauchen ins Wasser nach wenigen Minuten nur noch einen Druck von 190 bar aufweisen?

Bei welcher Temperatur platzt eine volle Druckluftflasche?

Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850, frz. Physiker und Chemiker

Gesetz von Gay-Lussac

"Bei konstantem Volumen wächst der Druck einer abgeschlossenen Gasmenge im direkten Verhältnis zur Zunahme der absoluten Temperatur."

Bei Abkühlung erfolgt der umgekehrte Vorgang.

(In einigen älteren deutschen Lehrbüchern gibt es die Bezeichnung "Gesetz von Amontons".)

Beispiel 2

Ein Taucher springt mit seiner Druckluftflasche in 5 °C warmes Wasser. Vor dem Sprung hatte die frisch gefüllte Flasche an Bord einen Druck von 225 bar und eine Temperatur von 40 °C. Wie ändert sich im Wasser der Druck in der Flasche?

$$\text{Zeitpunkt 1: } p_1 = 225 \text{ bar} \quad T_1 = (273 + 40) \text{ K} = 313 \text{ K}$$

$$\text{Zeitpunkt 2: } p_2 = ? \text{ bar} \quad T_2 = (273 + 5) \text{ K} = 278 \text{ K}$$

$$p_2 = p_1 \times (T_2 / T_1) = 225 \text{ bar} \times (278 \text{ K} / 313 \text{ K}) \approx 200 \text{ bar}$$

Normale Sonnenstrahlung reicht nicht aus, um eine Druckluftflasche zum Platzen zu bringen!

Bei Abkühlung von Druckluftflaschen, zum Beispiel im kalten Wasser, kommt es zu einer Verringerung des Flaschendruckes!

1.5.4. Allgemeines Gasgesetz

Der Zustand einer bestimmten Gasmenge (ideales Gas) wird von drei Zustandsgrößen bestimmt:

T Temperatur (absolute Temperatur, Kelvin)
p Druck
und **V** Volumen.

Diese drei Größen sind durch die Zustandsgleichung

$p V = \gamma R T$ verknüpft,
wobei R die universelle Gaskonstante und γ die Anzahl von Molen wiedergibt.

Allgemeine Gasgleichung (für ideale Gase)

$$\frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \frac{p_2 \times V_2}{T_2} = \textit{konstant}$$

p_1	Druck im Zustand 1
V_1	Volumen im Zustand 1
T_1	Temperatur im Zustand 1 (in Kelvin!)
p_2	Druck im Zustand 2
V_2	Volumen im Zustand 2
T_2	Temperatur im Zustand 2 (in Kelvin!)

Die Gesetze von Boyle-Mariotte ($T = \text{const}$), Charles ($p = \text{const}$) und Gay-Lussac ($V = \text{const}$) sind Spezialfälle des Allgemeinen Gasgesetzes.

Beispiel

Eine unten offene Taucherkammer wird von der Oberfläche auf 30 m Wassertiefe abgesenkt.

Das Volumen der Kammer beträgt 10 m^3 .

Die Temperatur an der Oberfläche beträgt $27 \text{ }^\circ\text{C}$, in 30 m Tiefe $7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Wie groß ist das luftgefüllte Volumen der Kammer in 30 m Wassertiefe?

Zustand 1: $p_1 = 1 \text{ bar}$ $V_1 = 10 \text{ m}^3$ $T_1 = (273 + 27) = 300 \text{ K}$
Zustand 2: $p_2 = 4 \text{ bar}$ $V_2 = ? \text{ m}^3$ $T_2 = (273 + 7) = 280 \text{ K}$

$$\begin{aligned} V_2 &= (p_1 \times V_1 \times T_2) / (T_1 \times p_2) \\ &= (1 \text{ bar} \times 10 \text{ m}^3 \times 280 \text{ K}) / (300 \text{ K} \times 4 \text{ bar}) \\ &\approx 2,33 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

1.5.5. Gesetz von Dalton (Partialdruckgesetz)

PROBLEMSTELLUNG

Wie viel Druck übt jedes einzelne Gas in einem Gasgemisch aus?
Wie lässt sich dieser Druck berechnen?

Wichtig: Jedes Gas wirkt ab einem bestimmten Druck (Partialdruck) giftig!

*John Dalton, engl. Physiker und Chemiker, 1776-1844
Partialdruckgesetz 1805
(Bitte nicht verwechseln mit den "Dalton Brüdern".)*

Gesetz von Dalton

**"In einem Gasgemisch
übt ein jedes der Gase den Druck aus,
den es haben würde,
wenn es für sich alleine den ganzen Raum erfüllte,
dieser Druck heißt Partialdruck."**

**Der Gesamtdruck des ganzen Gasgemisches ist gleich
der Summe der einzelnen Partialdrücke.**

Rechenvorschrift:

p_i = Partialdruck (der Komponente i)

$$p_i = \frac{\text{prozentualer Volumenanteil [\%]}}{100 [\%]} \times \text{Gesamtdruck [Pascal]}$$

Der Gesamtdruck ist mit einem Manometer messbar. Bei Druckluftgeräten wird der Druck normalerweise in der Einheit "bar" und nicht in "Pascal" gemessen.

$$p_i = \frac{q_i}{100} \times p$$

wobei p = Gesamtdruck

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$$

q_i = prozentualer Mengenanteil (Volumenanteil)

$$100\% = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

Der Index i kennzeichnet die einzelnen Komponenten (Gase).

Beispiel 1

Entspannte Luft (1 bar Umgebungsdruck) $\rightarrow p = 1$ [bar]

Index	Gas	Volumenanteil		Partialdruck	
1	N ₂	78,08 %	q_1	0,7808 bar	p_1
2	O ₂	20,95 %	q_2	0,2095 bar	p_2
3	CO ₂	0,03 %	q_3	0,0003 bar	p_3
4	Andere	0,94 %	q_4	0,0094 bar	p_4
Σ	Gemisch	100 %	q	1,0000 bar	p

Beispiel 2

Druckluft, 20 m Wassertiefe \rightarrow Gesamtdruck = 3 [bar]

Index	Gas	Volumenanteil		Partialdruck	
1	N ₂	≈ 78 %	q_1	2,3400 bar	p_1
2	O ₂	≈ 21 %	q_2	0,6300 bar	p_2
3	CO ₂	0,03 %	q_3	0,0009 bar	p_3
4	Andere	≈ 1 %	q_4	0,0300 bar	p_4
Σ	Gemisch	100 %	q	≈ 3 bar	p

Rechenweg für Index 1: $(78 / 100) \times 3 = 2,34$ [bar]

Rechenweg für Index 2: $(21 / 100) \times 3 = 0,63$ [bar]

Beispiel 3

Druckluft, Gesamtdruck = 137 [bar]

Index	Gas	Volumenanteil		Partialdruck	
1	N ₂	78,08 %	q ₁	106,97 bar	p ₁
2	O ₂	20,95 %	q ₂	28,70 bar	p ₂
3	CO ₂	0,03 %	q ₃	0,04 bar	p ₃
4	andere	0,94 %	q ₄	1,29 bar	p ₄
Σ	Gemisch	100 %	q	137,00 bar	p

Rechenweg für Index 1: $(78,08 / 100) \times 137 = 106,97$ [bar]

Rechenweg für Index 2: $(20,95 / 100) \times 137 = 28,70$ [bar]

Gase (z.B. CO₂, CO, O₂) können bei gleichbleibendem Volumenanteil unter erhöhtem Druck einen gefährlichen Partialdruck erreichen.

Beispiel 4

Experiment "Physalie IV" der COMEX in Marseille

Zwei Versuchspersonen atmen in einer Druckkammer bei einer simulierten Tiefe von 610 Metern 80 Minuten lang ein Gasgemisch (TRIMIX) bestehend aus: 99,15% He, 0,65% O₂ und 0,17% N₂.

$$p(\text{He}) = 99,15 \% / 100 \% \times 62 \text{ bar} = 61,47 \text{ [bar]}$$

$$p(\text{O}_2) = 0,65 \% / 100 \% \times 62 \text{ bar} = 0,403 \text{ [bar]}$$

$$p(\text{N}_2) = 0,17 \% / 100 \% \times 62 \text{ bar} = 0,1054 \text{ [bar]}$$

Damit ist der Sauerstoffpartialdruck doppelt so groß wie an der Oberfläche → ausreichende O₂-Versorgung ist gewährleistet.
(Ein p(O₂) > 1,6 bar wirkt giftig!)

Übung

Gasgemisch: 60% O₂ + 40% N₂

Wie tief darf man mit diesem Gasgemisch tauchen, ohne den kritischen Wert von pO₂ = 1,6 [bar] zu überschreiten?

1.5.6. Gesetz von Henry, Halbwertskurve

PROBLEMSTELLUNG: GASE IN FLÜSSIGKEITEN

Welche Menge eines Gases i kann in einer Flüssigkeit j gelöst werden?

Welche Faktoren spielen dabei eine Rolle?

Die Löslichkeit von Gasen unter Druck in einer Flüssigkeit hängt im wesentlichen ab von:

- * **Partialdruck** des Gases i (\leftarrow Gesetz von Henry)
- * **Zeit** (Dauer der Einwirkung)
- * Temperatur
- * Löslichkeitskoeffizient α_{ij} des Gases i in der Flüssigkeit j
- * Art der Flüssigkeit j (im Löslichkeitskoeffizient eingehend)
- * Oberflächengröße der Flüssigkeit j

*Sir William Henry, engl. Arzt, Anf. 19. Jahrhundert
(nicht verwechseln mit Joseph Henry, amerik. Physiker, „Induktion“)*

Gesetz von Henry

**"Die in einer Flüssigkeit gelöste Menge eines Gases ist
(im Gleichgewicht)
seinem Partialdruck an der Flüssigkeitsoberfläche proportional."**

*Gleichgewicht = Lösung ist gesättigt
(Es lösen sich keine weitere Mengen des angebotenen Gases in der Flüssigkeit. Oder genauer ausgedrückt: Es treten genauso viele Moleküle ein wie aus und damit ändert sich in der Gesamtbilanz nichts mehr.)*

Rechenvorschrift:

$$Q_i = p_i \times \alpha_{ij} \times V_j$$

wobei

- Q_i gelöste Menge des Gases i
- p_i angebotener Partialdruck des Gases i
- V_j Volumen der Flüssigkeit j
- α_{ij} Löslichkeitskoeffizient des Gases i in der Flüssigkeit j

Der Löslichkeitskoeffizient α_{ij} ist temperaturabhängig.

Tab. I/ 2: Löslichkeitskoeffizienten verschiedener Gase in Abhängigkeit von der Temperatur
(Zahlenwerte aus: *Divemaster 2/95*)

Temperatur (°C)	Luft	O ₂	N ₂	He	CO ₂
0	29,2	48,9	23,5	9,5	35,4
5	25,7	42,9	20,9	9,2	31,5
10	22,8	38,0	18,6	9,0	28,2
15	20,6	34,2	16,9	8,8	25,4
20	18,7	31,0	15,5	8,7	23,2
25	17,1	28,3	14,3	8,5	21,4
30	15,6	26,1	13,4	8,4	20,0
35	14,8	24,4	12,6	8,3	18,8

Die **Zeit bis zur Erreichung der Sättigung** hängt von der Oberflächengröße der Flüssigkeit ab; je größer diese ist, umso eher wird die Sättigung erreicht. Wenn eine Lösung gesättigt ist lösen sich keine weiteren Mengen des angebotenen Gases in der Flüssigkeit, der **Gleichgewichtszustand** ist dann erreicht.

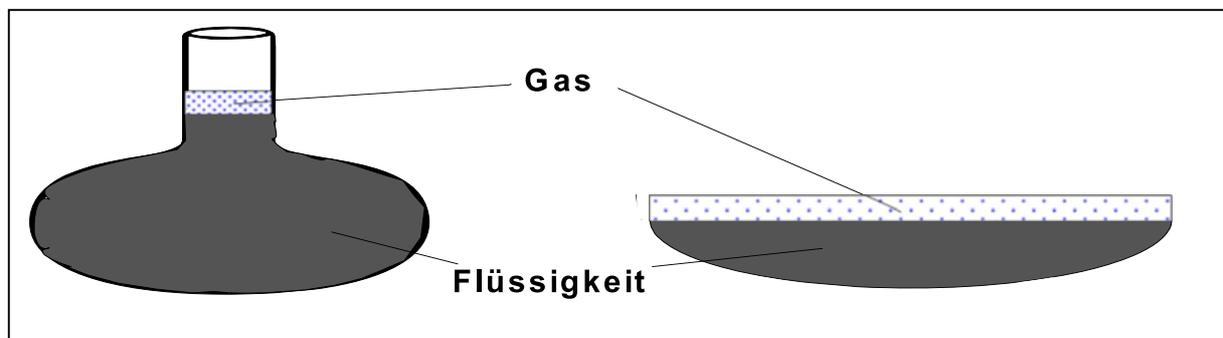


Abb. Die Flüssigkeit in der Schale ist **schneller** gesättigt!

Die Aufsättigung eines Gases in einem Gewebe (Flüssigkeit) bei Druckerhöhung erfolgt ebenso wie die Entsättigung nach einer Halbwertskurve, d.h.

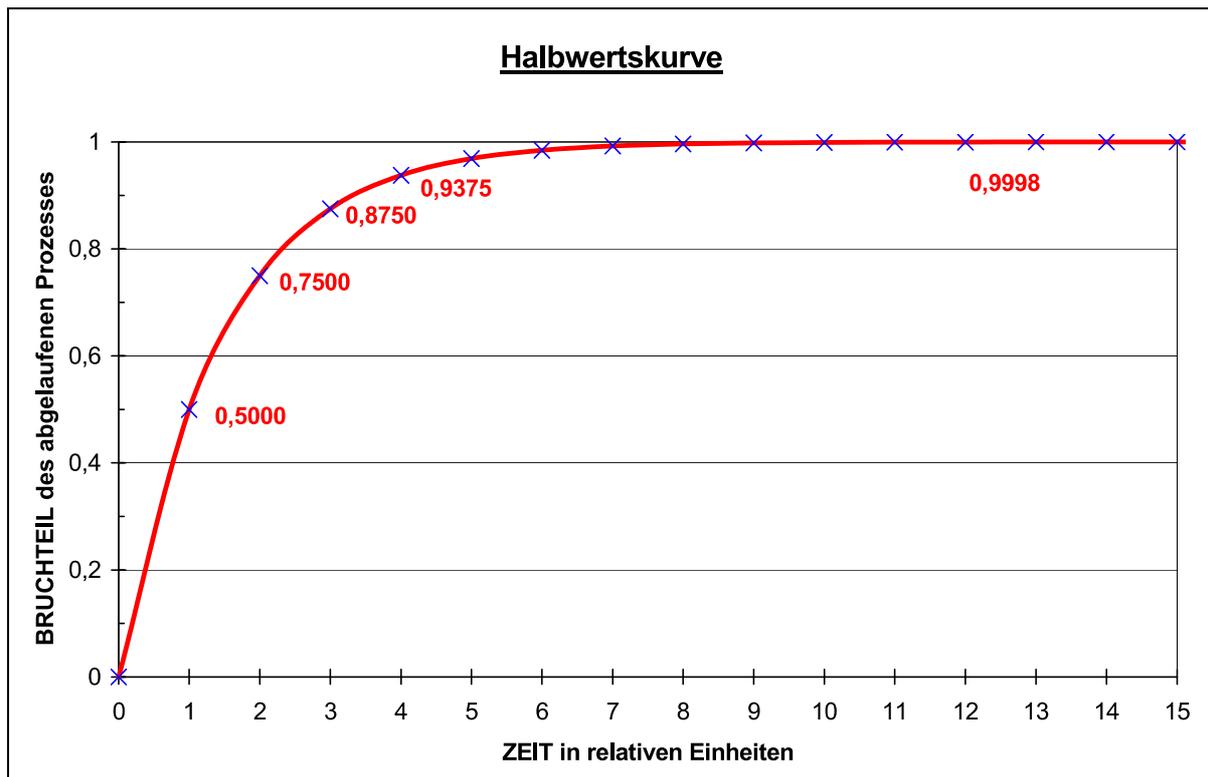
nach $t = 1x$ ist ein Prozess zu $1/2$ abgelaufen,

nach $t = 2x$ ist ein Prozess zu $3/4$ abgelaufen,

nach $t = 3x$ ist ein Prozess zu $7/8$ abgelaufen,

nach $t = 4x$ ist ein Prozess zu $15/16$ abgelaufen,

etc.



Anm.:

Halbwertszeit = Zeit (t), in der eine wägbare Menge eines radioaktiven Elementes zur Hälfte zerfällt, d.h. sich zur Hälfte in ein neues Element umwandelt.

Die Sättigungszeit einer Gasart i in einem bestimmten Gewebe hängt ab von α_{ij} wie auch von dessen spezifischer Durchblutung.

Beim Gerätetauchen löst sich Stickstoff aus der Atemluft im Blut bzw. im Gewebe des Körpers.

Bei langen Tauchgängen in großer Tiefe und zu schneller Druckentlastung (beim Auftauchen) kommt es zum Ausperlen des Stickstoffes (N_2) im Blut und im Gewebe (gleicher Effekt wie beim Öffnen einer Sektflasche).

➔ **Dekompressionskrankheit!**

1.5.7. Berechnung der maximalen Einsatztiefe für ein Gas i in einem Gasgemisch

Abkürzungen

f_i	Mengenanteil (Bruchteil) des Gases i (engl. ‚fraction‘)
f_{O_2}	Sauerstoffanteil <i>Beispiel: normale Luft mit 21% Sauerstoffanteil $\rightarrow f_{O_2} = 0,21 = 21 / 100$</i>
$p_{Gas\ i}$	Partialdruck des Gases i = Mengenanteil f_i des Gases i \times Gesamtdruck [bar]
$p_{Gas\ i\ max}$	maximal erlaubter Partialdruck des Gases i
p_{O_2}	Sauerstoffpartialdruck
$p_{O_2\ max}$	maximal erlaubter Sauerstoffpartialdruck (= 1,6 [bar] , max. 3 Stunden lang, lt. BGI 897) <i>(Sporttaucher: etwa 1,6 bar in warmen Gewässern bei normaler Arbeitsleistung, ansonsten 0,1 bis 0,2 bar niedriger)</i>
$p_{O_2\ min}$	geringster erlaubter Sauerstoffpartialdruck (= 0,16 [bar] lt. BGI 897)

MOD Maximale Einsatztiefe (engl. ‚maximum operation depth‘)

$$MOD = \left(\frac{p_{Gas\ i\ max}}{f_{Gas\ i}} - 1 \right) \times 10 \quad [Meter]$$

Maximale Einsatztiefe bei Vorgabe eines maximal erlaubten Sauerstoffpartialdruck (MOD O₂)

$$MOD(O_2) = \left(\frac{p_{O_2\ max}}{f_{O_2}} - 1 \right) \times 10 \quad [Meter]$$

Beispiel

Normale atmosphärische Luft (mit 21% Sauerstoff) $\rightarrow f_{O_2} = 0,21 = 21 / 100$
Grenzwert für Sauerstoff = 1,6 [bar]

$$MOD = \left(\frac{1,6}{0,21} - 1 \right) \times 10 \approx 66,19 \quad [Meter]$$

Weitere Formeln:

$$p_{Umgebung} = \frac{p_{Gas}}{f_{Gas}} \quad f_{Gas} = \frac{p_{Gas}}{p_{Umgebung}} \quad p_{Gas} = f_{Gas} \times p_{Umgebung}$$

1.5.8. Zusammenfassung

Dichte von Luft	$1,29 \cdot 10^{-3} \text{ [kg l}^{-1}\text{]}$	1,29 [g l⁻¹]	
Dichte von Süßwasser von 4 °C	1,00000 [kg l⁻¹]	1000 [g l ⁻¹]	
Zusammensetzung der atmosphärischen Luft		78 % Stickstoff 21 % Sauerstoff 0,03 % Kohlendioxid	1 % Edelgase und andere Gase
Archimedisches Prinzip	„Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit (scheinbar) soviel an Gewicht, (bzw. erhält soviel Auftrieb,) wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.“		
Die Gasgesetze gelten für ideale Gase (Vernachlässigung der Bindungskräfte zwischen den Molekülen).			
Allgemeine Gasgleichung	„Für eine beliebige abgeschlossene Gasmenge ist bei Zustandsänderungen der Quotient pV/T konstant.“	$\frac{p \times V}{T} = \text{konstant}$	
Gesetz von Boyle und Mariotte	"Bei gleichbleibender Temperatur ist das Produkt aus Druck und Volumen für eine abgeschlossene Gasmenge konstant."	$p \times V = \text{konstant}$ (T konstant)	Isotherme Zustandsänderung (Temperatur bleibt konstant.)
Gesetz von Charles	"Bei <u>konstantem Druck</u> wächst das <u>Volumen</u> einer abgeschlossenen Gasmenge im direkten Verhältnis zur Zunahme der <u>absoluten Temperatur</u> ." Bei Abkühlung erfolgt der umgekehrte Vorgang.	$\frac{V}{T} = \text{konstant}$ (p konstant)	Isobare Zustandsänderung (Druck bleibt konstant.)
Gesetz von Gay-Lussac	"Bei <u>konstantem Volumen</u> wächst der <u>Druck</u> einer abgeschlossenen Gasmenge im direkten Verhältnis zur Zunahme der <u>absoluten Temperatur</u> ." Bei Abkühlung erfolgt der umgekehrte Vorgang.	$\frac{p}{T} = \text{konstant}$ (V konstant)	Isochore Zustandsänderung (Volumen bleibt konstant.)
Gesetz von Dalton	"In einem <u>Gasgemisch</u> übt ein <u>jedes</u> der Gase <u>den Druck</u> aus, den es haben würde, wenn es <u>für sich alleine den ganzen Raum erfüllte</u> , dieser Druck heißt <u>Partialdruck</u> . Der <u>Gesamtdruck</u> des ganzen Gasgemisches ist gleich der <u>Summe der einzelnen Partialdrücke</u> ."	$p_i = (q_i / 100) \times p$	P_i := Partialdruck des Gases i q_i := Volumenanteil des Gases i Q_i := gelöste Menge des Gases i
Gesetz von Henry	"Die in einer Flüssigkeit gelöste Menge eines Gases ist (im Gleichgewicht) seinem Partialdruck an der Flüssigkeitsoberfläche proportional."	$Q_i = p_i \times \alpha_{ij} \times V_j$	α_{ij} := Löslichkeitskoeffizient des Gases i in der Flüssigkeit j V_j := Volumen der Flüssigkeit j

1.6. Optik (Sehen unter Wasser)

Die Geschwindigkeit von Licht unter Wasser ist geringer als im Medium Luft. Diese Tatsache kann in Kombination mit einer unpräzisen (gewohnheitsbedingten) Umsetzung (Wahrnehmung) dieser Lichtinformationen im Gehirn dazu führen, dass ein Taucher Größe und Entfernung von Gegenständen bzw. von Lebewesen unter Wasser falsch wahrnimmt. Schwächung und Streuung des Lichtes unter Wasser, insbesondere durch Wasserinhaltsstoffe, verändern die Wahrnehmung weiter und bedingen zusätzlich ein falsches Farbsehen.

1.6.1. Lichtbrechung (Refraktion)

Willebrod Snell van Rojen (lat. *Snellius*), 1580 (oder 1591?) – 1626
Niederländischer Mathematiker und Physiker

Snelliussches Brechungsgesetz (~1618):

"Beim Übergang eines Lichtstrahles aus einem Medium in ein anderes ist der Quotient aus dem Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels eine von der Natur der beiden Medien abhängige Konstante."

René Descartes (1596-1650), frz. Philosoph und Mathematiker, hat 1637 das Brechungsgesetz veröffentlicht und mit der Lichtgeschwindigkeit in einen Zusammenhang gebracht („Discours de la Méthode“, 1637).

Der **absolute Brechungsindex** n_i ist gleich dem Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit c_0 im Vakuum zur Lichtgeschwindigkeit im Medium i :

Absoluter Brechungsindex:

$$n_i = \frac{c_0}{c_i} = \frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Lichtgeschwindigkeit im Medium } i}$$

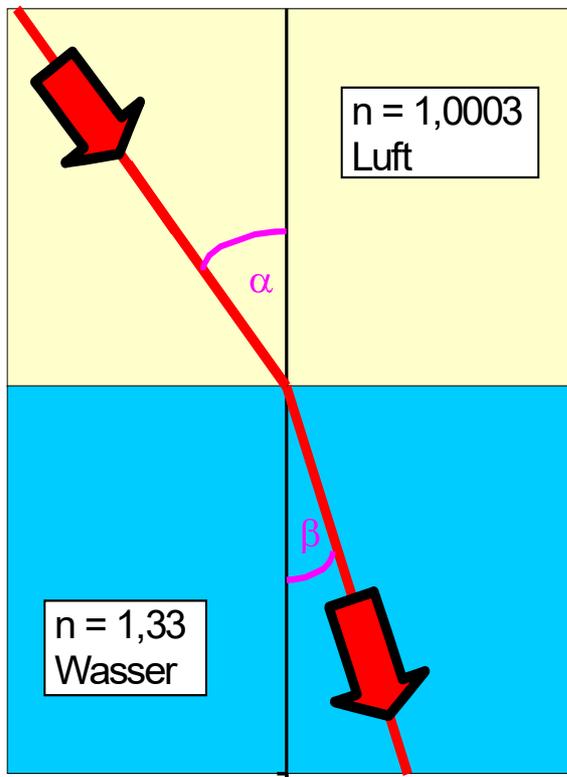
Der **relative Brechungsindex** n_{21} ist gleich dem Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit c_1 im Medium 1 zur Lichtgeschwindigkeit c_2 im Medium 2.

Relativer Brechungsindex:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Die Konstante n_{21} heißt relativer Brechungsindex des Mediums

2 in bezug auf das Medium 1. Er ist ein Maß für die Änderung der Ausbreitungsrichtung von Lichtwellen beim Übergang vom Medium 1 zum Medium 2.



Der **relative Brechungsindex beim Übergang eines Lichtstrahls von Luft in Wasser**

ergibt sich zu $n_{21} = 1,333\dots$,

wobei folgende Werte einzusetzen sind:

$$c_0 = \text{Lichtgeschwindigkeit in Vakuum} = 299796, \dots \text{ km s}^{-1}$$

$$c_1 = \text{Lichtgeschwindigkeit in Luft} \approx 300.000 \text{ km s}^{-1}$$

$$c_2 = \text{Lichtgeschwindigkeit in Wasser} = 225.000 \text{ km s}^{-1}$$

$$n_2 = n_{\text{Wasser}} = c_0 / c_{\text{Wasser}} = 1,3332$$

$$n_1 = n_{\text{Luft}} (0^\circ\text{C}; 1,013 \text{ bar}) = c_0 / c_{\text{Luft}(\dots)} = 1,000292$$

Beim Tauchen erfolgt die Lichtbrechung an der Grenzfläche zwischen der Luft in der Tauchermaske und dem umgebenden Wasserkörper. Diese Lichtbrechung bewirkt eine Vergrößerung der Abbildung auf der Netzhaut. Unter bestimmten Voraussetzungen erscheinen dem Taucher Gegenstände ein Viertel näher platziert als ihr tatsächlicher Abstand ist.

**Unter Wasser erscheinen uns alle Gegenstände
1/3 größer
und
1/4 näher [⊗].**

⊗ Vereinfachte Aussage, s.a. folgenden Text.

Diese Verzerrung kann die Hand-Augen-Koordination, insbesondere bei Tauchanfängern, beeinflussen, wenn sie versuchen einen Gegenstand unter Wasser zu greifen. Bei großen Entfernungen erscheinen Gegenstände dagegen weiter entfernt als sie tatsächlich sind. Die Ursache dieser falschen Entfernungsschätzungen beruht darauf, dass die vom Gehirn berechnete Entfernung auf den Winkeldifferenzen (☒) zwischen den auf den beiden Augen auftreffenden Lichtstrahlen (Signalen) beruht. Das Gehirn legt dabei seine lebenslangen Erfahrungen mit den Lichtstrahlen über Wasser zugrunde.

- ☒ Lichtstrahlen, von einem definierten Punkt im Wasser ausgehend, treffen auf ihren Wegen zu den beiden Augen mit etwas unterschiedlichen Winkeln auf dem Maskenglas auf und werden dort entsprechend unterschiedlich gebrochen.

Die Abstandswahrnehmung wird zusätzlich noch stark von der Trübung (Schwebstoffgehalt und gelöste Stoffe) des Wassers beeinflusst: je trüber das Wasser, um so näher rückt der Umkehrpunkt, an dem der Wechsel von Überschätzung zu Unterschätzung des Abstandes erfolgt.

Beispiel

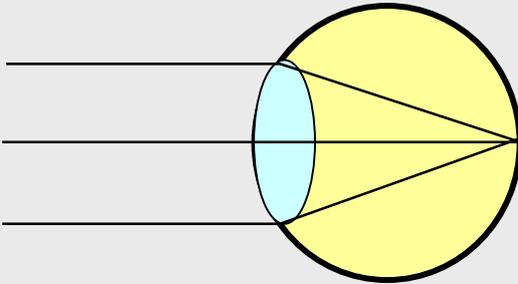
Sehr trübes Wasser:	Abstand von Objekten in 0,9 bis 1,2 m Abstand wird überschätzt.
Mäßig trübes Wasser:	Der Umkehrpunkt liegt zwischen 6,1 und 7,6 m Abstand.
Sehr klares Wasser:	Die Entfernung von Gegenständen in 15,2 bis 22,9 m Abstand wird unterschätzt.

(nach: NOAA , *Diving for Science and Technology*)

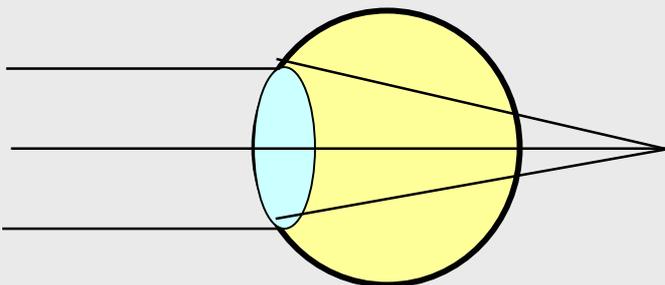
"Daumenregel": Je näher ein Objekt ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass es zu nahe erscheint, und je trüber das Wasser ist, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Abstand als zu groß angenommen wird.

Durch Erfahrung und Übung kann die Fähigkeit zur Abstands- und Größeneinschätzung deutlich verbessert werden. Dies ist sowohl für die Sicherheit als auch für Arbeiten unter Wasser (wie Forschungsarbeiten) wichtig. Als Folge der falschen Größen-/Abstandseinschätzungen wird auch die Geschwindigkeit von Objekten, die das Blickfeld kreuzen, überschätzt.

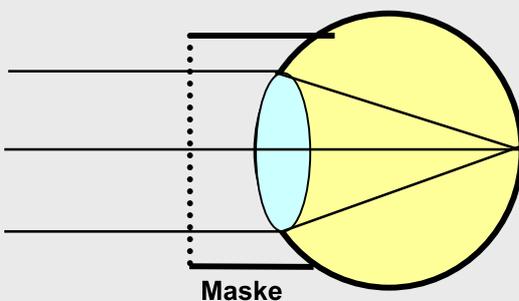
Die folgenden Abbildungen zeigen den Weg der Lichtstrahlen entsprechend den Gesetzen der geometrischen Optik:

Weg der Lichtstrahlen im Auge über Wasser

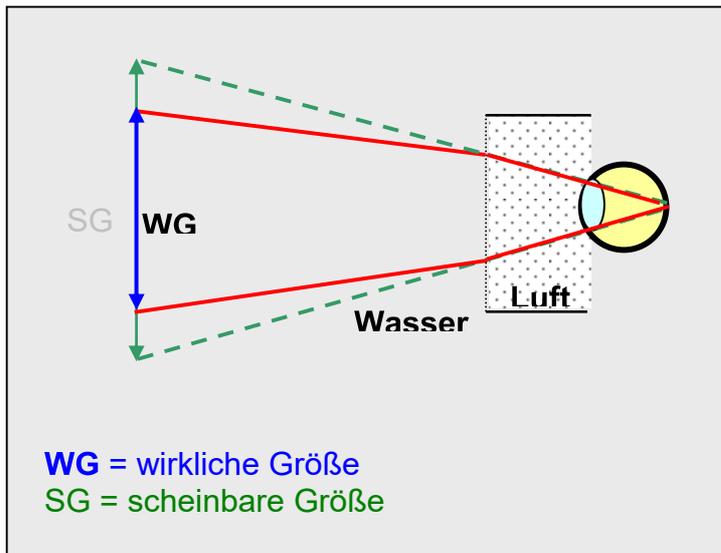
Gegenstand wird scharf auf der Netzhaut abgebildet!

Weg der Lichtstrahlen im Auge unter Wasser (anderer Brechungsindex)

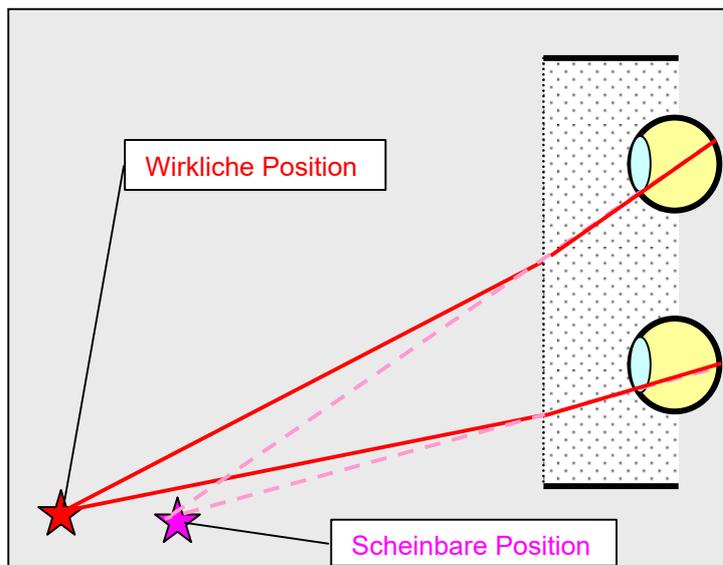
Der geänderte Brechungsindex entspricht einer **Weitsichtigkeit** von etwa **+ 45 Dioptrien!**

Weg der Lichtstrahlen im Auge unter Wasser, korrigiert mit Maske

Durch die ebene Glasscheibe der Taucherbrille wird die Sehschärfe korrigiert.



Der Bildwinkel wird verkleinert, dies wird aber vom Auge nicht festgestellt. Das scheinbare Bild ist etwa 1/3 zu groß.



Unterschiedliche Brechungswinkel am Maskenglas führen zu einer falschen Abstandsermittlung durch das Gehirn.

1.6.2. Farben und Lichtstärke (Helligkeit) unter Wasser

In das Wasser **einfallendes Licht** (Sonnenlicht, diffuses Himmelslicht) wird

a. **gestreut**

und b. **absorbiert** (in andere Energieform überführt),

wobei beide Vorgänge von der **Wellenlänge abhängig** sind.

Die **Lichtintensität nimmt dabei exponentiell** (Lambert-Beersches Gesetz) mit der Tiefe

ab. Gleichzeitig verengt sich das Spektrum des Lichts.

Tabelle I/ 3

Wellenlänge in nm (in Luft) entspr. Farbe	400 violett	450 blau	500 blau	550 grün	600 gelb	650 orange	700 rot
Vertikale Abschwächung (Atte- nuation) auf die Hälfte nach Me- tern (bei klarem Wasser)	8,66	17,33	18,23	14,7	3,53	2,22	1,18
davon verursacht durch Streuung %	45	56	39	21,3	3,6	1,6	0,7
durch Absorption %	55	44	61	78,7	96,4	99,3	99,3

(nach O. F. Ehm, 1984)

Rotes, langwelliges Licht

wird am meisten verschluckt,

blaues Licht

wird am wenigsten verschluckt.

d.h.

Wasser wirkt wie ein Blaufilter.

→ **Rote Gegenstände (z.B. Blut) erscheinen** in ca. 15 m Wassertiefe **schwarzgrau**, falls kein Kunstlicht benutzt wird.

(Rot wird von einigen Fischen deshalb als Tarnfarbe genutzt!)

Schwebeteilchen (z.B. Plankton) und gelöste Stoffe (z.B. Humussäure, „Gelbstoffe“) verkürzen o.g. Wegstrecken noch weiter (ebenfalls abhängig von der Wellenlänge).

Die Menge an Schwebeteilchen und gelösten Stoffen ist abhängig von der Jahreszeit und dem Gewässer.

Die Energie, die ein Lichtstrahl an der Oberfläche hatte, wird in folgenden Tiefen auf 1/16 vermindert (A. Stibbe, 1983):

blau	87 m
Gesamtlicht	46 m
gelb	31 m
rot	9 m

Von wesentlicher Bedeutung für die Lichtstärke unter Wasser sind auch der Einfallswinkel des Lichtes an der Oberfläche und die Oberflächenbeschaffenheit des Wassers (glatte Fläche, wellige Fläche, Schaumbildung) (Reflexionsverlust in unseren Breiten 3% bis 40%) und die Beschaffenheit des Grundes (desto heller, umso mehr Licht wird reflektiert).

Bei größeren Wassertiefen erscheint reines Wasser blau und chlorophyllreiches Wasser grün.

1.6.3. Dunkelheitsgewöhnung

Das Auge benötigt einige Zeit (ca. 10 Minuten) zur Anpassung an große Helligkeitsschwankungen. Vollständige Anpassung nach 30 Minuten.

Maßnahme: 30 Minuten vor dem Tauchen eine rote Scheibe vor den Augen tragen.

Adaption erklärt das Gefühl, es werde nach längerer Tauchzeit heller.

Bei größerer Dunkelheit Umschaltung auf Schwarzweiß = Hell-Dunkel-Sehen.

1.7. Akustik (Hören unter Wasser)

Die Schallgeschwindigkeit c in Flüssigkeiten beträgt:

$$c \approx \sqrt{\frac{1}{K}}$$

wobei K = adiabatische Kompressibilität.
 K ist eine Funktion von Temperatur, Salzgehalt und Druck.

Wasser ist ein besserer Schalleiter als Luft, daher kann sich der Schall im Wasser weiter und schneller als in Luft ausbreiten, wobei niedrigfrequente Schallwellen eine höhere **Reichweite** als hochfrequente Wellen haben.

**Die Schallgeschwindigkeit ist im Wasser
ungefähr 4,5 mal größer als in Luft!**

Tabelle I/ 4

Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Medium	
Luft	333 m s ⁻¹
Reines Wasser	1440 m s ⁻¹
Salzwasser (35 PSU, 14 °C)	1500 m s ⁻¹
Salzwasser (35 PSU, 0 °C, 0 dbar Wasserdruck)	1449,3 m s ⁻¹
Salzwasser (35 PSU, 30 °C, 0 dbar Wasserdruck)	1545,8 m s ⁻¹
Salzwasser (35 PSU, 0 °C, 1000 dbar Wasserdruck)	1465,8 m s ⁻¹
Salzwasser (35 PSU, 30 °C, 1000 dbar Wasserdruck)	1562,5 m s ⁻¹

Konsequenzen:

Die Richtungsortung einer Schallquelle ist unter Wasser kaum möglich.



Der Schall einer entfernten Schallquelle benötigt unterschiedliche Zeiten bis er beide Ohren erreicht hat (unterschiedliche Strecken). Die Zeitdifferenz Δt wird im Gehirn verarbeitet und als Information über die Richtung der Schallquelle ausgewertet.

Im Wasser ist $\Delta t \approx 4,5$ mal kleiner als in Luft! → Die Zeitdifferenz kann kaum noch zur Richtungsortung verarbeitet werden.

→ Gefahr: Sich nähernde Motorboote können aufgrund der fehlender Richtungsordnung den Tauchern gefährlich werden.

Hinweis: Neopren (Kopfhauben) filtern Schall > 1000 Hz.

Militärische Schiffe haben Sonargeräte (Ultraschall hoher Intensität), Tauchen in der Nähe solcher Schiffe ist lebensgefährlich.

Vorsicht auch bei UW-Explosionen (z.B. Sedimentforschung), im Wasser gefährlicher, Explosionsparameter genau berechnen!

1.8. Temperatur-Schichtung in Süßwasserseen und biologische Produktion

Winter: Stagnation

Bei Ausbildung einer Eisdecke hat der Wind keine Bedeutung mehr für die Zirkulation im Gewässer.

Die Wassertemperatur nahe der Oberfläche liegt bei 0 °C (Eisbildung) und nimmt mit der Tiefe bis auf 4 °C (größte Dichte des Wassers) zu.

Aufgrund der geringen Sonnenstrahlung ist die biologische Produktion unwesentlich.

Frühjahr: Vollzirkulation

Durch die verstärkte Sonnenstrahlung erwärmt sich das Wasser auf 4 °C, Sprungschichten werden aufgelöst. Der Wind kann das Wasser leicht durchmischen.

Nach einer starken Frühjahrsblüte (geringe Sichtweiten) kommt es nach Aufzehrung der Nährstoffe zu einer deutlichen Abnahme der biologischen Produktion. Die Sichtweiten bessern sich drastisch.

Sommer: Stagnation

Die Sonne erwärmt das Wasser weiter (d.h. es wird spezifisch leichter). Es kommt zur Ausbildung kräftiger Sprungschichten. Die schwachen Winde tragen kaum zu einer Vermischung bei.

Herbst: Vollzirkulation

Herbststürme und Abkühlung (Abbau der Sprungschichten) resultieren in einer Durchmischung bis in größere Tiefen.

Die biologische Produktion ist aufgrund der Nährstoffeinträge erhöht (Herbstblüte)

Anmerkung: In eutrophen Seen ist die Produktion ganzjährig nahe der Oberfläche sehr stark. Darunter sind die Sichtweiten meist gut.

1.9. Wärmetransport, Kälteschutz

Temperatur eines Körpers = Wärmeenergie (Bewegung von Molekülen)

Wärmetransport erfolgt durch:

a. Wärmeleitung (Konduktion)

Übertragung in einem Material, wobei Wasser besser leitet als Luft.

(Ungeschützter Taucher verliert einen großen Teil seiner Wärme durch direkte Wärmeleitung.)

b. Wärmeströmung (Konvektion)

Übertragung durch bewegte Flüssigkeiten oder Gase

(In einem Nasstauchanzug steigt warmes Wasser nach oben und kaltes Wasser strömt nach → Wärmeverlust.)

c. Wärmestrahlung erfolgt durch elektromagnetische Wellen

(Beispiel: Sonnenstrahlung). *(Spielt für Taucher unter Wasser keine Rolle.)*

Stoffe, die Luft oder Gase enthalten (z.B. Zellkautschuk [Neopren[®]]), wirken als

Wärmeisolatoren.

(Bei Gasen ist He bester Wärmeleiter.)

Nasstauchanzüge werden in der Tiefe zusammengedrückt und verlieren einen Teil ihrer Wärmedämmungsqualität.

Beispiel 1

Zellkautschuk-Anzug, 7 mm dick

Auf die eingeschlossenen Gasblasen wirkt der Wasserdruck. Die Größe der Gasblasen ändert sich entsprechend dem Gesetz von Boyle-Mariotte.

Damit ändert sich die Wärmequalität, wie folgt:

in 10 m Tiefe auf 1/2,

in 20 m Tiefe auf 1/3 und

in 50 m Tiefe auf 1/6.

(nach A. Stibbe, 1983)

Beispiel 2

Ein nylongefüllter Neoprenanzug von 6,3 mm Stärke verliert

in 10 m Tiefe 35 % seines Volumens und

in 30 m Tiefe 50 % seines Volumens.

Dabei verringert sich seine Isolationswirkung

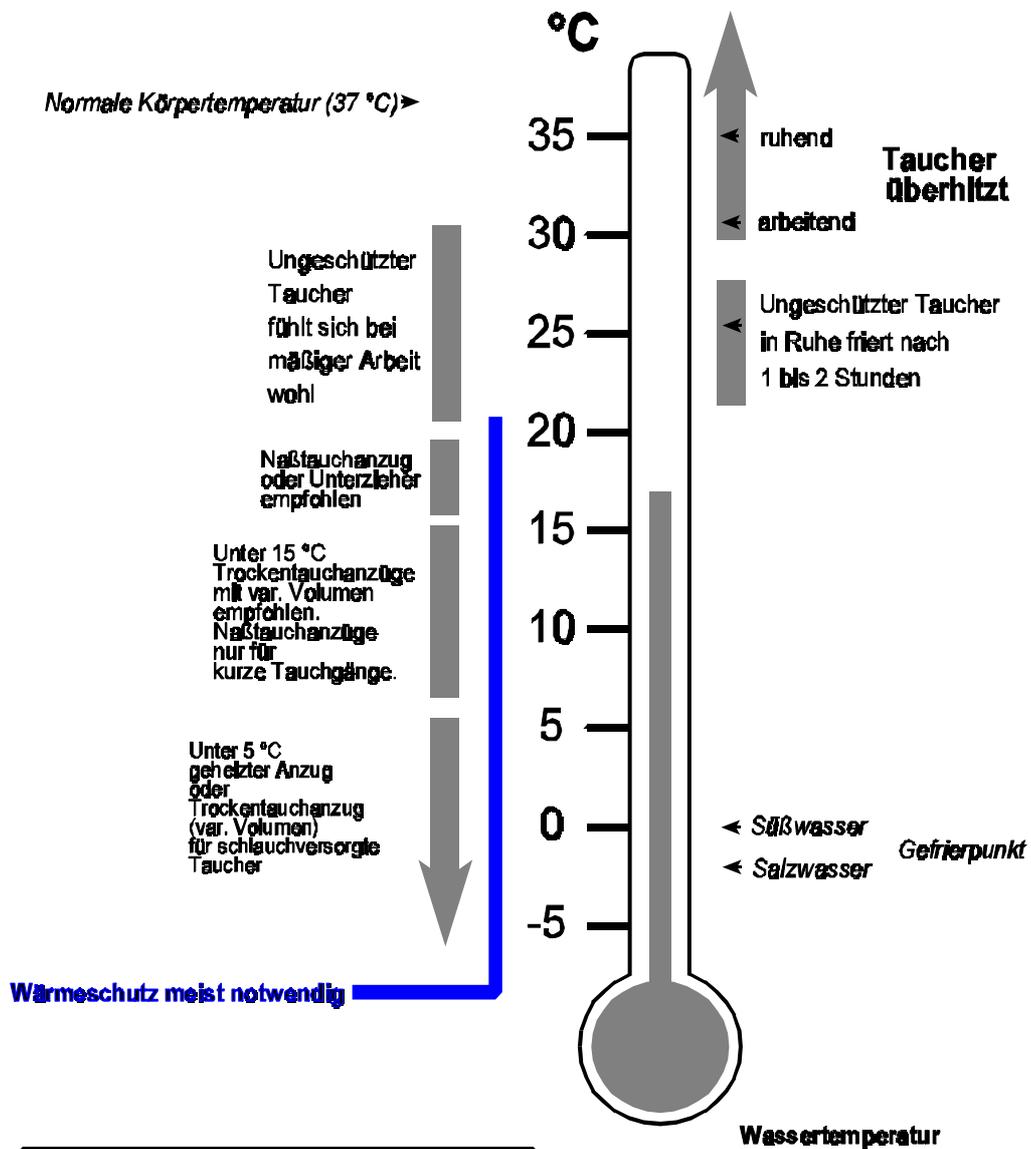
in 20 m Tiefe um 50 % und

in 30 m Tiefe um 63 %.

(nach O. F. Ehm, 1991)

Bei Einsätzen von Forschungstauchern in deutschen Gewässern ist die Verwendung von Trockentauchanzügen außer in den Sommermonaten (in geringen Tauchtiefen) in der Regel notwendig!

Kälteschutzmaßnahmen im Wasser



Hinweis:
 Die individuelle Fitness, das Körperfett und die aktuelle Gewöhnung an das kalte Wasser bestimmen letztendlich wie lange der/die Taucher/IN unterschiedlichen und extremen Temperaturen widerstehen kann.

nach:
 U.S. Navy Diving Manual Vol. 1
 Ausgabe: Rev. 3, Februar 1996

1.10. Diffusion

Chemie

Gegenseitiges Durchdringen [von Gasen oder Flüssigkeiten]

Physik

Zerstreuung

lat.;

lat.;

„das Auseinanderfließen“

dis- = auseinander,

fundo = ausgießen, ausbreiten

Konzentrationsunterschiede bei

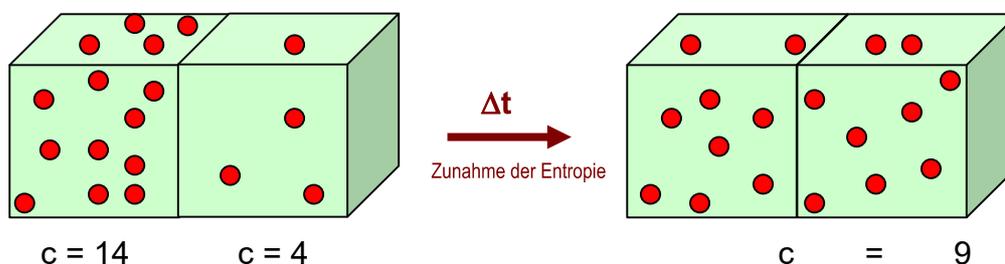
- Gasförmigen Stoffe
- Gelösten Stoffen
- Energie (*Wärme*)

→ **Ausgleich** auch ohne äußere Einwirkung

Dazu bewegen sich die Teilchen im statistischen Mittel durch die Brownsche Molekularbewegung (*zufällig und ungerichtet*) temperaturabhängig von der höheren → niedrigen Konzentration.

Bewegung der Teilchen erfolgt frei oder bei der Transfusion durch eine poröse Wand oder Membran hindurch.

Ist die Membran semipermeabel (*halbdurchlässig*) → **Osmose**.



Beispiel aus der Tauchmedizin

Diffusionsbasierter Gasaustausch:

- **Äußere Atmung:** Übergang von Atemgasbestandteilen zwischen den Alveolen und den Blutgefäßen
- **Innere Atmung (Zellatmung):** Übergang von Atemgasbestandteilen zwischen dem Gewebe und dem Blut.

1.10.1. Ficksche Diffusionsgesetze

Adolf Fick (3.09.1829 – 21.08.1901), *deutscher Arzt (Pathologe) und Physiologe*
Er veröffentlichte 1855 in "Poggendorfs Annalen der Physik" eine Arbeit mit dem Titel: "Über Diffusion".

1. Ficksches Gesetz

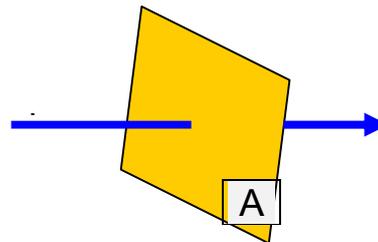
"Je höher der Konzentrationsgradient an einer Stelle,
desto höher ist der Teilchenstrom an dieser Stelle."

$\frac{\partial C}{\partial x}$ Konzentrationsgradient

C := Konzentration (oder auch *Anzahl von Teilchen*)
 K := Diffusionskoeffizient (*Diffusionskonstante*) des betreffenden Stoffes
 ∂x := Diffusionsstrecke
 A := durchströmte Fläche (*Referenzfläche*)

J := Netto-Teilchenstrom (*Diffusionsstrom*)

$$J = -K \times A \times \frac{\partial C}{\partial x}$$



Das Minuszeichen weist daraufhin,
dass der Netto-Teilchenstrom in Richtung abnehmender Konzentration erfolgt.

J/A := Teilchenstromdichte (engl. *flux*)

Beispiel aus der Tauchmedizin

$C = \text{gelöstes Inertgas (N}_2\text{)}$, $A = \text{Oberfläche der Alveole}$

Mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung: $\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial J}{\partial x}$ ergibt sich bei konstantem K

die **Diffusionsgleichung (2. Ficksches Gesetz)**:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \times \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Diffusionsgeschwindigkeit
(zeitliche Änderung der Konzentration)

2. Ficksches Gesetz (Diffusionsgleichung)

"Die zeitliche Änderung der Konzentration
an einer Stelle ist proportional
zur 2. Ableitung der Konzentration nach dem Ort."

2. ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE

2.1. Atmung

Durch die Atmung wird Sauerstoff (O_2) in den Körper gebracht und Kohlendioxid (CO_2) aus ihm entfernt. Auf ihrem Weg durch Nase, Mund und Hals wird die eingeatmete Luft erwärmt, mechanisch gereinigt und angefeuchtet.

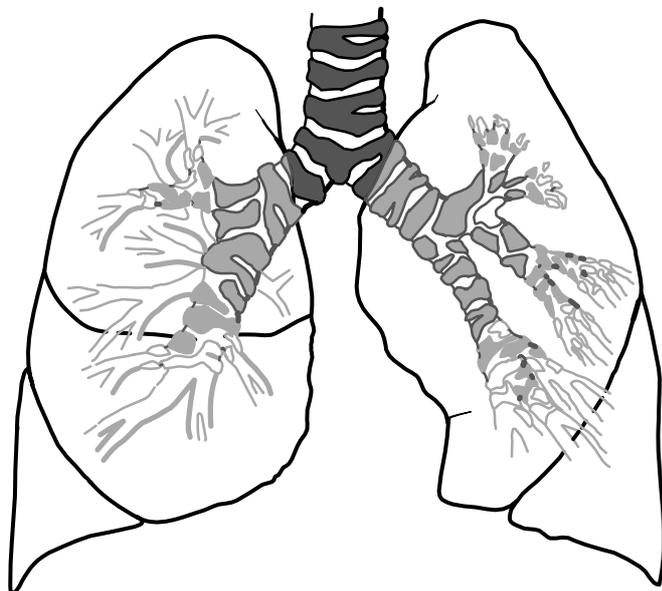
2.1.1 Atemapparat

Obere Atemwege	Nasenhöhlen oberer und mittlerer Teil des Rachens
	Kehlkopf
Untere Atemwege	Luftröhre (Trachea) ca. 12 cm lang Stammbronchien (Hauptbronchien) Bronchialbaum
Atemkammerraum	Lungenbläschen (Alveolen)

Die Stammbronchien teilen sich in der Lungenwurzel in die fünf Lappenbronchien (rechts drei, links zwei) auf. Der linke Lungenflügel besteht nur aus zwei Lappenbronchien um Raum für das Herz zu schaffen.

Aus den Lappenbronchien gehen die Segmentbronchien hervor, die sich **in immer feinere Äste (Bronchiolen) aufteilen**.

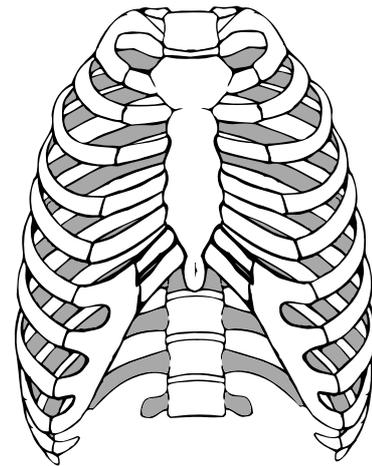
Die Bronchiolen gehen in Alveolengänge und in **Lungenbläschen (Alveolen)** über. Die Lungenbläschen haben einen Durchmesser von ca. 0,2 - 0,06 mm. Ihre Anzahl beträgt ca. 500 (300-750) Mio. Stück. Sie sind von einer dünnen Membran umhüllt, die den Gasaustausch ermöglicht.



Zwischen den Alveolen liegen das elastische Bindegewebe sowie **Blutgefäße**.

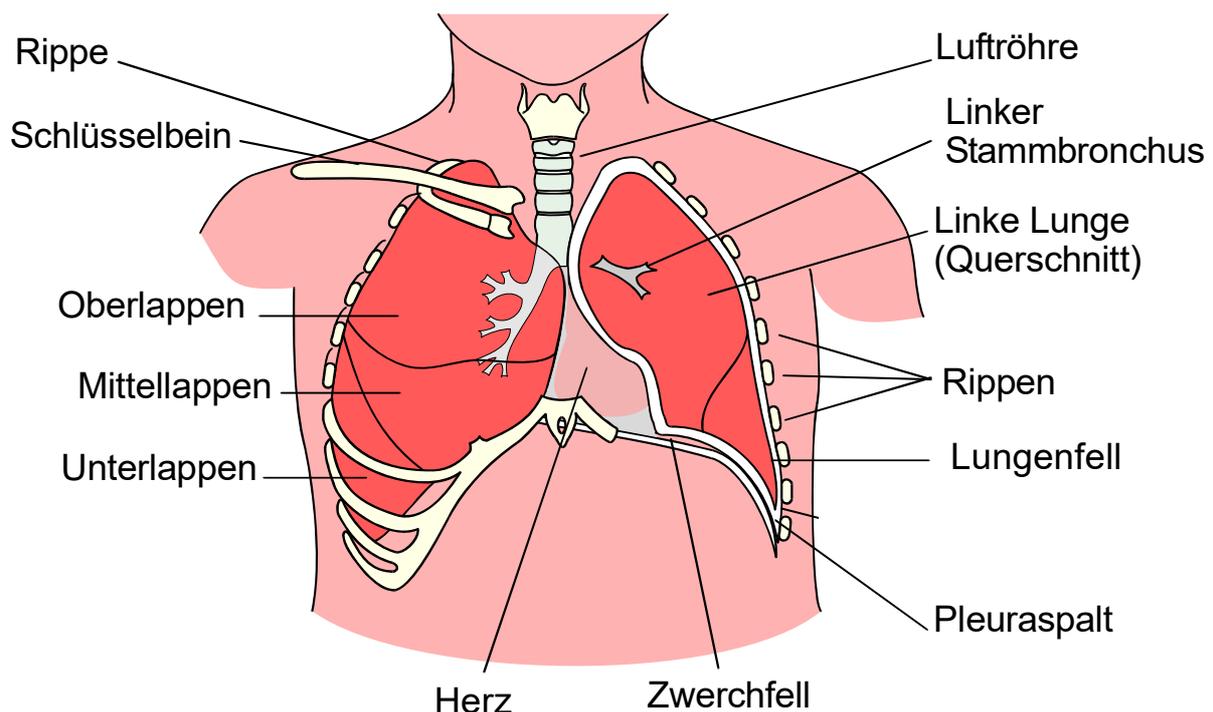
Zwischen den Alveolen und dem Kapillarnetz erfolgt der **Austausch von O_2 , CO_2 und N_2 entsprechend dem Gesetz von Henry** (d.h.: rein physikalischer Vorgang (Diffusion)). Für diesen Gasaustausch beträgt die Fläche (Oberfläche der Lungenbläschen) etwa 100 - 200 m².

Die **Lungenflügel** liegen im **Brustkorb (Thorax)**, der von den Rippen und dem Zwerchfell begrenzt wird. Die Rippen sind gelenkartig mit der Brustwirbelsäule verbunden und haben teilweise eine Verbindung mit dem Brustbein. Der von den Rippen gebildete knöcherne Korb kann durch Muskeln in den Zwischenrippenräumen seinen fassförmigen Raum vergrößern oder verkleinern. In der Brusthöhle (Brustraum) befindet sich die Lunge. Sie besteht aus einem rechten und einem linken Lungenflügel. Die Lungenflügel teilen sich weiter auf in die Lungenlappen (rechts: 3, links: 2), diese wiederum in die Lungenläppchen (*Lobulus*). Die Lungenläppchen haben einen Durchmesser von 1 cm bis 1,5 cm.



Die Innenflächen des Brustkorbes sind mit dem **Rippenfell** oder Brustfell (*Pleura parietalis*) ausgekleidet, während das **Lungenfell** (*Pleura visceralis*) das Lungengewebe umhüllt.

Lunge und Brusthöhle



Zwischen Rippenfell und Lungenfell liegt der Pleuraspalt. Er ist mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht ausgefüllt. Vergrößert sich der Brustraum (Einatmung, aktive Muskelarbeit) entsteht ein Unterdruck im Pleuraspalt ($p = \text{ca. } -8 \text{ mbar}$) [Intrapleuraler Druck = Druckdifferenz zwischen Intrapleuralspalt und Atmosphäre = „negativer Druck“, Unterdruck], die Lungenflügel folgen der Ausweitung des Raumes und Luft wird in die Lunge eingesogen. Beim Ausatmen erschlaffen die Muskeln, der Brustraum verkleinert sich wieder und die Lungenflügel ziehen sich aufgrund ihrer eigenen Elastizität wieder zusammen (Rückkehr in die Ausgangslage). Dabei

wird die Luft ausgepresst. Der Druck im Pleuraspalt nimmt leicht auf $p = -5$ mbar zu. Bei einem Druck von $p = \pm 0$ mbar würde sich der betroffene Lungenflügel auf Faustgröße zusammenziehen und den Gasaustausch (zwischen Lunge und Blut) unterbrechen.

Vergrößert sich der Brustraum (d.h. der Unterdruck im Pleuraspalt), so folgt die Lunge der Ausweitung des Raumes.

2.1.2. Atemmechanik

Einatmung (Inspiration):
 √ Zwerchfell zieht sich zusammen und seine Kuppeln flachen ab.
 √ Zwischenrippenmuskulatur hebt die Rippen an und der Brustraum wird dadurch vergrößert.
 (**aktive Muskelarbeit**)

Ausatmung (Expiration):
 √ Zwerchfell erschlafft → zwei Kuppeln werden nach oben gewölbt,
 √ Erschlaffung der Zwischenrippenmuskulatur
 → Brustraum verkleinert sich.
 (Elast. Kräfte → Ausgangslage)

Dem Zwerchfellmuskel kommt die Hauptaufgabe bei der Atmung zu.

Je älter der Taucher ist, umso geringer wird die Atmung durch die Zwischenrippenmuskulatur (Brustatmung) unterstützt.

Äußere Atmung

Luft wird durch Erweiterung des Brustkorbes
 (aktive Muskelzusammenziehung der Zwischenrippenmuskulatur und des Zwerchfells)
 in die Lungenflügel eingesaugt
 und durch Verkleinerung des Brustraumes wiederum ausgepresst.
 Die Lungen folgen passiv diesen Bewegungen.

Die Atembewegungen werden gesteuert vom **Atemzentrum** im verlängerten Rückenmark (*Medulla Oblongata*). Die Steuerung erfolgt vor allem durch den Kohlendioxidgehalt ($p\text{CO}_2$) im Blut, der mit Hilfe von Chemorezeptoren gemessen wird.

Hoher CO_2 -Gehalt → Vertiefte Atmung
 Niedriger CO_2 -Gehalt → Verlangsamte Atmung, Atempause

Der selbstständige Rhythmus kann auch willkürlich beeinflusst werden durch Signale von der Großhirnrinde. Kurzfristig sind willkürliche Ventilationssteigerungen bis etwa 150 l min^{-1} möglich. Die Atemmotorik besitzt damit also eine "Doppelansteuerbarkeit".

Weitere Faktoren für den Atemantrieb sind die Sauerstoffbeladung ($p\text{O}_2$) und die Säuerung (H^+ -Ionenkonzentration) des arteriellen Blutes. Veränderungen der drei Faktoren $p\text{CO}_2$, $p\text{O}_2$, H^+ wirken sich direkt auf Volumen und Frequenz der Atmung aus. Diese Veränderung der Atmung (Ventilation) beeinflusst dann die Abgabe des CO_2 und die Aufnahme von O_2 und führt damit letztendlich auch

wieder zu einer Änderung der o.g. Steuergrößen im arteriellen Blut. Es kommt also zu einer Rückkoppelung der Faktoren. Beispielsweise führt ein erhöhter $p\text{CO}_2$ im Blut zu einer Ventilationssteigerung, die dann wiederum die CO_2 -Abgabe über die Lunge an die Umgebung erhöht. Im Gegensatz zum $p\text{CO}_2$ führt ein Absinken des $p\text{O}_2$ erst nach längerer Zeit zu einer schwachen Ventilationssteigerung. Dies kommt hauptsächlich im Hochgebirge mit seinem im Vergleich zum Meeresniveau deutlichen geringeren $p\text{O}_2$ in der Atemluft vor. Grundsätzlich ergibt eine Ventilationssteigerung nur dann eine zusätzliche Aufnahme von Sauerstoff im Blut, wenn dort dafür freie Transportkapazitäten bestehen. Da diese aber im Normalfall (gesunder Taucher, Meeresniveau) bereits zu über 95% genutzt werden, sind nur noch geringfügige Steigerungen bis maximal 5% möglich.

2.1.3. Atemgrößen (Atemrhythmus, -volumen)

Normale Atemfrequenz (AF):	12 (-16) Atemzüge pro Minute
Normales Atemzugvolumen (AZV):	ca. 0,5 Liter (Respirationsluft, Atemzugvolumen)
Atemminutenvolumen (AMV):	6-8 Liter

Der Sauerstoffverbrauch vom Organismus hängt von seiner Arbeitsleistung ab. Um den Körper mit der notwendigen Menge zu versorgen, **kann das [Atemminutenvolumen \(AMV\)](#) auf bis zu 120 Liter pro Minute gesteigert werden!**

Tabelle 2/1: Atemgrößen in Abhängigkeit von der geleisteten Arbeit

	Atemvolumen [l]	Atemfrequenz [min^{-1}]	AMV [l min^{-1}]
in Ruhe	0,3 - 0,75	10 - 16	5 - 10
leichte - mittlere Arbeit	0,75 - 1,5	10 - 24	10 - 40
schwere - schwerste Arbeit	1,0 - 5,0	20 - 35	40 - 120

Tabelle 2/2: Atem-Minuten-Volumen (AMV) in Abhängigkeit von der Leistung

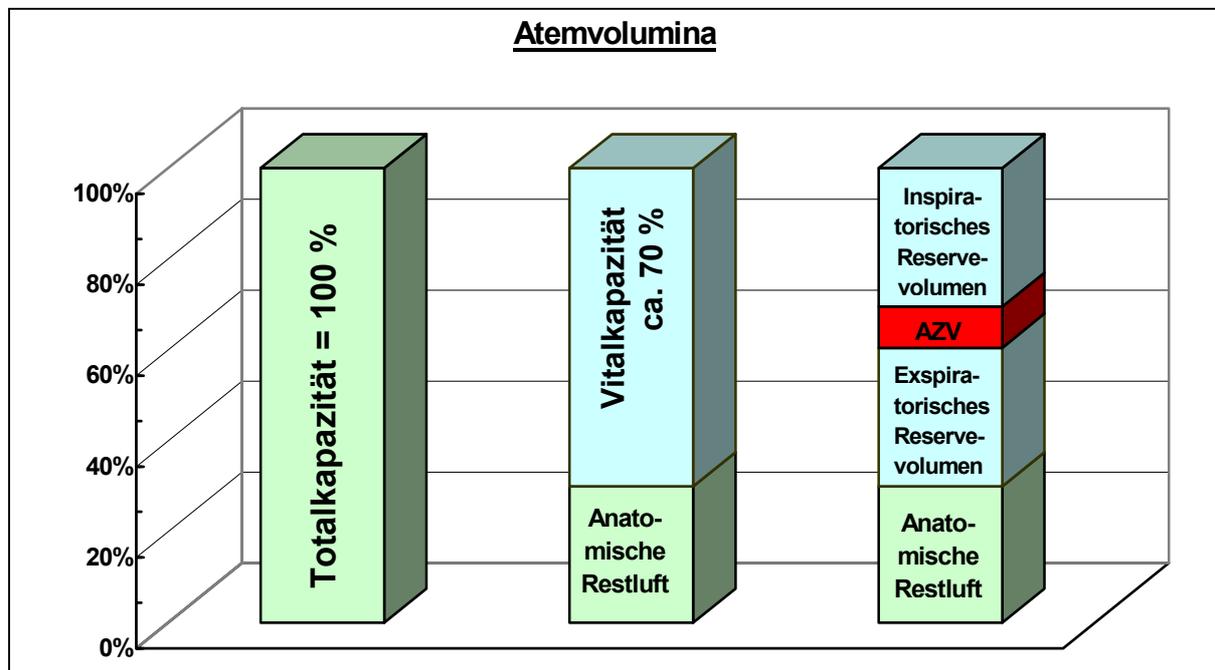
	AMV [l min^{-1}]
absolute Ruhe	6
Gehen 3 km/h	15
Schwimmen 15 m/min	17,5
Schwimmen 30 m/min	39
Laufen 12000 m/h	46,5
Schwimmen 40 m/min (1000 m / 25 min)	65

Bei **einfachen Berechnungen zum Luftverbrauch** wird das Atemminutenvolumen (**AMV**) eines Tauchers mit **20 Litern** angesetzt.

Folgende Begriffe bezeichnen unsere Atemvolumina (Atemgrößen):

Totalkapazität, Vitalkapazität, Atemzugvolumen, inspiratorisches Reservevolumen, expiratorisches Reservevolumen, anatomische Restluft.

Begriff	Erläuterung	Typische Werte (erwachsene Person)
Vitalkapazität	Luftmenge, die nach maximaler Einatmung maximal wieder ausgeatmet werden kann	4000 - 7000 ml
anatomische Restluft (Residualluft)	Luftmenge, die nach maximaler Ausatmung in der Lunge verbleibt	1000 - 1800 ml
Totalkapazität	Summe von Vitalkapazität und Restluft	5000 - 9000 ml
Atemzugvolumen (AZV)	normales Ventilationsvolumen	500 ml
inspiratorische Reservevolumen	Luftvolumen, das (nach Einatmung) zusätzlich eingeatmet werden kann	2500 - 4600 ml
expiratorische Reservevolumen	Luftvolumen, das (nach Ausatmung) zusätzlich ausgeatmet werden kann	1000 - 1800 ml



Vitalkapazität

Luftmenge, die nach **maximaler Einatmung** maximal wieder ausgeatmet werden kann.

Die Vitalkapazität ist abhängig von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht. Nach dem 30. Lebensjahr nimmt die Elastizität der Lunge und damit auch die Vitalkapazität ab. Bei jungen Menschen lässt sich die Vitalkapazität durch Training deutlich steigern.

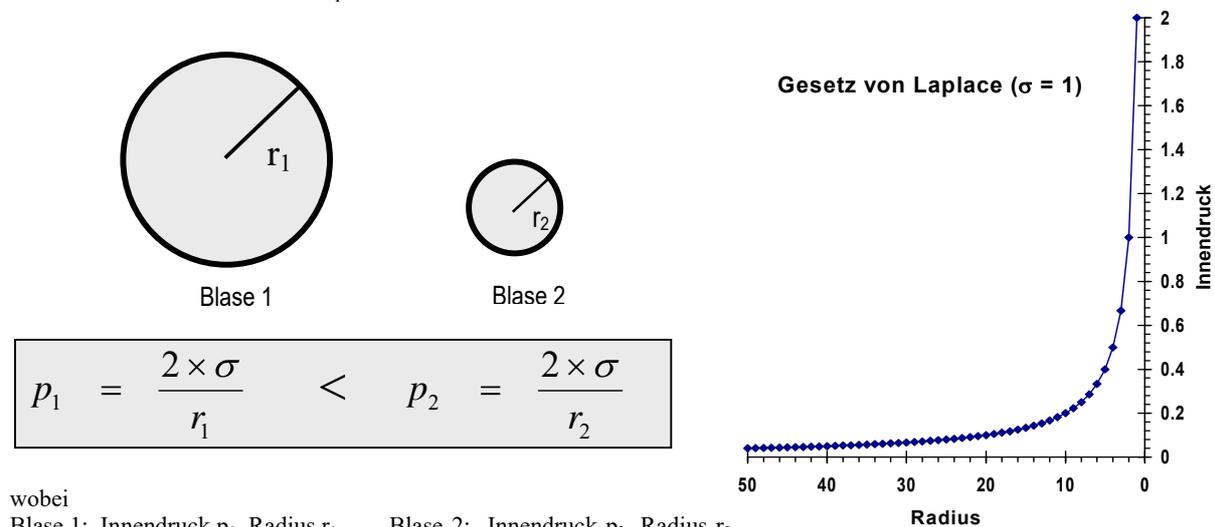
2.1.4 Surfactant ('surface active agent')

Bei der Einatmung (Inspiration) folgt die Lunge der Ausweitung des Brustkorbes. Die Alveolen werden gedehnt und Frischluft strömt ein. Da das Volumen eines normalen Atemzuges (Ruheatmung eines Erwachsenen) etwa 0,5 Liter beträgt, werden nur ca. 10 % des gesamten Lungenvolumens genutzt, d. h. jede 10. Alveole ist bei einem normalen Atemzug beteiligt. Damit auch nicht entfaltete Alveolen geöffnet werden, ist etwa jeder 100. Atemzug ein sehr tiefer. Bei Arbeitsleistung sind entsprechend mehr Alveolen beteiligt. Bei schwerer Arbeit wird die gesamte Vitalkapazität beansprucht.

Die innere Oberfläche der Alveole ist von einem hauchdünnen Flüssigkeitsfilm bedeckt. Die gegenzeitige Anziehung der Moleküle in dieser Flüssigkeitsschicht tendiert zu einer Verkleinerung der Oberfläche. Diese an den Grenzflächen von Flüssigkeiten wirkende Kraft wird als Oberflächenspannung σ [N/m] bezeichnet.

(Relativ leichte Gegenstände wie z. B. Nadeln kann man auf einer Wasseroberfläche schwimmen lassen. Die Kraft, die diese Gegenstände schwimmen lässt, ist nicht die Auftriebskraft, sondern die Oberflächenspannung. Sie resultiert aus den Kohäsionskräften, die zwischen den einzelnen Wassermolekülen wirken und entsteht an den Berührungsstellen zweier Substanzen unterschiedlicher Phasen.)

Die Dehnung einer Gasblase ist gleich zu setzen mit einer Vergrößerung ihres Radiuses. Entsprechend dem **Gesetz von Laplace** (Laplace, Pierre-Simon de, frz. Astronom, Mathematiker und Physiker, 1749 - 1827) nimmt der Innendruck p_i einer als kugelförmig angenommenen Gasblase i hyperbolisch mit abnehmendem Radius r_i zu:



wobei

Blase 1: Innendruck p_1 , Radius r_1 Blase 2: Innendruck p_2 , Radius r_2

Radius $r_1 >$ Radius r_2

Beide Blasen haben hier eine gleiche Oberflächenspannung σ .

Kleine Blasen haben also nach dem Gesetz von Laplace bei konstanter Oberflächenspannung σ einen größeren Innendruck als große Blasen.

Wendet man nun das Gesetz von Laplace einfach auf die Lungenbläschen (Alveolen) an und berücksichtigt, dass die Alveolen miteinander verbunden sind, würde sich für die Alveolen mit einer gleichen, konstanten Oberflächenspannung σ , folgendes Szenario ergeben:

Die kleinen Alveolen würden zum Kollaps neigen und sich in die größeren Alveolen entleeren. Insgesamt käme es also damit zu einer Umverteilung der Gasvolumina in die größeren Alveolen. Folge wäre eine Destabilisierung der Lunge und ihrer Funktion.

Bereits 1929 wurde von dem Schweizer Wissenschaftler *Kurt Neergard* vermutet, dass eine oberflächenaktive Substanz existieren muss, die die Oberflächenspannung der Alveolen reduziert. Erst 40 Jahre später gelang dem amerikanischen Wissenschaftler *John Clements* der Nachweis dieser Substanz, die als „**Surfactant** (surface active agent)“ bezeichnet wird. Sie besteht aus einem komplexen Gemisch von seifenähnlichen Substanzen (80-90% Lipide, 5-10% Proteine).

(Auch im Haushalt werden Surfactants verwendet: Spülmittel nimmt dem Wasser seine Oberflächenspannung und macht es damit geeignet, auch fettiges Geschirr zu reinigen.)

Das Surfactant bewirkt, dass die Oberflächenspannung in der Alveole reduziert wird. Die Oberflächenspannung des die Alveolen bedeckenden Flüssigkeitsfilms ist gegenüber einem wässrigen Flüssigkeitsfilm ohne Surfactants ca. 10 mal geringer.

Surfactant → $\sigma \downarrow$

Das Surfactant bewirkt, dass die Oberflächenspannung in der Alveole mit zunehmender Dehnung bzw. Inspiration anfangs kaum, dann deutlich abnimmt. Dadurch wird die Atemarbeit deutlich reduziert.

Je kleiner die Fläche, desto größer die Spannung. Diese Eigenschaft stabilisiert die Alveolen unterschiedlicher Größe. Das Zusammenfallen (Kollabieren) der Alveolen wird verhindert.

$r \uparrow \sigma \downarrow$ und $r \downarrow \sigma \uparrow$

r = Radius

Surfactant stabilisiert die Alveolen durch Verminderung ihrer Oberflächenspannung und reduziert so die Atemarbeit.

Ist die Bildung von Surfactant innerhalb der Lunge gestört, können ganze Lungengebiete kollabieren.

Reiner Sauerstoff kann den Surfactant nach gewisser Einwirkdauer zerstören.

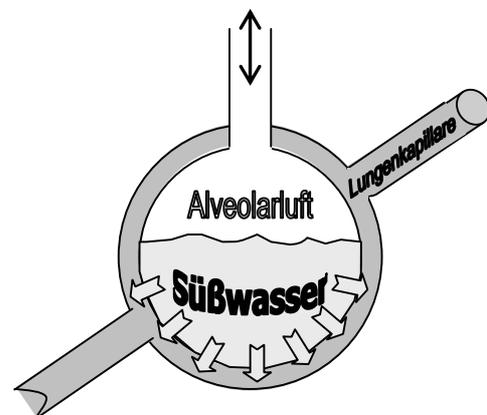
2.1.5 Ertrinken und Beinahe-Ertrinken

Wir unterscheiden zwischen „Beinahe-Ertrinken“ und „Ertrinken“. Unter „Ertrinken“ versteht man den Tod durch Ersticken aufgrund von Sauerstoffmangel nach Eintauchen in Flüssigkeiten. Als „Beinahe-Ertrinken“ bezeichnet man einen Ertrinkungsunfall, der zumindest einige Zeit (≥ 24 Stunden) überlebt wird. Bei der Ausübung des Sporttauchens stellt der Ertrinkungsunfall die häufigste Todesursache dar. Auch im normalen Alltagsleben steht das Ertrinken bei Unfällen mit Todesfolge in der Rangliste weit vorne. Im Sommer 2001 starben in Deutschland (nach Angaben der DLRG) 520 Menschen durch Ertrinken (1999 waren es 597 Menschen). Dies waren 10% der Unfälle mit tödlichem Ausgang (Verkehrsunfällen brachten es auf 60%).

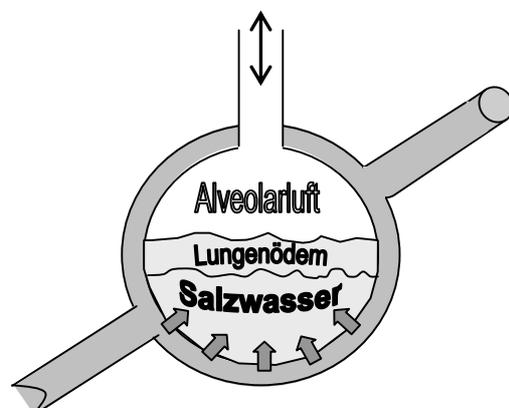
Ein untrainierter Mensch kann die Luft etwa zwei Minuten unter Wasser anhalten. Danach gerät er in Panik und verschluckt ein wenig Wasser. Folge ist ein reflektorischer Atemwegskampf („Stimmritzenkrampf“), der dann das weitere Eindringen von Wasser in die Lunge verhindert. Da die Lunge nun nicht mehr belüftet wird, kommt es zu einem Sauerstoffmangel im Blut und im gesamten Organismus. Dieser Mangelzustand führt zur Bewusstlosigkeit des Verunfallten. In etwa 85-90 % aller Fälle löst sich der Stimmritzenkrampf bei Bewusstlosigkeit und Wasser oder Erbrochenes wird eingeatmet (*nasses Ertrinken*). Die Vermischung von Luft und Wasser führt zu einer ausgeprägten Schaumbildung in den Lungen. In den restlichen 10-15 % der Fälle bleibt der Krampf bestehen und es kommt zum *trockenen Ertrinken*.

In der Lunge führt die eingedrungene Flüssigkeit zur Schädigung der Alveolen. Dabei wird traditionell nach der Art der eingedrungenen Flüssigkeit unterschieden:

- Süßwasser führt zur Auswaschung des Surfactant. Die Folge ist eine Instabilität und letztendlich ein Kollabieren (Zusammenfallen) der Lungenbläschen. Die Dehnbarkeit der Lunge („Compliance“) nimmt ab und der lebenswichtige Gasaustausch ist eingeschränkt. Außerdem kommt es aufgrund des Diffusionsgradienten zum Übertritt von Wasser in den Blutkreislauf. Das Blut wird also dünner. Auch in die roten Blutkörperchen (Erythrozyten) dringt Wasser ein und es kommt dadurch zu einem Zerfall derselben (= Hämolyse). Freigesetztes Kalium kann zum Herzstillstand führen.



- Salzwasser führt aufgrund des Diffusionsgradienten zum Einstrom von Plasmaflüssigkeit aus den Lungenkapillaren in die Lungenbläschen. Es kommt zur Ausbildung eines Lungenödems und damit zur Unterbindung des Gasaustausches. Das Blut "dickt ein".



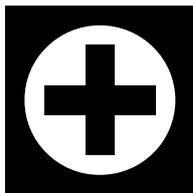
Unabhängig von der Art des eingedrungenen Wassers kommt es zum Sauerstoffmangel (Hypoxie) und dadurch zum Lungenversagen. Zusätzliche Lungenschädigungen können durch bestimmte Bestandteile des Wassers (Bakterien, Gifte) auftreten. Die Hypoxie führt nach kurzer Zeit auch zum Versagen anderer Organe (z. B. Herz, Zentralnervensystem).

Für die Maßnahmen der Ersten Hilfe ist es ohne Bedeutung, ob das Beinahe-Ertrinken im Süßwasser oder im Salzwasser erfolgte. Auch klinisch wird meist nur die Hypoxie beobachtet, nennenswerte Elektrolytverschiebungen oder gar Zeichen einer massiven Hämolyse finden sich fast nie. *Die Unterscheidung in Süßwasser- und Salzwasser-Beinahe-Ertrinken erfolgt hier nur, da es derzeit noch relevanter Prüfungsstoff für Forschungs- und Sporttaucher ist.*

Beim Beinahe-Ertrinken bestimmen hauptsächlich zwei Faktoren die Überlebenschance des Verunfallten:

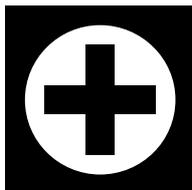
- Wie stark ist die Lunge durch das eingedrungene Wasser geschädigt?
- Wie stark ist das Zentralnervensystem (ZNS) durch den Sauerstoffmangel geschädigt?

Sofortmaßnahmen (nach der schnellstmöglichen Rettung):



Patient bei Bewusstsein

- **Sauerstoff-Gabe (100%)**
- Ausatmung mit 'Lippenbremse' oder besser: Ausatmung gegen CPAP-Ventil (*Continuous Positive Airway Pressure, kontinuierlicher positiver Atemwegdruck*)
- Ständige Überwachung der Vitalfunktionen
- Vor weiterer Auskühlung schützen (*metallbeschichtete Rettungsdecke*).
- In jedem Fall Transport ins Krankenhaus!



Patient ohne Bewusstsein

- **Sauerstoff-Gabe (100%)**
- Bei Atemstillstand: **Beatmung mit 100% Sauerstoff** und mit PEEP ('*positive endexpiratory pressure*', positiver endexpiratorischer Druck)
- Bei Herzkreislaufstillstand: **HLW** (kardiopulmonale Reanimation)
- Lagerung flach
- Vor Unterkühlung schützen (*metallbeschichtete Rettungsdecke*).
- **Notarzt** rufen; ggf. Transport mit Rettungshubschrauber.

Achtung:

Keine Versuche zur Entfernung des Wassers aus der Lunge unternehmen!

Behandlung:

Mindestens 24 Stunden intensivmedizinische Überwachung.

(11% der zunächst Überlebenden versterben noch nach 24 Stunden!)

Röntgen-Thoraxaufnahme und regelmäßige Blutgasanalysen zur Diagnosestellung

Therapie (Infusion, Medikamente, Beatmung, etc.)

2.1.6 Sparatmung

Der Taucher atmet sehr tief, behält die eingeatmete Luft dann für 20-40 Sekunden in der Lunge, bevor er sie wieder ausatmet. Anschließend atmet er sofort wieder ein. Das Atemmuster setzt sich zusammen aus: Einatmung - Pause - Ausatmung. Diese Verfahrensweise wird als "Sparatmung" bezeichnet. Der Taucher beabsichtigt damit seinen Luftverbrauch zu senken. Tatsächlich aber ist eine solche Atemtechnik falsch und für die Gesundheit gefährlich.

Im eingeatmeten Zustand ist die Zwischenrippenmuskulatur angespannt, sie leistet also Arbeit. Nach einiger Zeit beginnt sich die Muskulatur unmerklich und langsam zu entspannen. Damit wird der Brustkorb kleiner und der Luftdruck in der Lunge steigt an. Diese Druckerhöhung reduziert die Gefäßdurchmesser und damit die Durchblutung. Das Herz reagiert daraufhin mit einer höheren Schlagzahl (Frequenzerhöhung) und einer Steigerung des Blutdrucks.

Folge: erhöhter Sauerstoffverbrauch → erhöhte CO₂-Produktion
→ Gefäßweitstellung → Anschwellen des Gehirns → häufig roter Kopf
→ Kopfschmerzen bis Übelkeit

Das richtige Atemmuster ist Einatmung - Ausatmung - Pause. Durch einfache willkürliche Beeinflussung der Atmung ist dies aber nicht zu erreichen. Es gehört dazu eine grundsätzliche Umstellung der Atemgewohnheiten. Bei Belastungen, wie Heben eines schweren Gegenstandes, Aufrichten aus der Kniebeuge, etc., ist grundsätzlich auszuatmen!

2.2. Herz und Kreislauf

Blut besteht und	zu 45% aus Blutzellen (rote und weiße Blutkörperchen, Blutplättchen) zu 55% aus Blutplasma (enthält zu 90% Wasser).
Blutmenge:	8% des Körpergewichtes (Beispiel: 750 N schwerer Mensch \approx 6 l Blut) (Gesamtblut enthält ca. 50% Wasser.)

Plötzlicher Blutverlust: 10% gut verträglich, 30% gefährlich und 50% tödlich.

Die **Erythrozyten** (rote Blutzellen) ermöglichen den überwiegenden Teil des Sauerstofftransportes im Blut. Sie enthalten Kaliumsalze und Hämoglobin. (*Häm - aktiver, Eisen enthaltender Anteil, Globin - ein Eiweiß*). Das Hämoglobin kann den Sauerstoff binden (Oxyhämoglobin, O₂ Hb) und ihn wieder abgeben (reduziertes Hämoglobin).

Das menschliche Blut enthält etwa ~ 25 Billionen (25.000.000.000.000) Erythrozyten. Ihre gesamte Oberfläche beträgt damit etwa 3000 m². 1 mm³ Blut enthält etwa 5 Mio. Erythrozyten. Jedes rote Blutkörperchen umfasst 300 Mio. Moleküle des Blutfarbstoffs Hämoglobin.

Kohlenmonoxid und Hämoglobin:

*Kohlenmonoxid (CO) hat eine ca. 250 mal größere Affinität zum Hämoglobin (Hb) als O₂; d.h. O₂ wird verdrängt. Dies ist der Grund für die **extreme Giftigkeit von CO!***

Ein Anteil von 0,3% CO in der Atemluft besetzt bereits 80% des Bluthämoglobins, es kann dann nicht mehr ausreichend O₂ transportiert werden, so dass es zur "inneren Erstickung" kommt.

Der **Blutkreislauf** versorgt die Körperzellen mit Sauerstoff, Nährstoffen und Hormonen. Er entsorgt die Zellen von CO₂ und Stoffwechselprodukten

Der **Blutkreislauf** besteht aus **zwei parallel geschaltete Kreislaufabschnitten**:

Im **Lungenkreislauf** (Kleiner Kreislauf) wird das sauerstoffarme Blut aus der rechten Herzkammer über die Lungearterie in die Lunge(n) gepumpt. Aufgrund der sehr vielen kleinen Kapillaren kommt es dort zu einem starken Druckabfall. Nach dem Stoffaustausch (insbesondere: O₂, CO₂) reicht der Restdruck aber noch aus, um das nun sauerstoffreiche Blut über die Lungenvene zum linken Vorhof des Herzens fließen zu lassen. Dann ist aber eine zweite kräftige Pumpe (= linke Herzkammer) notwendig, um den Körperkreislauf zu versorgen.

Im **Körperkreislauf** (Großer Kreislauf) wird das sauerstoffreiche Blut aus der linken Herzkammer in die große Körperschlagader (Aorta) gepumpt, von dort über die Schlagadern, Arterien, Arteriolen und die Kapillaren im gesamten Körper verteilt. Nach erfolgtem Austausch von Sauerstoff, Nährstoffen und Stoffwechselprodukten wird das sauerstoffarme Blut dann über die Venolen, Venen und Hohlvenen wieder gesammelt und zum Herzen in den rechten Vorhof geführt.

Definition der GefäÙe	Körperkreislauf	Lungenkreislauf
Arterien (vom Herzen <u>weg</u>)	O₂-reich	O₂-arm
Venen (zum Herzen <u>hin</u>)	O₂-arm	O₂-reich

Die **Arterien verteilen** das Blut an alle Gewebe und Organe des Körpers. Die **Venen sammeln** das Blut dort wieder auf und transportieren es zum Herzen.

Eigenschaften des Arteriensystems

- relativ hoher Druck (direkt der Pumpwirkung des Herzens ausgesetzt)
- Wenn Blut aus der linken Herzkammer ausgetrieben wird entsteht eine Druckwelle, sie ist über einer oberflächlichen Arterie tastbar.
- dicke und muskulöse Wände
- beinhalten ~15 % der Blutmenge

Eigenschaften der Venen

- Relativ niedriger Druck
- Dünnwandig
- Sehr dehnbar
- Speichern ca. 85 % des Blutes
- Sehr gleichmäßig Blutrückfluss zum Herz

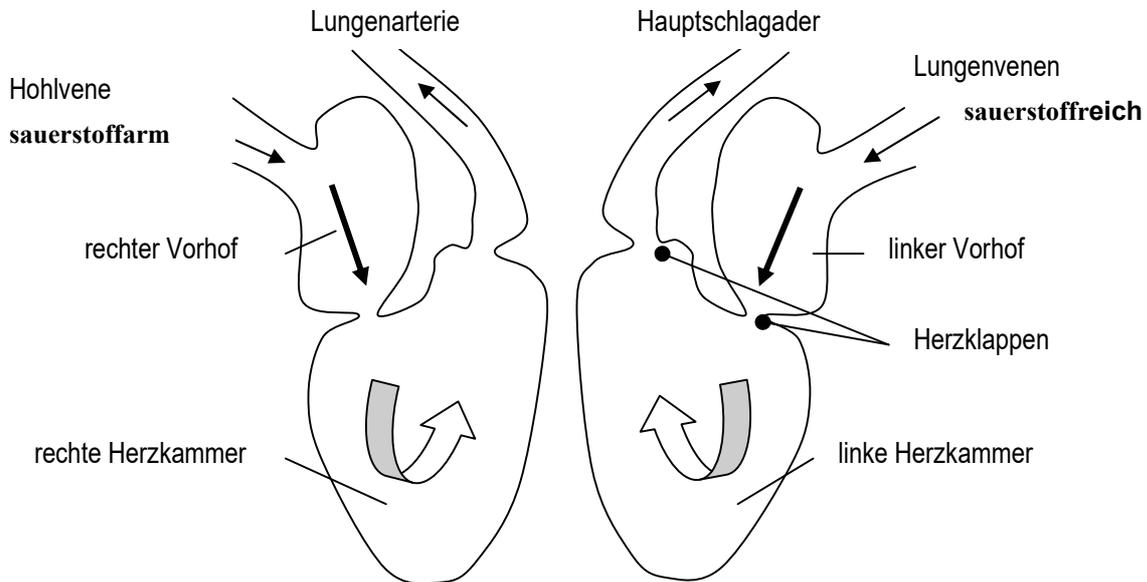
Begriff „Embolie“

Verstopfen eines Gefäßes durch ein mit dem Blutstrom verschleppten Fremdkörper („Embolus“) (z. B. Blutgerinnsel, Fetttropfen, Luftblase, Gasblase)

Das etwa faustgroÙe **Herz** (*bzw. die beiden Herzkammern*) pumpt das Blut durch den Kreislauf. Es arbeitet in Ruhe mit 60 bis 80 Schlägen/min und bei Belastung mit bis zu 180 Schlägen/min. Pro Herzschlag werden 70 (-100) ml Blut ausgeworfen, d.h. der Volumentransport pro Minute beträgt 5 (7 - 30) Liter (Herzminutenvolumen). (*Dies bedeutet: pro Stunde: 300 Liter, pro Tag: 7200 Liter, pro Jahr: 2,6 Millionen Liter und pro 75 Jahre: 2 Milliarden Liter.*) Das gesamte Blut strömt in ca. einer Minute einmal durch rechtes Herz, Lunge, linkes Herz und den Körper!

Das Herz hat **vier Höhlen**:

- **2 Vorhöfe** (Atrien)
- **2 Herzkammern** (Ventrikel)



Herzschlag: **ca. alle 0,8 sec** (bei einem Puls von 75 / Minute).

1. Kontraktion der Vorhöfe

bei gleichzeitiger Erschlaffung der Kammern (ca. 0,1 sec)
→ Blut wird aus den Vorhöfen in die Kammern gepumpt

2. Kontraktion der Kammern

bei gleichzeitiger Erschlaffung der Vorhöfe (ca. 0,3 sec)
→ Blut wird in den Kreislauf gepumpt.

3. Pause von ca. 0,4 sec.

Begriffe:

- **Systole** = Kontraktion der Herzwand
- **Diastole** = Erschlaffung der Herzwand

2.2.1 Blutdruck und Blutdruckmessung

Systolischer Blutdruck: Arterieller Druck während der Kammersystole.
(Herzmuskel zieht sich zusammen)
(Normaler Wert: ca. 120 mm Hg + 5 mm Hg pro Lebensjahrzehnt;
ein Wert > 150 mm Hg ist grundsätzlich zu hoch, unabhängig vom
Alter)
Der systolische Druck ist ein Maß für die Herzleistung.

Diastolischer Blutdruck: Arterieller Druck bei Diastole der Herzkammer.
(Blut strömt in die Herzkammer (bei 20-Jährigen ca. 80 mm Hg;
Werte > 100 mm Hg = stets krankhaft)
Der diastolische Druck ist ein Maß für die Elastizität der Arterien-
wände.

Blutdruck: *Normalwerte: RR 120/80 in mm HG (RR:= Riva-Rocci)*

Blutdruck: Messung und Interpretation

Blutdruckmessung:

- Luft aus der RR-Manschette vollständig rauslassen
- Manschette fest am rechten Oberarm anlegen
- Oliven des Stethoskops in die Gehörgänge stecken
- Manschettenventil schließen
- Stethoskopmembran auf die Innenseite der Ellenbeuge legen
und festhalten,
mit der anderen Hand die Manschette bis 180 mm Hg aufpumpen
- Ablassventil leicht öffnen
- Druck langsam ablassen, auf die Pulsschläge horchen.



Der oberste Wert (systolischer Wert) ist der Wert, den ich auf dem Manometer ablese, wenn ich den Puls zum 1. Mal höre.

Der untere Wert (diastolischer Wert) ist die Zahl, die ich ablese, wenn ich den letzten Pulsschlag höre.

Der systolische Wert ist der maximale Druck, den das Herz gegenwärtig aufbaut, die Diastole ist der Druck, den das Herz in seiner Erschlaffungsphase aufrecht erhält (abhängig vom Zustand der Blutgefäße).

Die Normalwerte liegen bei 120/80 mm Quecksilbersäule (geschrieben: RR 120/80).

RR = Riva-Rocci, ein Mediziner, der die Blutdruckmessung mit Gummimanschetten einführte).
Viele Menschen leben aber auch mit einem systolischen Wert von 100 mm Hg.

2.2.2 Schock und Schockindex

Schock:	Definition:	Akute Störung des Blutflusses mit verminderter Kapillardurchblutung, Sauerstoffmangel im Gewebe und dadurch entstehende schwere Organveränderungen.
	Ursache:	Volumenverminderung (Blutung, Erbrechen, Durchfälle,...) Gefäßveränderung (Hormone, Bakterien, Gifte, ..) Verminderung der Herzleistung (Infarkt, Entzündung)
Therapie:	Schockursache bekämpfen, Schocklagerung (flache Rückenlagerung, Beine ca. 45° hoch lagern), Ruhigstellung, vor Unterkühlung schützen, psychische Betreuung, Flüssigkeitszufuhr (wenn möglich: Infusion), Sauerstoffgabe, Kreislaufmittel, rascher Transport ins Krankenhaus.	

Je früher eine gezielte Therapie einsetzt, desto besser ist die Prognose.

Schockindex:

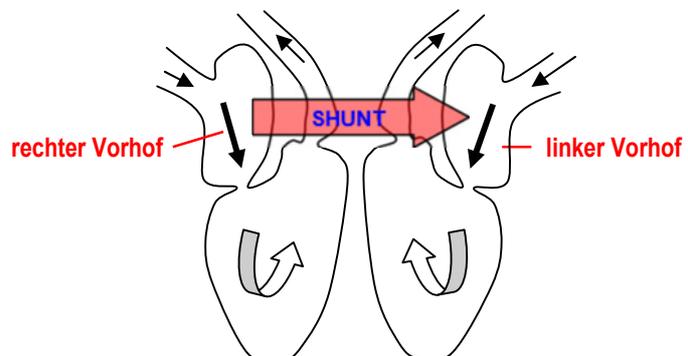
Quotient aus Herzfrequenz und systolischem Blutdruck.
(Maß zur Bestimmung der Minderung des Blutvolumens im Schock.)

S = 0,5	Normal	[Herzfrequenz: 70 / systol. Blutdruck: 140]
S = 1,0	Hinweis auf ein beginnendes Kreislaufversagen:	
S = 1 - 1,5	Schocksituation	→ sofort entsprechend handeln!!
S = 1,5	Voll entwickelter Schock	

Je größer der Index, desto schwerer der Schock!

2.2.3 Foramen ovale

Beim Fetus (Kind im Mutterleib) existiert eine Verbindung zwischen den beiden Vorhöfen, das "ovale Loch (**Foramen ovale**)". Damit wird das Blut zum größten Teil an der Lunge vorbeigeleitet, man spricht von einem „**Shunt**“ (**Kurzschlussverbindung**, engl. Nebenschluss, Weiche). Ein weiterer Shunt existiert vor der Geburt zur Umgehung der Leber. (Beim Fetus sind die Lunge und die Leber relativ funktionslos.)

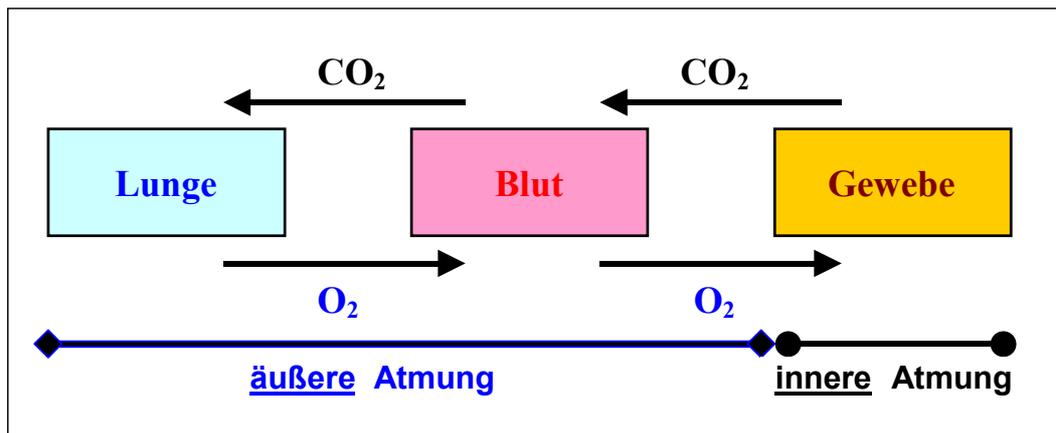


Das Foramen ovale schließt sich normalerweise nach der Geburt. Falls dies nicht oder nicht vollständig geschieht, besteht ein Kurzschluss zwischen dem venösen und arteriellen Kreislauf und es kann bei Tauchgängen zu einer arteriellen Gasembolie (AGE) kommen.

2.2.4 Atemfunktion des Blutes

Unter der Atemfunktion des Blutes (*Hämodynamik*) versteht man den Transport von Sauerstoff (O_2) zur Zelle und den Abtransport von dort gebildetem Kohlendioxid (CO_2).

Die Atmung wird in zwei Phasen aufgeteilt (nach: *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, 1990*): die "**äußere**" Atmung und die "**innere**" Atmung.



1. Äußere Atmung (*Lungenatmung, Respiration*)
 - a. Ventilation: Lufttransport in die Lunge durch aktive Atemtätigkeit, *Steuerung durch Atemzentrum*
 - b. Perfusion: der Ventilation angepasste Durchblutung der Lungenkapillaren
 - c. Diffusion (durch die aveolokapillare Membran): O_2 -Übertritt in das Blut bei gleichzeitiger Abgabe des CO_2 (Partialdruckdifferenzen zwischen der Alveole und dem Blut)
 - d. Konvektion: Gas-Transport im Blut bis zur Zelle (überwiegend chemisch am Hämoglobin gebunden, nur etwa 1% physikalisch gelöst; beim Tauchen ist eine Erhöhung des Anteils des physikalisch gelösten O_2 mit der Tiefe möglich)

2. Innere Atmung (*Zellatmung*)
 - a. Übertritt in die Zelle (durch Diffusion, wie 1c.)
 - b. Verwertung in der Zelle (Stoffwechsel)

Hinweis: Einige Autoren (z. B. *Stibbe, 1997*) definieren den Punkt **1d.** als eigenständige Phase.

2.2.5 Transport von Sauerstoff und Kohlendioxid im Blut

(Hintergrundwissen)

Normobar (*ohne Überdruck*) sind im Blutplasma nur etwa 6 % des CO₂ und etwa 1 % des O₂ physikalisch gelöst. Diese Prozentwerte sind nicht ausreichend für die Ver- und Entsorgung der Zellen und deshalb muss der **Haupttransport in chemisch gebundener Form** erfolgen! Bei höheren Partialdrücken werden dagegen größere Mengen physikalisch gelöst.

Der O₂-Transport erfolgt zu etwa 99 % durch chemische Bindung an das Hämoglobin in den Erythrozyten. Das Blut transportiert den Sauerstoff dann zu allen Zellen, wo er zur Oxidation gebraucht wird. Beim Stoffwechsel in der Zelle entstehen CO₂ und H₂O.

Der CO₂-Anfall im Gewebe ist abhängig von der Arbeitsleistung:

- in Ruhe 250-300 ml CO₂/min.
- bei normalen Tauchgängen 600 – 1000 ml CO₂/min.
- bei schwerster Arbeit bis > 6000 ml CO₂/min.

Das CO₂ diffundiert (*aufgrund seines höheren Partialdrucks*) aus den Gewebezellen in die umgebenden Blutkapillaren, also ins Blutplasma, und wird dort physikalisch gelöst. Normobar erfolgt der Transport erfolgt zu 88 % als HCO₃⁻ (Bikarbonat) in Plasma und Erythrocyten, zu 6 % als Carbamino-HB (*am Hämoglobin gebundenes CO₂*) und zu etwa 6 % physikalisch gelöst. (*Andere Autoren geben hier als Zahlenwerte an: 80 %, 10 %, 10%.*) Das CO₂ wird mit dem Blutstrom in Richtung Lunge abtransportiert.

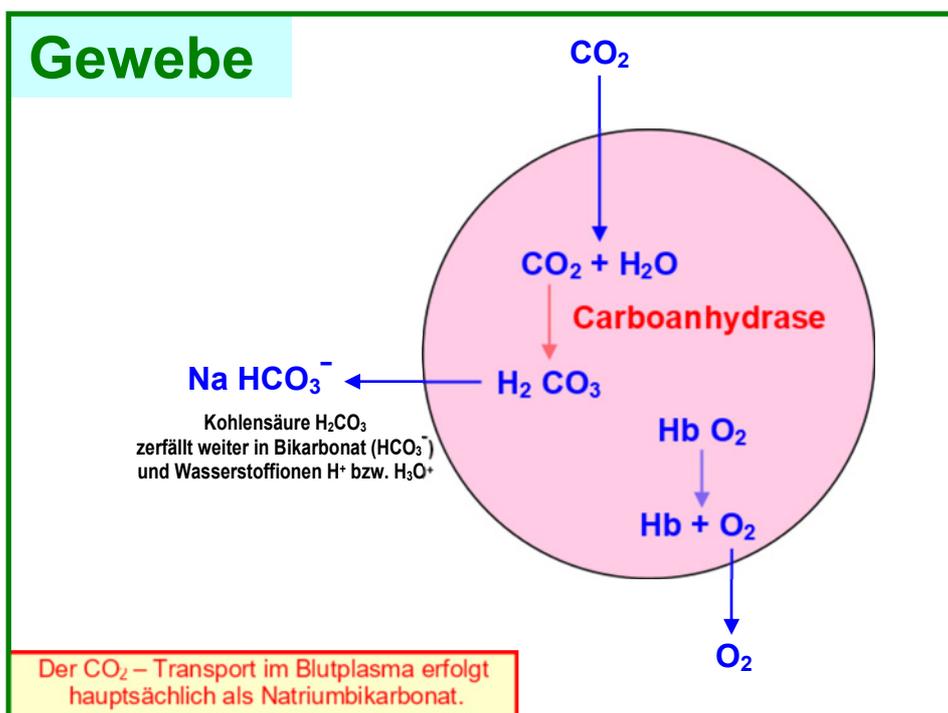
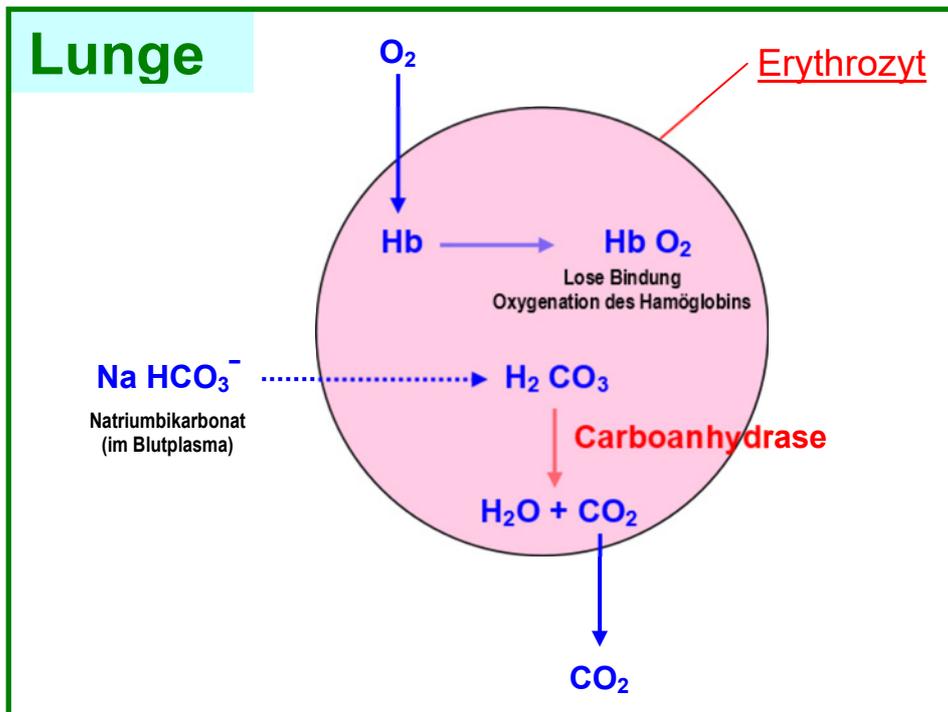
Für den Transport in chemisch gelöster Form sind die Vorgänge in den Erythrozyten und dabei insbesondere die Wirkung des Enzyms „**Carboanhydrase**“ von Bedeutung. Enzyme sind von lebenden Zellen erzeugte besondere Eiweißstoffe, die an sich langsam verlaufende chemische Reaktionen beschleunigen und lenken. Sie wirken praktisch als „**Katalysator**“.

Das Enzym Carboanhydrase beschleunigt die folgende Reaktion in beide Richtungen (je nach pCO₂):

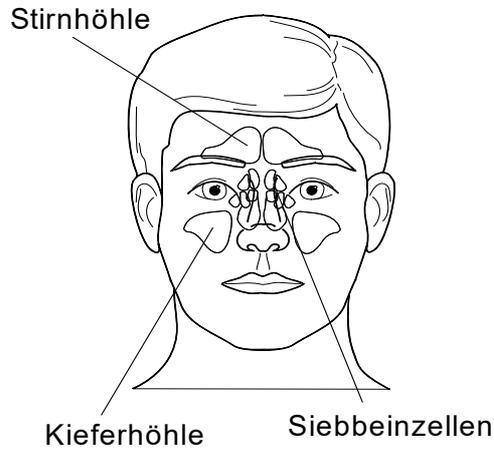


Im Bereich der Lunge wird dadurch die Aufnahme von O₂ und die Abgabe von CO₂, im Bereich des Gewebes die Aufnahme des CO₂ und die Abgabe des O₂ bewerkstelligt.

Die folgende Abbildung stellt die oben beschreibenden Vorgänge graphisch dar:



2.3. Gasgefüllte Körperhöhlräume



Luftgefüllte Hohlräume im Schädel		
Nasennebenhöhlen (NNH)	Stirnhöhle	Paarig angeordnete, luftgefüllte, mit Schleimhaut ausgekleidete Räume, die mit der Nasentrachee in Verbindung stehen.
	Keilbeinhöhle	
	Kieferhöhle	
	Siebbeinzellen	
Mittelohr	Paukenhöhle	
	Warzenfortsatzzellen (<i>Mastoidzellen</i>)	

Weitere gasgefüllte Körperhöhlräume
Lunge
Magenblase Dickdarm Dünndarm

2.4 Ohr

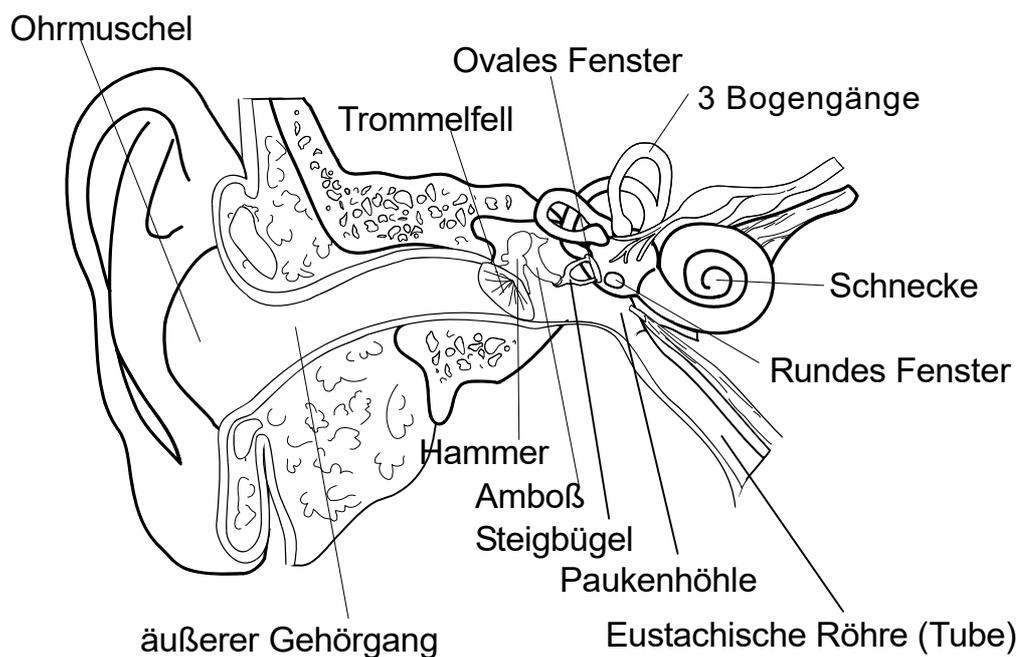
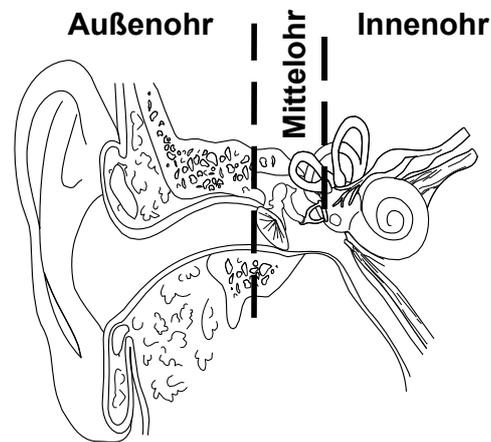
Das Ohr gliedert sich in Außenohr, Mittelohr und Innenohr:

Außenohr: Ohrmuschel, Gehörgang

Grenze zwischen Außenohr und Mittelohr:
Trommelfell

Mittelohr (Paukenhöhle):
Gehörknöchelchen (Hammer,
Amboß, Steigbügel)

Innenohr: Schnecke, Bogenapparat,
Hörnerv



Die knöcherne Wand des Innenohres wird durch das runde Fenster und durch das ovale Fenster unterbrochen. Die Gehörknöchelchen übertragen Schwingungen (Druckwellen) vom Trommelfell (Außenohr) auf die Flüssigkeit (Endolymphe) hinter dem ovalen Fenster.

*Bartolomeo Eustacchi(o), ital. Anatom, * 1524 (?), †1574*

Die **Eustachische Röhre** ((*Ohr-*)Tube, Ohrtrumpete, *Tuba auditiva*, *Tuba eustachii*) verbindet das Mittelohr mit den oberen Rachenraum. Schleimhautwandungen dieses Kanals halten die Tube verschlossen; beim Schlucken erfolgt Öffnung durch kleine Muskeln (= Druckausgleich).

Die Aufgaben der Eustachischen Röhre sind:

- Verhinderung der Schalleitung ins Ohr beim Kauen (Kaugeräusche)
- Verhinderung des Eindringens von Infektionen in das Mittelohr
- Transportweg für Schleimabsonderungen (dafür 1-2 Öffnungen pro Minute)
- passiver und aktiver (z. B. *beim Tauchen*) Druckausgleich

2.4.1 Äußerer Gehörgang: Entzündung / Vorbeugung

Der äußere Gehörgang erstreckt sich über eine Länge von etwa 2,5 cm vom äußeren Ohr bis zum Trommelfell. Durch Ohrenschmalz (*Zerumen*, *Cerumen*) werden seine Wände vor Staub, Schmutz und verunreinigtem Wasser wirkungsvoll geschützt.

Ohrenschmalz

- gelblich-bräunliche, fettige Absonderung der Ohrenschmalzdrüsen
- pH-Wert: leicht sauer
- wirkt bakterizid (*bakterienabweisend*, *-tötend*)
- wirkt fungizid
- wasserabstoßend

Wird das Ohrenschmalz mit Gerätschaften wie beispielsweise Wattestäbchen (z. B. "*Q-Tips*") entfernt, besteht die Gefahr die Gehörgangshaut zu verletzen und damit eine Besiedlung mit Keimen (pathogene Mikroorganismen) zu erleichtern. Von der Verwendung von Wattestäbchen wird deshalb dringend abgeraten!

Beim Eintauchen ins Wasser (*Tauchen*, *Baden*) wird der äußere Gehörgang zwangsläufig mit Wasser geflutet. Dieses meist unsaubere oder chlorhaltige Wasser verbleibt teilweise im Gehörgang und weicht ihn auf. Salzwasser (*auch Chlorwasser*) führt beim Trocknen zur Auskristallisation von Salz und damit nachfolgend zu einer Austrocknung der Gehörgangshaut. Im Ergebnis kommt es zur Auswaschung des schützenden Ohrenschmalzes. Die Gehörgangshaut wird nun rissig und spröde und damit ein idealer Nährboden für Keime. Folge ist eine schmerzhafte Entzündung (Schwellung) der Gehörgangshaut. In schweren Fällen kommt es zu Eiterbildung, Fieber und/oder Verschluss des Gehörganges.

Mögliche Symptome einer Gehörgangsentzündung:

- Juckreiz
- Heftiger stechender Schmerz
- Heftiger, fortdauernder und z. T. pochender Schmerz
- Halbseiten-Kopfschmerz
- Schmerz bei Druck auf die knorpelige Erhebung am äußeren Ohr (*Tragus*)
- Schmerz beim Ziehen am Ohrläppchen
- Hörminderung
- Starke Schmerzen beim Sprechen und beim Kauen.

Vorbeugung:

- Zugluft vermeiden (Mütze tragen)!
- Nach jedem Tauchgang mit körperwarmen, sauberem Trinkwasser spülen und sorgfältig lufttrocknen (fönen); ggf. danach fetten.
- Vorbeugend empfiehlt sich eine Reduktion der Keime (*Streptokokken, Staphylokokken, Pseudomonas aeruginosa, u. a.*) durch Einträufeln von entsprechend wirksamen Ohrentropfen (alkoholische Essigsäurelösungen). Nach Absprache mit einem HNO- oder Taucherarzt bieten sich verschiedene, nicht verschreibungspflichtige Rezepturen an. Nach der Anwendung dieser Tropfen muss der fetthaltige Schutzfilm im Gehörgang wieder aufgebaut werden. Dazu verwendet man beispielsweise einen Tropfen Öl (Oliven- oder Mandelöl aus der Apotheke). Diese Mittel brauchen nicht tief in den Gehörgang eingebracht werden. Durch die körpereigene Erwärmung verteilt sich das Öl selbstständig im Gehörgang. Anwendung: einmal täglich am Abend.

Ein bewährtes Rezept ist nachfolgend wieder gegeben:

Rezept	<i>(Frau Dr. Branse-Passek (Apothekerin, Pharmazeutin in der Arzneimittelprüfung) und Dr. Muth, aus: tauchen 6/02)</i>	
<i>(Schreibweise für Apotheker)</i>		
Acid Acet glac mind 99		0,5
Aqua purif		2,5
Alcohol Isopropylicus	ad 50,0	
<i>(Alternative Schreibweise, identisches Rezept)</i>		
Eisessig		0,5
Gereinigtes Wasser		2,5
Isopropanol	ad 50,0	
<small>Veraltete Rezepte Da der Verkauf von Borsäure nicht mehr zulässig ist, sind Mittel mit diesem Bestandteil nicht mehr erhältlich.</small>		

Behandlung (Therapie):

Die Behandlung einer Gehörgangsentzündung (*Otitis externa diffusa*, ‚*Taucherohr*‘, ‚*Swimmers ear*‘) sollte durch einen HNO-Facharzt erfolgen. Nach Entnahme eines Abstrichs des Ohrsekrets aus dem äußeren Gehörgang und nachfolgender mikrobiologischer Untersuchung zur Identifizierung des Erregers, erfolgt die Behandlung mit antibiotischen, entzündungshemmenden, abschwellenden und schmerzstillenden Mitteln. Typische Medikamente sind „Panotile[®]“, „Ofloxin[®]“ und „Floxal[®]“-Augentropfen (auch diese zum Einträufeln ins Ohr). Für die Behandlungsdauer besteht ein absolutes Tauch- und Badeverbot!



Bei Reisen (Taucheinsätzen) in Gebiete mit unzureichender medizinischer Versorgung gehört ein entsprechendes Mittel in die **Reiseapotheke!** Die genannten Medikamente sind verschreibungspflichtig!

Hinweis:

Auch bei vollständig verschlossenem Gehörgang ist ein Hören möglich. Die Schallwellen werden durch die umgebenden Knochen geleitet (Knochenleitung). Beim Tauchen wird dieser Effekt bei der Verwendung von "Körperschallmikrofonen" genutzt.

2.4.2 Druckausgleichstechniken

Beim Auftauchen (Abnahme des Umgebungsdruckes) öffnet sich die Tube aufgrund ihrer Bauart automatisch bei einer Druckdifferenz von etwa 10 - 15 mbar. Ein willkürlicher Druckausgleich ist nicht notwendig, die Tube wirkt wie ein Überdruckventil.

Beim Abtauchen nimmt der Umgebungsdruck (Tauchtiefendruck) zu. Damit es zu keinen schädlichen Druckdifferenzen zwischen der Umgebung und der Paukenhöhle kommt muss rechtzeitig der sogenannter „Druckausgleich“ über die Eustachischen Röhre (Tube) erfolgen. Beträgt die Druckdifferenz beim Abtauchen von der Oberfläche aus mehr als etwa 100 mbar wird die Tube blockiert („*Tubenblock*“) und ein willkürlicher Ausgleich ist unmöglich. *Bei etwa 50% aller Menschen findet sich eine erschwerte Tubendurchlässigkeit.* Bereits bei leichten Erkältungen können die Schleimhäute im Nasen-Rachen-Raum soweit angeschwollen sein, dass ein einwandfreier Druckausgleich nicht mehr möglich ist.

Techniken des Druckausgleiches

Druckausgleich durch Schlucken:

Bewusste Schluck-, Kau- oder Gähnbewegungen, dabei: Unterkiefer vorschieben, Mund auf, Kopf in den Nacken.

Vorteil: Schonendster Druckausgleich!

Die Tuben werden durch die Anspannung der Gaumenmuskulatur weitgestellt, es findet keine Druckerhöhung statt, das Trommelfell bleibt unbelastet.

Nachteil: Bei großen Druckdifferenzen schwer durchführbar, unmöglich bei Personen mit einer erschwerten Tubendurchlässigkeit.

Druckausgleich nach Valsalva:

(Valsalva, 1704)

Mund und Nase werden verschlossen, der Druck wird mit der Lunge in den Nasen-Rachenraum gepresst, die Tuben(-lippen) werden aufgesprengt (Atemmuskulatur arbeitet mit).

Nachteil: Der Druckausgleich geschieht abrupt (Überdruck im Ohr ~53 mbar).

Gefahr: Der Druck in der Lunge wirkt auch auf Herz und Kreislauf, es kann zu Blutdruckabfällen kommen.

Druckausgleich nach Frenzel:

(Frenzel, Luftwaffenarzt, entwickelte Methode für Stuka-Pilot, 1938)

Mund und Nase werden verschlossen, der Kehlkopf ebenfalls, indem man die Muskulatur des Mundbodens nach hinten/oben drückt. Die Erhöhung des Druckes wird mit der Bewegung des Zungengrundes erreicht.

Vorteil: Keine Kreislaufprobleme, da die Druckerhöhung nur bis zum Nasenrachenraum reicht.

Nachteil: Es werden im Nasenrachenraum Drücke bis etwa 120 mbar erreicht, es findet eine Tubensprengung statt.

Gefahr: Barotrauma des Innenohres (Trommelfell macht abrupte Bewegung, die mit den Gehörknöchelchen auf das ovale Fenster übertragen wird → Druckwelle entsteht → das runde Fenster reißt.)

2.5 Ohnmacht (Blackout) beim Tauchen

2.5.1 Schwimmbad-Blackout

(Bitte nicht verwechseln mit Flachwasser-Blackout, diese betrifft nur Apnoe-Tieftaucher (s. a. 2.5.2))

Unter einem **Schwimmbad-Blackout** versteht man eine Bewusstlosigkeit unter Wasser, die durch **plötzlichen Sauerstoff-Mangel** während des Streckentauchens auftritt. Es gibt **keine Warnzeichen!**

Der Schwimmbad-Blackout tritt häufig auf, wenn vor dem Streckentauchen übermäßig (schnell und tief) ein- und ausgeatmet wird. Diese Atemtätigkeit wird als **Hyperventilieren** bezeichnet. Die *Hyperventilation wird von Tauchern häufig angewandt, um die Apnoezeit zu verlängern (bis zu 40%)*. Durch willkürliche Hyperventilation kann die **Sauerstoffsättigung im Blut nicht erhöht werden** (bzw. nur geringfügig), da das Blut im Allgemeinen bereits zu 95 - 98 % gesättigt ist.

Hyperventilation bewirkt ein verstärktes Abatmen von Kohlendioxid (CO₂). Dadurch kommt es zu einer **Absenkung der CO₂-Spannung im Blut [Hypokapnie]**, d.h. der **Atemreiz wird verringert**.

Der

Atemzwang setzt erst verspätet ein (verzögert)

d. h. beim Streckentauchen kommt das

"Austauschen!! - Signal ↑↑"
zu spät

und der dann bereits eingetretene

Sauerstoff-Mangel

führt meist kurz vor oder nach **Erreichen** der Wasseroberfläche zu einer

Bewusstlosigkeit

mit der

Gefahr des "Absackens" und Ertrinkens.



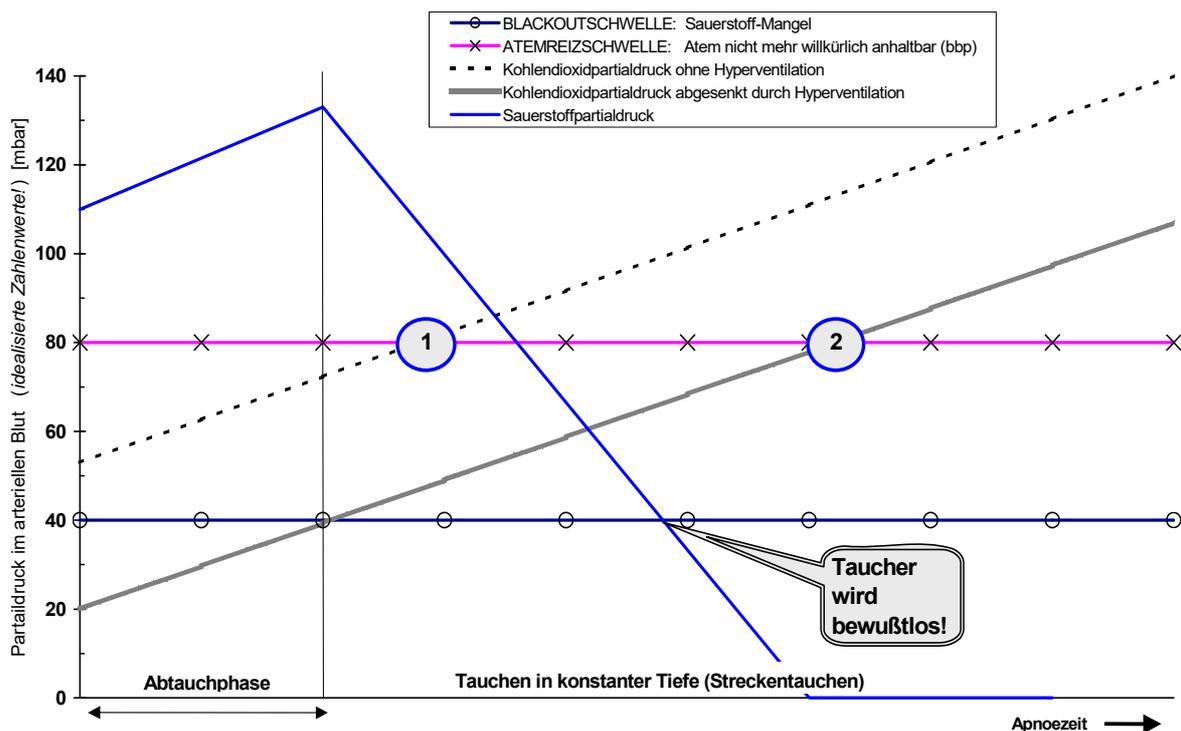
Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrücke im Blut während des Streckentauchens ohne und mit Hyperventilation:

Die durchgezogene Kurve ohne Marker zeigt den Verlauf des Sauerstoffpartialdruckes. Während des Abtauchens steigt der Sauerstoffpartialdruck aufgrund der Druckzunahme erst etwas an, ab Erreichen des Bodens nimmt er entsprechend des Verbrauchs (Stoffwechselfätigkeit) kontinuierlich ab.

Die in der Abbildung von links nach rechts ansteigenden Linien (gestrichelt bzw. grau-breit) zeigen die zeitliche Zunahme des Kohlendioxidpartialdruckes mit bzw. ohne Hyperventilation.

Beim Tauchen ohne Hyperventilation (gestrichelte Linie) wird die CO₂-Atemreizschwelle ❶ („breathhold breaking point“ (bbp)) [CO₂-Partialdruck etwa 80 mbar, horizontale Linie mit „x“-Symbolen] erreicht, bevor ein kritischer Sauerstoffwert erreicht ist.

Beim Tauchen mit Hyperventilation wird die Blackout-Schwelle (Sauerstoffmangel) [O₂-Partialdruck etwa 40 mbar, horizontale Linie mit „o“-Symbolen] unterschritten, bevor ein deutlicher CO₂-Atemreiz ❷ einsetzt.



Bei entsprechendem Training ist ein Streckentauchen bis 50 m (unter Aufsicht) auch ohne Hyperventilation möglich. Durch Atmen von sauerstoffangereicherter Luft können die Apnoezeiten gesteigert werden.

Streckentauchen nach Hyperventilation ist lebensgefährlich!

Streckentauchen immer unter Aufsicht durchführen!

2.5.2 Geräte-Blackout

Während beim Streckentauchen die Hyperventilation vorsätzlich und bewusst erfolgt, ist ein solches Verhalten beim Gerätetauchen widersinnig, da normalerweise genug Atemgas zur Verfügung steht. In bestimmten Situationen kann es aber zu einer unwillkürlichen (unbewussten) Hyperventilation kommen.

Bei Kälte, großer Tiefe, Hektik, Aufregung oder Angstzuständen kommt es beim Gerätetaucher zu einer Steigerung des Atemminutenvolumens (AMV) und damit möglicherweise zu einer unbewussten Hyperventilation. Dadurch wird verstärkt Kohlendioxid abgeatmet, der Kohlendioxidspiegel im Blut sinkt ab und der pH-Wert verschiebt sich in den alkalischen Bereich. Folge ist eine reflektorische Engstellung der Arterien und nach einer gewissen Einwirkzeit ist die Hirndurchblutung deutlich reduziert. Der abgesenkte Kohlendioxidspiegel verursacht zusätzlich eine starke Bindung des Sauerstoffs an das Hämoglobin, sodass auch dadurch die Sauerstoffversorgung des Gehirns weiter reduziert wird. Letztendlich kommt es zu einem Sauerstoffmangel (Hypoxie) der Gehirnzellen. Erste Anzeichen sind Übelkeit, Brechreiz und Kopfschmerzen. Im weiteren Verlauf kommt häufig zu einer angstbedingten Pressatmung und letztendlich zur Bewusstlosigkeit.

[Psychisch labile Menschen mit unerschwelliger Hyperventilationssymptomatik werden deshalb als nicht tauchtauglich eingestuft.]



Erste Maßnahmen:

Taucher mit übermäßiger Hyperventilation sollen versuchen ihre Atemfrequenz zu senken, ihren Taucherpartner zu informieren und soweit möglich gemeinsam an die Oberfläche aufsteigen. Dort sind dann Rettungsweste/Jacket aufzublasen. Der Betroffene darf nicht alleine versuchen zum Boot/an Land zu schwimmen, da die Gefahr der Bewusstlosigkeit besteht.

Beim schlauchversorgten Tauchen hat der Signalmann ständig auf die Atemgeräusche und Anzeichen von Hyperventilation zu achten. Bei Anzeichen von Hyperventilation muss der Taucher sofort seine Arbeit einstellen. Nach Rückkehr an die Oberfläche muss er versuchen seine Atemfrequenz zu senken oder die Atmung für kurze Perioden anzuhalten. Einen CO₂-Anstieg erzielt man auch, wenn man die betroffene Person in eine Einkaufstüte ein- und ausatmen lässt.

2.5.3 Aufstiegs-Blackout (Sauerstoffmangel beim Apnoetieftauchen)

(Frühere Bezeichnung: Flachwasser-Ohnmacht)

Beim freien Tauchen ohne Gerät auf Tiefe (Apnoetieftauchen) besteht die Gefahr eines Blackouts beim Austauchen.

Beim Abtauchen erhöht sich der Umgebungsdruck und damit auch die Partialdrücke im Atemgasgemisch in der Lunge. Anfänglich wird dadurch mehr Sauerstoff im Blut physikalisch gelöst. Ebenfalls möglich ist ein Anstieg des CO₂, dieser ist aber noch weit von der Atemreizschwelle entfernt.

Bereits beim Abtauchen und dann während des gesamten Tauchganges wird ständig O₂ in den Körperzellen verbraucht. Durch die höhere Löslichkeit in der Tiefe ist dort ein ausreichendes Angebot von Sauerstoff gegeben.

Beim Austauchen sinken die Partialdrücke und eine Abgabe von O₂ aus dem Blut in die Lunge ist möglich. Bei Unterschreitung des Schwellenwertes für O₂ im Blut kommt es zu einem **Sauerstoffmangel** (Anoxie), der ohne weitere Warnzeichen zur **Bewusstlosigkeit kurz vor** oder nach dem **Erreichen der Oberfläche** führen kann.

Wenn in der Tiefe bereits ein starker Atemreiz gespürt wird, ist dies als absolutes Warnzeichen für einen drohenden Sauerstoffmangel zu interpretieren.

Nie Freitauchversuche mit Rekordtiefen /-zeiten durchführen!

Schnorcheltaucher, die Gerätetaucher bergen,
sind aufgrund der erhöhten Arbeitsleistung besonders gefährdet.

Grundsatz: Schnorchel nie allein bzw. nie ohne Aufsicht!

2.6 Tauchreflex und Wasser-Nasen-Reflex

Der "Tauchreflex" bewirkt eine Verlangsamung der Herzstätigkeit (-frequenz) (*Bradycardie = Verlangsamung des Herzschlages*) und eine Drosselung des Blutdurchflusses in der Peripherie. Zum Tauchreflex kommt es beim Eintauchen des Gesichtes in Wasser (*Rezeptoren um Mund und Nase*). Die Stärke des Reflexes hängt stark von der Wassertemperatur und dem Schutz der Gesichtspartien durch Voll- oder Halbmasken ab. Er ist am stärksten beim Tauchen ohne Maske und bei kaltem Wasser. Auch durch Apnoetauchen (Atemanhalten) kommt es zu einer Bradycardie. Die Anpassung des Körpers über den Tauchreflex führt zur Sauerstoffersparnis beim Tauchen.

Der "Wasser-Nasen-Reflex" bewirkt ein Anhalten der Atmung, wenn Rezeptoren in der Nasenschleimhaut mit Wasser in Kontakt kommen. Deshalb sind einige Tauchanfänger beim Tauchen ohne Maske anfänglich nicht in der Lage aus dem Atemregler zu atmen.

2.7 Essoufflement (Kurzatmigkeit, außer Atem)

Durch eine zunächst unbemerkte, schnelle und flache Atmung ('hecheln') kann ein Gerätetaucher in einen Zustand geraten, in dem er sein Atemverhalten nicht mehr kontrollieren kann. Er kommt dadurch in akute Lebensgefahr.

Der zugrundeliegende Vorgang wird mit dem französischen Begriff "Essoufflement" (= Kurzatmigkeit, außer Atem) bezeichnet.

Ursache:

Mit zunehmender Tauchtiefe erhöhen sich die Dichte und Viskosität des Atemgases. Im Atemregler und in den Atemwegen wechselt die Strömungsart des Atemgases von einer laminaren zu einer turbulenten Strömung. Der Widerstand an den Wänden der Atemwege nimmt dadurch zu und das Atemminutenvolumen (AMV) sinkt. Die Atemebene verschiebt sich in den Bereich des inspiratorischen Reservevolumens. In der Lunge verbleibt vermehrt Atemgas mit erhöhtem CO₂-Anteil (= verbrauchte Luft) (Totraumvolumen ↑).

Zunächst bleibt dieser Vorgang unbemerkt, später nimmt der Taucher seine verstärkte Atmung wahr und fühlt eine zunehmende Atemnot. Es beginnt sich ein "Teufelskreislauf" zu etablieren. Der Taucher konzentriert sich in seiner Wahrnehmung immer stärker auf den Rhythmus seiner Atmung und weniger auf seine Umgebung. Er gerät in eine CO₂-Vergiftung. Oft vermutet der Taucher die Ursache seiner Atemnot in einem Defekt seiner Atemgasversorgung und wechselt deshalb auf den Zweitautomaten seines Tauchpartners bzw. führt mit diesem eine Wechselatmung durch. Da die Ursache damit nicht beseitigt wird, gerät der Taucher meist in Panik. Er versucht dann auf dem schnellsten Wege an die Wasseroberfläche zu kommen (unkontrollierter Notaufstieg) um dort seinen vermeintlichen "Lufthunger" zu stillen. Durch die Kohlendioxidvergiftung ist auch eine Bewusstlosigkeit unter Wasser möglich. Nach Aspiration von Wasser kommt es dann in der Regel zum Ertrinkungstod (‡).

Sofortmaßnahmen unter Wasser:

- Bei den ersten Anzeichen von Kurzatmigkeit auf eine **tiefe Ausatmung** konzentrieren, (dabei nicht absacken!) und die **körperlichen Anstrengungen sofort beenden** (d.h. Arbeit unterbrechen, nicht gegen die Strömung tauchen).
- Eine deutlich geringere Tauchtiefe aufsuchen.
- Dem Tauchpartner durch das UW-Zeichen "Essoufflement" auf die mögliche Gefahr hinweisen:

Gegenläufiges Wedeln der abgewinkelten Unterarme in Höhe des Rippenbogens.
- Durch Gestik dem Partner zum „tiefen Ausatmen“ bewegen. Ggf. den Partner tarieren und beruhigen.
- Panikaufstieg verhindern / abbremsen / kontrollieren.

Verstärkende Faktoren:

Sparatmung (*Begriffserläuterung im Kap. 2.1.6*) → die Atemmittellage verschiebt sich nach oben in Richtung inspiratorische Reservekapazität.

Erhöhte CO₂-Produktion durch:

- Arbeit
- Strömung
- mangelnde Kondition
- zu viel Blei, falsche Tarierung (zuwenig Auftrieb)
- Angst, Stress
- Kälte
- enger Tauchanzug, zu enge Begurtung
- selten: Defekte am Atemregler (zu hoher Atemwiderstand)

Vorbeugen:

- Bewusst **tief ausatmen** und ruhig weiteratmen.
- Insbesondere unter Belastung die eigene Atmung beobachten.
- Bei Verdacht auf einen Gerätedefekt auch das eigene Atmungsverhalten beobachten.
- Für gute Kondition sorgen (Trainieren!).

Maßnahmen an Land bzw. an Bord:

- Maßnahmen (Einleiten der Rettungskette) sind nur bei Folgeschäden (wie beispielsweise Barotrauma der Lunge, Beinahe-Ertrinken) notwendig.

Ergänzung:

Als Ursache für das Auftreten eines 'Essoufflement' wird von einigen Lehrbuchautoren eine Ermüdung der untrainierten Atemhilfsmuskulatur angegeben.

Dagegen spricht (nach Dr. J. Wenzel (DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln), 2003):

- *Das Essoufflement tritt innerhalb weniger Minuten auf und so schnell ermüdet keine Muskulatur.*
- *Nach tiefen Tauchgängen unter Belastung müsste ein Muskelkater der Atemhilfsmuskulatur auftreten, dies wurde bisher nicht beobachtet.*

2.8 Dehydratation

"Dehydratation" = Flüssigkeitsabnahme im menschlichen Körper aufgrund gesteigerter Wasserabgabe ohne entsprechenden Ausgleich

Bei gemäßigten Umgebungstemperaturen liegt der Flüssigkeitsverlust eines Menschen bei etwa 2,5 l pro Tag, davon etwa 1,5 l über den Harn, 0,5 l über die Haut und 0,4 l über die Lunge. Der Wasserverlust über die Haut kann unter tropischen Klimabedingungen auf 10 bis 12,5 l steigen.

Bei sportlicher Betätigung produzieren die Schweißdrüsen der Haut verstärkt flüssige Absonderungen um den Körper mit Hilfe der Verdunstung abzukühlen. Gleichzeitig kommt es aufgrund des erhöhten Atemminutenvolumens zu einer stärkeren Wasserdampfabgabe über die Ausatmung. Beide Effekte summieren sich zu einem zusätzlichen Flüssigkeitsverlust von bis zu zwei Litern pro Stunde.

Auch ein Tauchereinsatz umfasst grundsätzlich eine sportliche Betätigung. Der Taucher 'schwitzt' häufig unbemerkt, da er sich in nasser und meist kühler Umgebung befindet. Zur Erwärmung und Anfeuchtung der extrem trockenen Atemluft (*nach DIN*) bei gleichzeitig erhöhtem Luftumsatz unter Tauchtiefendruck muss der menschliche Körper große Menge Wasserdampf bilden. Dies führt dann zu einer entsprechenden Abnahme an Körperflüssigkeit. Durch Kreislaufregulationsvorgänge ('*Taucherdiurese*') wird die Urinproduktion durch die Niere auf 200-600 ml pro Tauchgang gesteigert. (*Nach einem Tauchgang verspürt jeder Taucher daher einen starken Harndrang.*)

Insgesamt ergibt sich für einen Taucher ein etwa 2% iger Gewichtsverlust durch Dehydratation (~ 1,6 l bei einer 800 N schweren Person). Diese Flüssigkeitsmenge wird vorwiegend dem Blut entzogen. Es wird dadurch dickflüssiger (viskoser), fließt entsprechend langsamer und erreicht bestimmte Gebiete nicht mehr. Der Abtransport von Stickstoff (N₂) verzögert sich erheblich und die **Gefahr von Dekompressionsunfällen**, insbesondere bei Tauchgängen mit hoher N₂-Aufsättigung, **ist deutlich erhöht**. Die reduzierte Sauerstoffversorgung bedingt ein Nachlassen der Leistungsfähigkeit um etwa 15% mit entsprechender Gefährdung des Tauchers in Belastungssituationen (z. B. starke Strömung).

Zur **Vermeidung eines Flüssigkeitsmangels** beim Tauchen wird empfohlen:

Zwei Stunden vor dem Tauchgang: 500 bis 700 ml zusätzlich trinken.

Kurz vor dem Tauchgang: 200 bis 300 ml zusätzlich trinken.

Nach dem Tauchgang und vor weiteren Tauchgängen ausreichend trinken.

Als Getränk eignet sich Mineralwasser mit wenig Kohlensäure, evtl. im Verhältnis 3:1 mit Fruchtsaft gemischt.

Die Aufnahme von koffeinhaltigen Getränken (Kaffee, schwarzer Tee) und/oder Alkoholika (Bier) führt zu einer gesteigerten Harnproduktion und damit zu einer weiteren Dehydratation. Auch körperliche Belastung (z. B.: Tragen schwerer Ausrüstung, Schwitzen im Tauchanzug, Joggen), Durchfall oder Fliegen vor einem Tauchgang verstärken den Flüssigkeitsverlust.

Diese Gefahren lassen sich aber durch entsprechendes Verhalten bzw. richtige Planung vermeiden!

3. Gerätekunde

3.0. Übersicht: Systeme bei autonomen Tauchgeräten

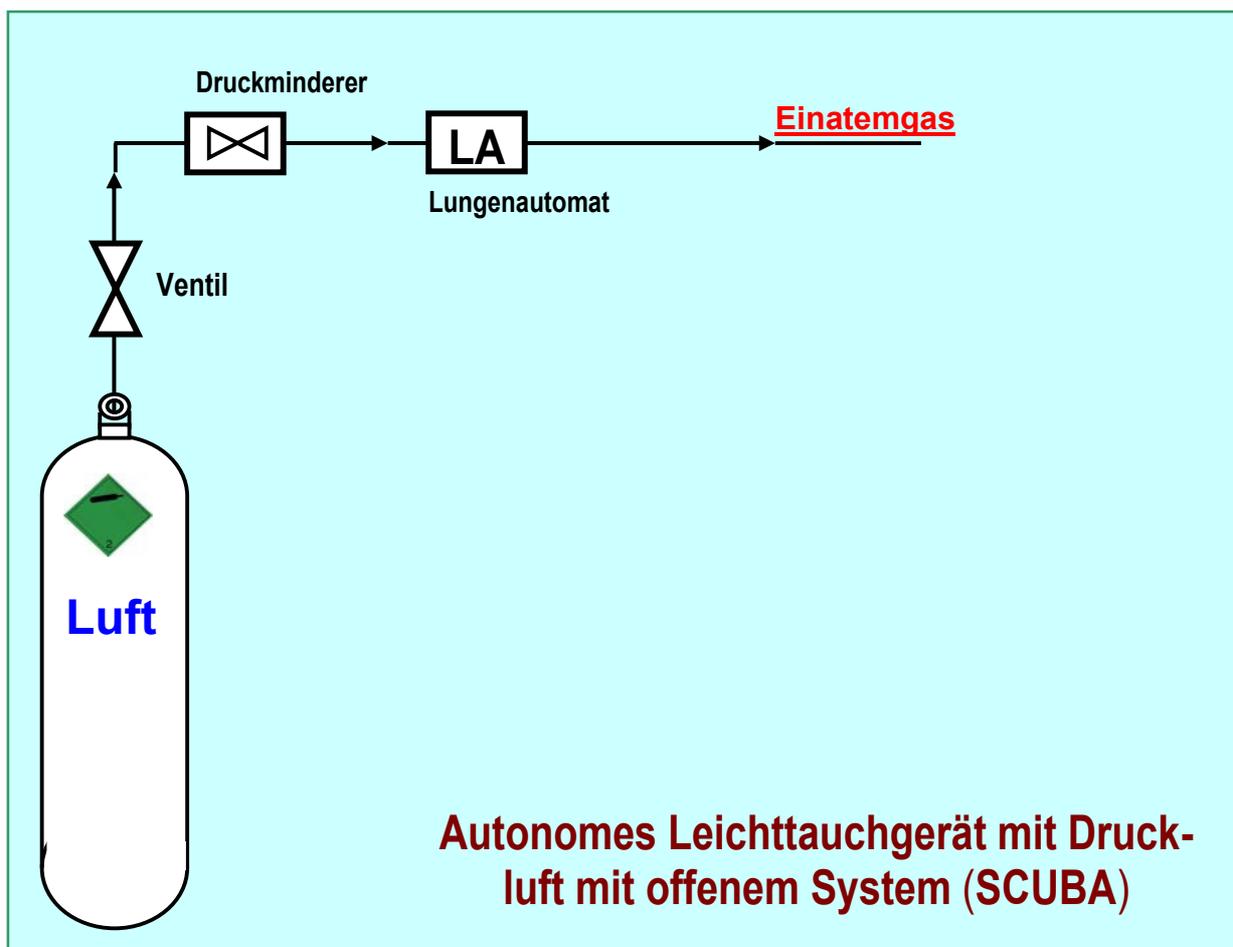
Drei Systeme werden unterschieden:

- offenes System
- geschlossenes System
- halboffenes (halbgeschlossenes) System

Offenes System:

Das kompr. Atemgasgemisch wird in Metallflaschen mitgeführt und beim Ausatmen in das umgebende Wasser abgegeben (minimaler Nutzungsgrad).

Beispiel: Autonomes Leichttauchgerät mit Druckluft (**DIN EN 250**).

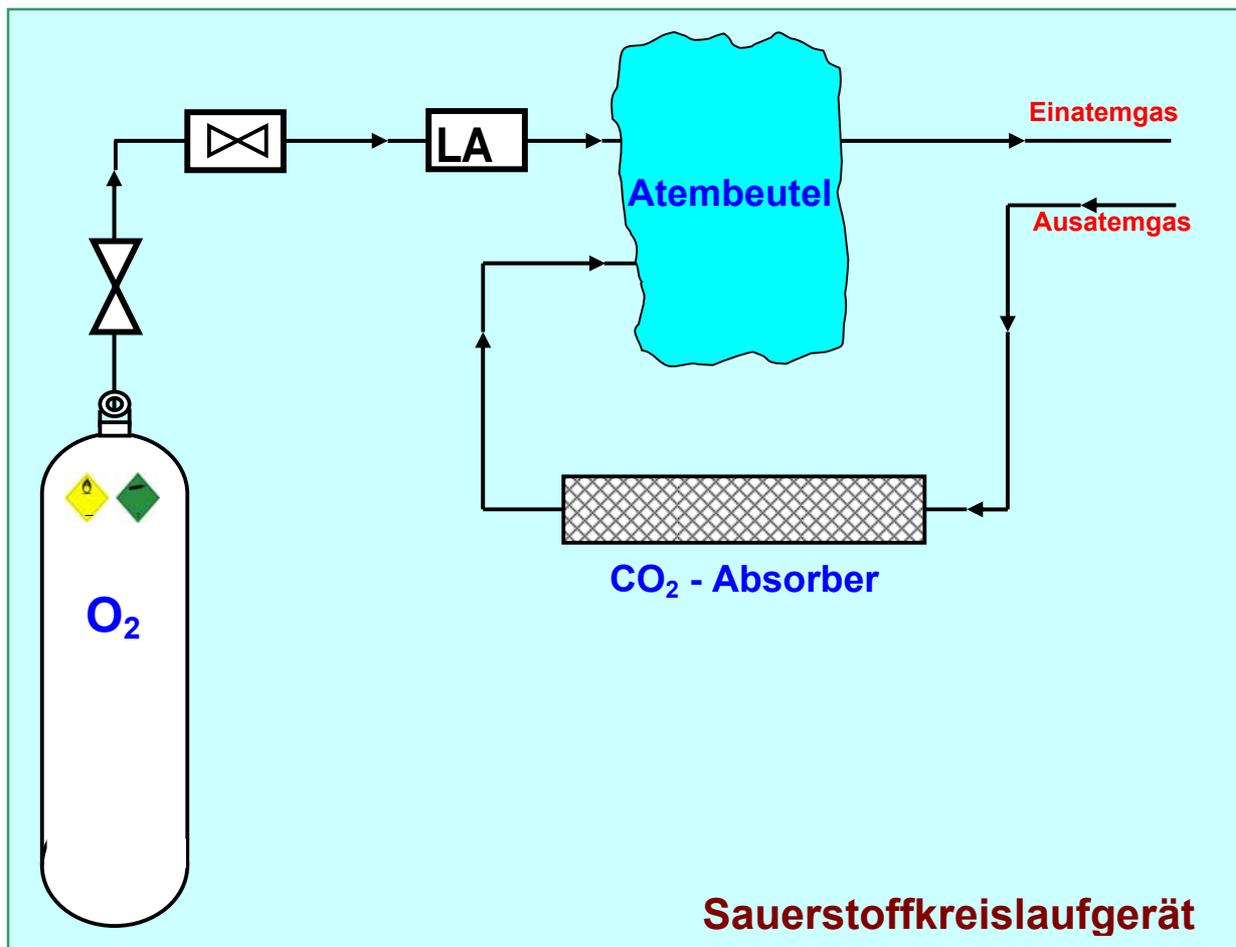


(SCUBA = *Self-Contained Underwater Breathing Apparatus*)

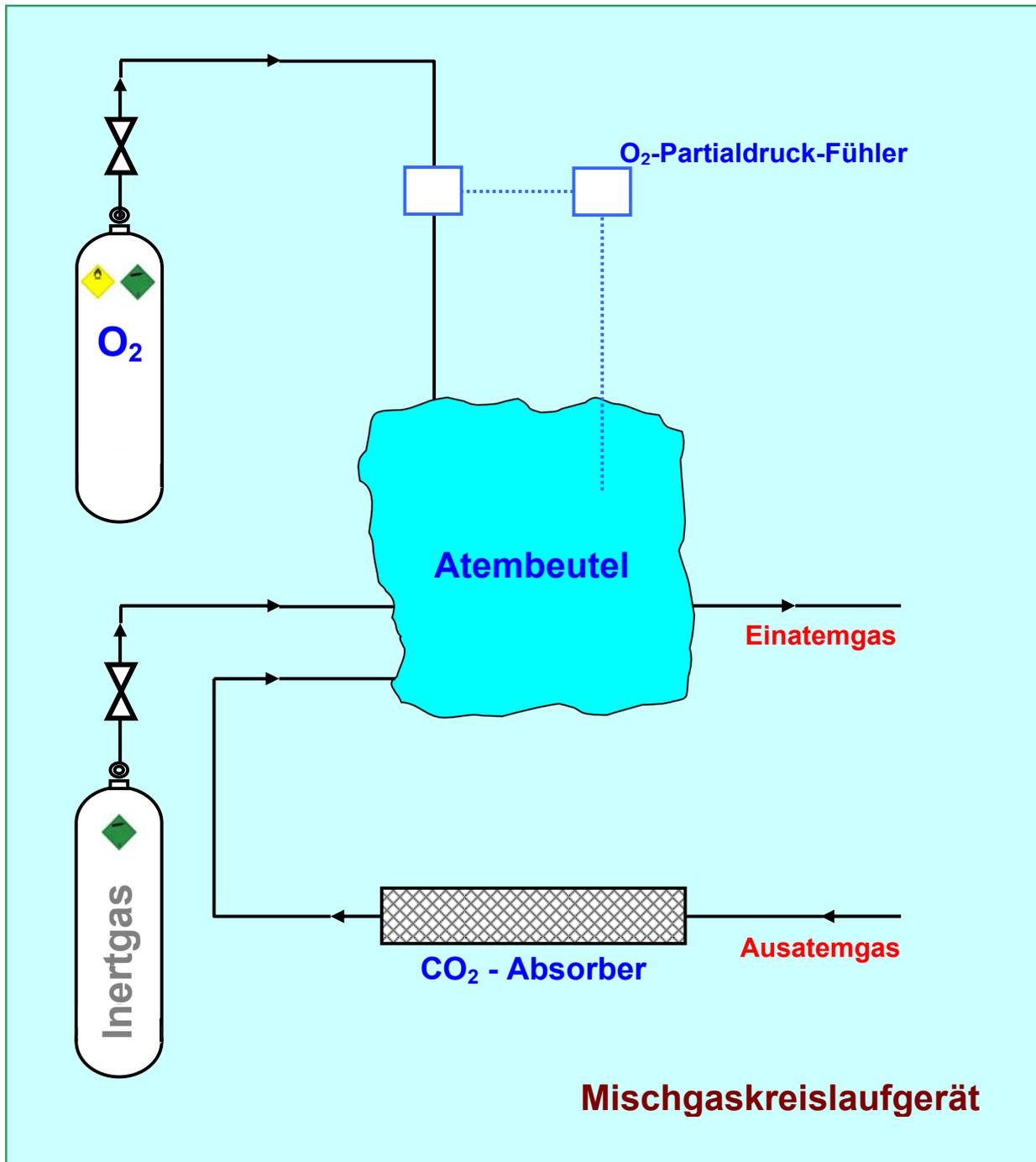
Geschlossene Systeme:

- a. **Sauerstoffkreislaufgerät:** nur der tatsächlich verbrauchte O_2 -Anteil wird neu hinzugefügt, das erzeugte CO_2 wird mit Kalkfilter absorbiert.

Nachteil: maximale Tauchtiefe: 7 m; da sonst eine O_2 -Vergiftung droht.
Vorteil: lange Tauchzeit, keine Blasen und keine Atemgeräusche (Militär!)



- b. **Mischgas-Kreislaufgeräte** für das Tieftauchen: Regelsystem mischt O_2 entsprechend der Tauchtiefe dem Inertgas (z.B. **He**) bei.

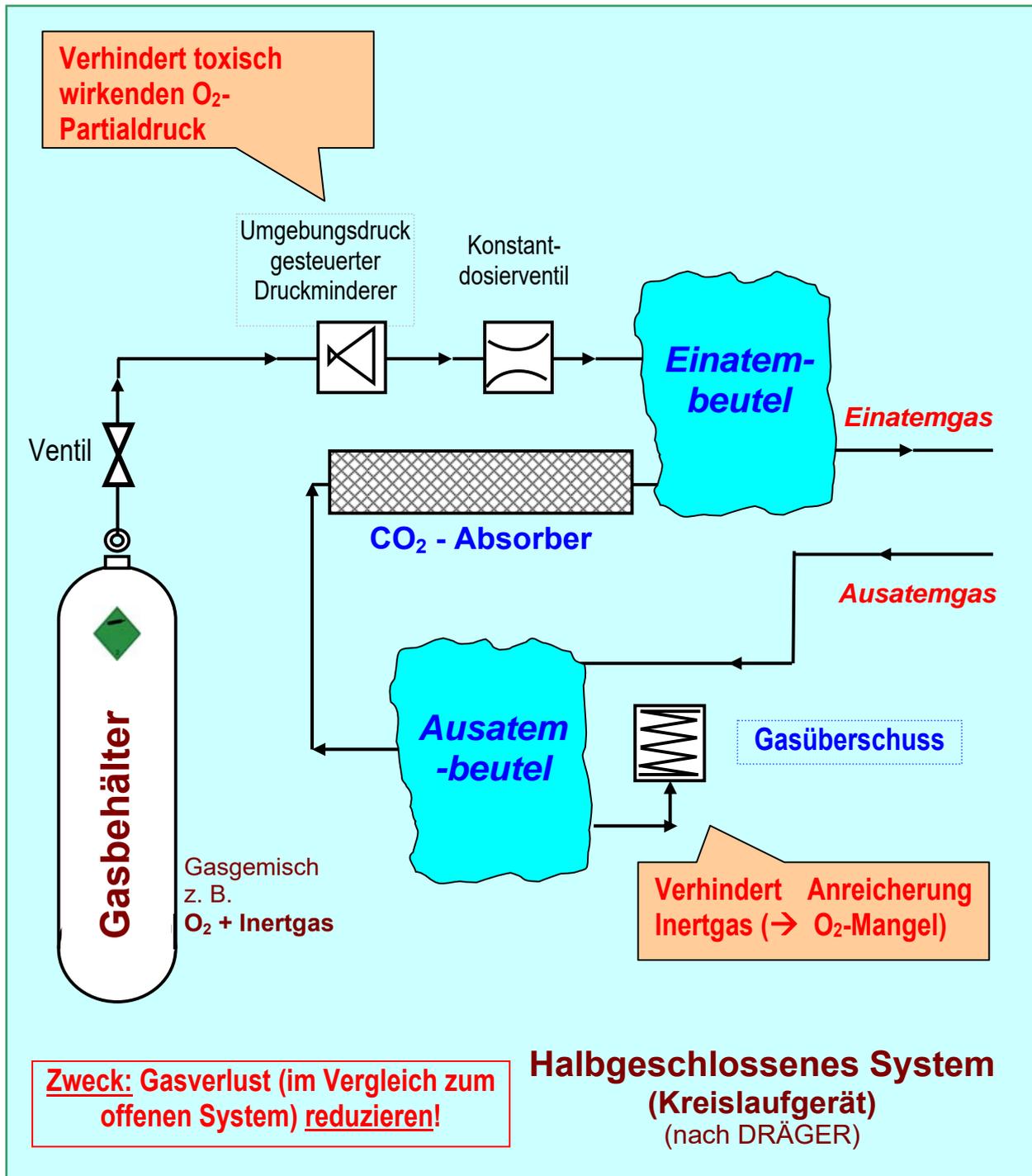


Halbgeschlossenes System:

ähnlich wie geschlossenes System: Mischgaskreislaufgerät,

aber **ständiger** (Konstantdosierventil), tiefenabhängiger Gaszustrom aus einem Gasbehälter, der ein Gasmisch (O₂ + Inertgas) enthält. Da der Gaszustrom tiefenabhängig erfolgt wird das Erreichen eines toxisch wirkenden O₂-Partialdrucks vermieden.

Wenn der Druck im Atembeutel einen bestimmten Grenzwert überschreitet, öffnet ein Überdruckventil und überschüssiges Gas wird in das umgebende Wasser abgegeben.



3.1. Rechtsvorschriften

3.1.1. Allgemein gültige Rechtsvorschriften (Gesetze)

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB)

Beispiel

BGB § 823 Schadensersatzpflicht

(1) Wer vorsätzlich oder fahrlässig das Leben, den Körper, die Gesundheit, die Freiheit, das Eigentum oder ein sonstiges Recht eines anderen widerrechtlich verletzt, ist dem anderen zum Ersatz des daraus entstehenden Schadens verpflichtet.

(2) Die gleiche Verpflichtung trifft denjenigen, welcher gegen ein den Schutz eines anderen bezweckendes Gesetz verstößt. Ist nach dem Inhalt des Gesetzes ein Verstoß gegen dieses auch ohne Verschulden möglich, so tritt die Ersatzpflicht nur im Falle des Verschuldens ein.

Strafgesetzbuch (StGB)

Beispiele

StGB § 222 Fahrlässige Tötung

Wer durch Fahrlässigkeit den Tod eines Menschen verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

StGB § 229 Fahrlässige Körperverletzung

Wer durch Fahrlässigkeit die Körperverletzung einer anderen Person verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

StGB § 323c Unterlassene Hilfeleistung

Wer bei Unglücksfällen oder gemeiner Gefahr oder Not nicht Hilfe leistet, obwohl dies erforderlich und ihm den Umständen nach zuzumuten, insbesondere ohne erhebliche eigene Gefahr und ohne Verletzung anderer wichtiger Pflichten möglich ist, wird mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe bestraft.

StGB § 34 Rechtfertigender Notstand

Wer in einer gegenwärtigen, nicht anders abwendbaren Gefahr für Leben, Leib, Freiheit, Ehre, Eigentum oder ein anderes Rechtsgut eine Tat begeht, um die Gefahr von sich oder einem anderen abzuwenden, handelt nicht rechtswidrig, wenn bei Abwägung der widerstreitenden Interessen, namentlich der betroffenen Rechtsgüter und des Grades der ihnen drohenden Gefahren, das geschützte Interesse das beeinträchtigte wesentlich überwiegt. Dies gilt jedoch nur, soweit die Tat ein angemessenes Mittel ist, die Gefahr abzuwenden.

StGB § 223 Körperverletzung

(1) Wer eine andere Person körperlich mißhandelt oder an der Gesundheit schädigt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

3.1.2. Überblick „Technischer Arbeitsschutz“

Technischer Arbeitsschutz

Inverkehrbringen

(inkl. Verkauf, Vertrieb)

Benutzung von Arbeitsmitteln

(inkl. Bereitstellung von Arbeitsmitteln, Betreiben von Anlagen)

EG-Richtlinien

EG-Richtlinien

GPSG

Geräte- und Produktsicherheitsgesetz

ArbSchG

Arbeitsschutzgesetz

6. GSGV

Inverkehrbringen von einfachen Druckbehältern (CE-Kennzeichnung)

8. GSGV

Inverkehrbringen von persönlichen Schutzausrüstungen

14. GSGV

Druckgeräteverordnung (DGRL / PED)

BetrSichV

Gefährdungsbeurteilung

Prüfung

Aufzeichnungen

Wiederkehrende Prüfungen

Unfall- und Schadensanzeige

Berufsgenossenschaftliche Vorschriften (UVV)

und Regeln, Grundsätze, Informationen, Merkblätter

3.1.3. Arbeitsschutzrecht (Gesetze und Verordnungen)

Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) [am 1. Mai 2004 in Kraft getreten]

Umfassendes Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte.

*Dieses Gesetz setzt u. a. die EG-Richtlinie über die **allgemeine Produktsicherheit** um.*

Mit dem GPSG wurden das Gerätesicherheitsgesetz (GSG) und das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) abgelöst.

GPSG § 2 Begriffsbestimmungen

(1) Produkte sind

1. technische Arbeitsmittel und
2. Verbraucherprodukte.

(2) Technische Arbeitsmittel sind verwendungsfertige Arbeitseinrichtungen, die bestimmungsgemäß ausschließlich bei der Arbeit verwendet werden, deren Zubehörteile sowie Schutzausrüstungen, die nicht Teil einer Arbeitseinrichtung sind, und Teile von technischen Arbeitsmitteln, wenn sie in einer Rechtsverordnung nach § 3 Abs. 1 oder 2 erfasst sind.

(3) Verbraucherprodukte sind Gebrauchsgegenstände und sonstige Produkte, die für Verbraucher bestimmt sind oder unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen von Verbrauchern benutzt werden können, selbst wenn sie nicht für diese bestimmt sind. Als Verbraucherprodukte gelten auch Gebrauchsgegenstände und sonstige Produkte, die dem Verbraucher im Rahmen der Erbringung einer Dienstleistung zur Verfügung gestellt werden.

(4)....

Tauchgeräte, Tauchanzüge und Tauchzubehör sind entsprechend GPSG § 2 als **Verbraucherprodukte** einzuordnen.

GSGV := Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz

6.GSGV

Inverkehrbringen von einfachen Druckbehältern

GSGV 6 § 1 Anwendungsbereich

(1) Diese Verordnung gilt für das Inverkehrbringen von neuen einfachen Druckbehältern.

(2) Einfache Druckbehälter im Sinne dieser Verordnung sind serienmäßig hergestellte geschweißte Behälter,

1. die einem inneren Überdruck von mehr als 0,5 bar ausgesetzt sind,
2. die zur Aufnahme von Luft oder Stickstoff bestimmt sind,
3. ...

GSGV 6 § 4 CE-Kennzeichnung

(1) Die Angaben nach Anhang II Nr. 1 der Richtlinie 87/404/EWG sowie im Falle des § 3 Abs. 1 auch die CE-Kennzeichnung müssen sichtbar, lesbar und dauerhaft auf dem Behälter oder einem Kennzeichnungsschild angebracht sein, das nicht vom Behälter abgenommen werden kann.

(2) Die CE-Kennzeichnung besteht aus den Buchstaben "CE" nach Anhang II der Richtlinie 87/404/EWG. Hinter der CE-Kennzeichnung steht die in Artikel 9 Abs. 1 der Richtlinie 87/404/EWG genannte Kennnummer der mit der EG-Prüfung oder der EG-Überwachung beauftragten zugelassenen Stelle.

(3) ...



8.GSGV **Inverkehrbringen von persönlichen Schutzausrüstungen**

Persönliche Schutzausrüstung (PSA) für Taucher

entsprechend der "Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen (89/686/EWG)"

- Kat. I: Geringes Risiko, einfacher Schutz, CE-Kennzeichnung durch den Hersteller (Beispiele: Schwimm- und/oder Tauchbrillen und –Masken, Sonnenbrillen, Gartenhandschuhe)
- Kat. II: Mittleres Risiko, verstärkter Schutz, z. B. Jackets (Zulassung nur mit Baumusterprüfung, Zertifizierung, Konformitätserklärung, CE-Kennzeichnung ohne Kennnummer, *Normentwurf prEN 1809*)
- Kat. III: Hohes Risiko, gegen tödliche Gefahren und ernste Schädigungen, z. B. Atemschutzgeräte, einschl. Tauchgeräte (Zulassung nur mit komplexer Baumusterprüfung mit EU-Qualitätssicherung, Konformitätserklärung, **CE-Kennzeichen mit Nummer des Prüfinstitutes**, Norm: z.B. DIN EN 250)

14.GSGV**Druckgeräteverordnung**

Die Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen [Druckbehälterverordnung - DruckbehV] wurde am 1. Januar 2003 durch die BetrSichV und die Druckgeräteverordnung (14.GSGV) ersetzt.

Die europäische Richtlinie über Druckgeräte "**Richtlinie 97/23/EG** des Europäischen Parlamentes vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte" ist von allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union seit dem 29. November 1999 anzuwenden. Ins deutsche Recht wurde diese Richtlinie als "Vierzehnte Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (**Druckgeräteverordnung** – 14. GSGV)" umgesetzt.

In Anhang I der europäischen Richtlinie sind die "Grundlegenden Sicherheitsanforderungen" festgelegt. Unter anderem muss der Hersteller eine Gefahrenanalyse vornehmen und die Geräte dann unter Berücksichtigung seiner Analyse auslegen und entsprechend zu bauen. Dieser flexible Ansatz erlaubt es den Herstellern selber zu bestimmen, wie er die Anforderungen erfüllt. Dabei hat er aber auf jeden Fall den Stand der Technik und der Praxis zum Zeitpunkt der Konzeption und der Fertigung sowie den technischen und wirtschaftlichen Erwägungen Rechnung zu tragen, die mit einem hohen Maß des Schutzes von Gesundheit und Sicherheit zu vereinbaren sind.

Die Druckgeräteverordnung gilt für das Inverkehrbringen von Druckgeräten und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck von über 0,5 bar.

Benannte Stellen

Durch die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union werden "Benannte Stellen" anerkannt, deren Hauptaufgabe die notwendigen Dienstleistungen für die Konformitätsbewertung zu erbringen. Vor einer Benennung erfolgt die Bewertung durch eine Akkreditierungsstelle (in Deutschland: ZLS – Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik, München). Dabei wird deren fachliche Kompetenz und ihre notwendige Unparteilichkeit, Unabhängigkeit und Integrität geprüft. Die endgültige Benennung erfolgt in Deutschland durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund. Jede "Benannte Stelle" erhält eine eindeutige Kennnummer. Diese Kennnummer wird vom Hersteller hinter dem "CE-Zeichen" auf dem Druckgerät bzw. der Baugruppe unauslöschlich angebracht. In Deutschland gibt es 16 benannte Stellen, dazu gehören in Hamburg der TÜV Nord e.V., das Amt für Arbeitsschutz und der Germanische Lloyd.

Die **europäische Druckgeräterichtlinie (DGRL) 97/23/EG [PED** - Pressure Equipment Directive] regelt das **Inverkehrbringen von Druckgeräten** aller Art. Alle Druckgasflaschen, die **ab dem 29.05.2002** verkauft wurden, müssen mit einem **CE-Kennzeichen** und dem Code der notifizierten Stelle, die die Konformitätsbewertung vornimmt, versehen sein. Für ältere Geräte gilt Bestandsschutz, d.h. sie müssen nicht nachträglich mit einem CE-Kennzeichen versehen werden.

Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit

Dieses Gesetz dient der Umsetzung folgender EG-Richtlinien:

- Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (ABl. EG Nr. L 183 S. 1) und
- Richtlinie 91/383/EWG des Rates vom 25. Juni 1991 zur Ergänzung der Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes von Arbeitnehmern mit befristetem Arbeitsverhältnis oder Leiharbeitsverhältnis (ABl. EG Nr. L 206 S. 19)

Das Benutzen bzw. Betreiben von Anlagen, d. h. die Anwendung durch Beschäftigte, wird durch das Arbeitsschutzgesetz, die Betriebssicherheitsverordnung und zukünftig auch durch die "Regeln zur BetrSichV" geregelt.

Die Betriebssicherheitsverordnung löst die bisherige Druckbehälterverordnung ab.

Die **BetrSichV** regelt die **Sicherheit** und den **Gesundheitsschutz** bei der Bereitstellung von **Arbeitsmitteln** (*Werkzeuge, Geräte, Maschinen, Anlagen*) und deren Benutzung bei der Arbeit werden durch die geregelt.

Diese Verordnung ordnet außerdem die Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen (z. B. *Druckgeräte*) und die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes.

BetrSichV

Betriebssicherheitsverordnung

Die Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes [Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV] ist am 3. Oktober 2002 in Kraft getreten.

§ 3 Gefährdungsbeurteilung

(1) **Der Arbeitgeber** hat bei der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes unter Berücksichtigung der Anhänge 1 bis 5, des § 16 der Gefahrstoffverordnung und der allgemeinen Grundsätze des § 4 des Arbeitsschutzgesetzes **die notwendigen Maßnahmen für die sichere Bereitstellung und Benutzung der Arbeitsmittel zu ermitteln**. Dabei hat er insbesondere die Gefährdungen zu berücksichtigen, die mit der Benutzung des Arbeitsmittels selbst verbunden sind und die am Arbeitsplatz durch Wechselwirkungen der Arbeitsmittel untereinander oder mit Arbeitsstoffen oder der Arbeitsumgebung hervorgerufen werden.

(2)...

BetrSichV**BetrSichV § 10 Prüfung der Arbeitsmittel**

(1) Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass die **Arbeitsmittel**, deren Sicherheit von den Montagebedingungen abhängt, nach der Montage und **vor der ersten Inbetriebnahme** sowie nach jeder Montage auf einer neuen Baustelle oder an einem neuen Standort **geprüft werden**. Die Prüfung hat den Zweck, sich von der ordnungsgemäßen Montage und der **sicheren Funktion dieser Arbeitsmittel** zu überzeugen. **Die Prüfung darf nur von hierzu befähigten Personen durchgeführt werden.**

(2) ...

(4) Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass die **Prüfungen auch den Ergebnissen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 genügen**

BetrSichV § 11 Aufzeichnungen

Der Arbeitgeber hat die Ergebnisse der Prüfungen nach § 10 aufzuzeichnen. Die zuständige Behörde kann verlangen, dass ihr diese Aufzeichnungen auch am Betriebsort zur Verfügung gestellt werden. Die Aufzeichnungen **sind über einen angemessenen Zeitraum aufzubewahren, mindestens bis zur nächsten Prüfung.** Werden Arbeitsmittel, die § 10 Abs. 1 und 2 unterliegen, außerhalb des Unternehmens verwendet, ist ihnen ein Nachweis über die Durchführung der letzten Prüfung beizufügen.

BetrSichV § 14 Prüfung vor Inbetriebnahme

(1) Eine **überwachungsbedürftige Anlage darf erstmalig** und nach einer wesentlichen Veränderung nur in Betrieb genommen werden, wenn die Anlage unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsweise **durch eine zugelassene Überwachungsstelle auf ihren ordnungsgemäßen Zustand** hinsichtlich der Montage, der Installation, den Aufstellungsbedingungen und der sicheren Funktion geprüft worden ist.

(2) ...

BetrSichV § 15 Wiederkehrende Prüfungen

(1) Eine **überwachungsbedürftige Anlage und ihre Anlagenteile sind in bestimmten Fristen wiederkehrend auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs durch eine zugelassene Überwachungsstelle** zu prüfen. Der Betreiber hat die Prüffristen der Gesamtanlage und der **Anlagenteile auf der Grundlage einer sicherheitstechnischen Bewertung** zu ermitteln.

(2) Prüfungen nach Absatz 1 Satz 1 bestehen aus einer technischen Prüfung, die an der Anlage selbst unter Anwendung der Prüfregeln vorgenommen wird und einer Ordnungsprüfung. Bei Anlagenteilen von Dampfkesselanlagen, **Druckbehälteranlagen** außer Dampfkesseln, Anlagen zur Abfüllung von verdichteten, verflüssigten oder unter Druck gelösten Gasen, Leitungen unter innerem Überdruck für entzündliche, leichtentzündliche, hochentzündliche, ätzende oder giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten sind Prüfungen, die **aus äußeren Prüfungen, inneren Prüfungen und Festigkeitsprüfungen** bestehen, durchzuführen.

(3)

Begriffsbestimmungen

Stand der Wissenschaft und Technik

Neuester Stand theoretischer Erkenntnisse, die noch nicht in der Praxis Eingang gefunden haben.

Stand der Technik

Entwicklungsstandard fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, deren praktische Eignung als gesichert angesehen werden kann.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Verfahrensweisen, die theoretisch richtig und wissenschaftlich überprüft sind und sich in der Praxis als bewährt durchgesetzt haben.

Durch die BetrSichV werden u. a. geregelt:

Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln

Allgemeine Schutzziele (Grundvorschriften) bei Bereitstellung und Benutzung

- Gefährdungsbeurteilung (Arbeitsmittel, -stoff, -platz, -umgebung)
- Stand der Technik (Beurteilungsmaßstab)
- Technische Regeln (Konkretisierung/Vermutungswirkung)
- Dokumentationspflicht

Überwachungsbedürftige Anlagen

- Prüfung vor Inbetriebnahme § 14
- Wiederkehrende Prüfungen § 15
- Angeordnete außerordentliche Prüfung § 16
- Prüfung besonderer Druckgeräte § 17
- Unfall- und Schadensanzeige § 18

Zugelassene Überwachungsstellen § 21

Druckgerätezuordnung

Organisation der Prüfpflichten von Anlagen und technischer Arbeitsmittel im Unternehmen

- einfache Druckbehälter, Druckgeräte

Implementierung eines Arbeitsschutzmanagements

Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)

Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte

Das Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz [ProdHaftG]) wurde 1989 entsprechend einer EG-Richtlinie erstellt und veröffentlicht. Zuletzt geändert durch Gesetz wurde am 19. Juli 2002. Dieses Gesetz regelt den Schadensersatzanspruch gegenüber dem Hersteller eines Gerätes für die Fälle, in denen jemand durch das Produkt getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt wird. Paragraph 1 Abs (2) 5 verlangt, dass das Produkt in dem Zeitpunkt, in dem der Hersteller es in den Verkehr bringt, dem "**Stand der Wissenschaft und Technik**" entspricht. Da Normen in der Regel nicht den aktuellen technischen Möglichkeiten entsprechen, ist durch ihre Einhaltung alleine der Stand von Wissenschaft und Technik für ein Produkt nicht gewährleistet.

Medizinproduktegesetz (MPG)

*z. B. Betrieb und Verwendung von Sauerstoffatemgeräten
(Wenoll-System, DAN-Koffer, etc.),
Taucherdruckkammern, Verbandsstoffe*

<i>Medizinprodukte-Betreiberordnung</i>

Medizingeräteverordnung (MedGV)

Arzneimittelgesetz (AMG)

Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln

z. B. Sauerstoff und Medikamente in Taucher-Notfallkoffern

Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBefG)

Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter

Gefahrgutverordnung Straße (GGVS)

Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE)

Gefahrgutverordnung See (GGVSee)

Internationales Übereinkommen für den Transport gefährlicher Güter auf der Straße (ADR I)

Internationales Übereinkommen für den Transport gefährlicher Güter auf der Schiene (RID)

Internationales Übereinkommen für den Transport gefährlicher Güter auf Wasserwegen (IMDG-CODE)

3.1.4. Normen (allgemein anerkannte Regeln der Technik)

Der Deutsche Normen Ausschuss ist ein privatrechtlicher, eingetragener Verein (DIN = Deutsches Institut für Normung). Ordentliche Mitglieder sind Firmen, Verbände, Körperschaften, Behörden und Organisationen. Die Erstellung bzw. Änderung der Normen erfolgt in unabhängigen Fachnormen- und Arbeitsausschüssen ohne gesetzliche Eingriffe. Die Hersteller von Produkten sind dabei stark engagiert jeweils ihre eigenen Produkte zur Norm zu machen. Die Beratungen in den Ausschüssen erfolgen solange bis ein einstimmiger Beschluss erfolgen kann. Normen können aber Gesetzeskraft erhalten, wenn sie in Gesetzen (z. B. Gerätesicherheitsgesetz) direkt genannt werden. Normen werden ca. alle fünf Jahre überarbeitet.

Normen stellen im Tauchbereich häufig nur den kleinsten gemeinsamen Nenner dar, auf den sich Hersteller, Importeure und Verbraucher verständigen konnten. Teilweise kommt es dabei zu praxisfernen und gefährlichen Vorgaben.

Wichtige internationale Normen sind insbesondere:

ISO (International Organisation for Standardization)

EN (Comité Européen de Normalisation (CEN))

Veröffentlichte harmonisierte (europäische) Normen werden im Amtsblatt der Europäischen Kommission veröffentlicht. Es handelt sich dabei um ausgewählte europäische Normen mit besonderer Beachtung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen. Die Anwendung einer veröffentlichten harmonisierten Norm bei Entwurf und Herstellung eines **Druckgerätes** führt zur **Konformitätsvermutung** hinsichtlich der im Anhang ZA der jeweiligen harmonisierten Norm aufgeführten grundlegenden Sicherheitsanforderungen. Mit der **CE-Kennzeichnung** (Artikel 15) wird die Durchführung der Konformitätsbewertung bescheinigt, sowie die Tatsache, dass das Gerät oder die Baugruppe den Vorschriften der Richtlinie entspricht und die grundlegenden Sicherheitsanforderungen erfüllt.

Wichtige harmonisierte Normen (im Amtsblatt der EG bzw. der EU veröffentlicht)

	Bezeichnung	Fassung
DIN EN 132	Atemschutzgeräte; Definitionen von Begriffen und Piktogramme	Februar 1999
DIN EN 144-1	Atemschutzgeräte; Gasflaschenventile ; Teil 1: Gewindeverbindung am Einschraubstutzen (enthält Änderung A1:2003); Deutsche Fassung EN 144-1:2000+A1:2003	September 2003
DIN EN 144-3	Atemschutzgeräte; Gasflaschenventile; Teil 3: Gewindeverbindungen am Ausgangsstutzen für die Tauchgase Nitrox und Sauerstoff; Deutsche Fassung EN 144-3:2003	Juni 2003
DIN EN 148-1	Atemschutzgeräte; Gewinde für Atemanschlüsse; Teil 1: Rundgewindeanschlüsse	April 1999
DIN EN 148-2	Atemschutzgeräte; Gewinde für Atemanschlüsse; Teil 2: Zentralgewindeanschlüsse	März 1999
DIN EN 148-3	Atemschutzgeräte; Gewinde für Atemanschlüsse; Teil 3: Ge-	April 1999

Bezeichnung		Fassung
	windeanschluss M 45 × 3	
DIN EN 250 : 2000	Atemgeräte - Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft - Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung	März 2000
DIN EN 1809	Tauchzubehör; Tariemittel; Funktionelle und sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfverfahren	Januar 1998
DIN EN 12628	Tauchzubehör; Kombinierte Tariere- und Rettungsmittel; Funktionelle und sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfverfahren	Oktober 1999
DIN EN 13949	Atemgeräte; Autonome Leichttauchgeräte mit Nitrox-Gasgemisch und Sauerstoff; Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 13949:2003	Juni 2003

Wichtige harmonisierte Normen (noch nicht im Amtsblatt der EG veröffentlicht)

Stand: November 2003

Bezeichnung		Fassung
DIN EN 12021	Atemschutzgeräte; Druckluft für Atemschutzgeräte	Januar 1999

Einige nationale technische Spezifikationen

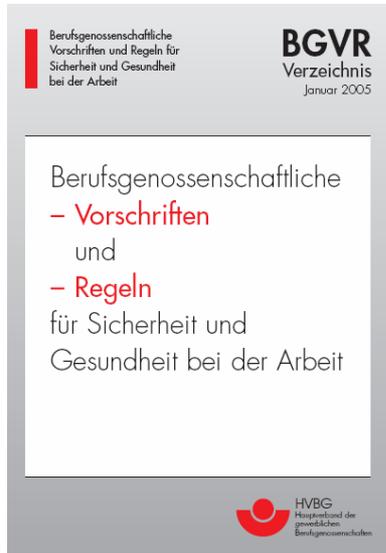
Bezeichnung		Fassung
DIN 3171-1	Atemgeräte; Druckgasbehälter für Druckluft und verdichteten Sauerstoff; Teil 1: Nahtlose Stahlflaschen, Prüfdruck 300 bar und 450 bar	Februar 2000
DIN 3171-1	Atemgeräte; Druckgasbehälter für Druckluft und verdichteten Sauerstoff; Teil 2: Flaschen in Verbundbauweise, Druck 300 bar und 450 bar	Februar 2000
DIN 3172	Atemgeräte; Nahtlose Druckgasbehälter aus Aluminiumlegierungen für Druckluft und verdichteten Sauerstoff; Teil 2: Flaschen in Verbundbauweise, Druck 300 bar und 450 bar	Mai 1986

Verzeichnis A der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Gerätesicherheitsgesetz - Stand: Februar 2002-

Hier aufgeführte Normen haben "gesetzlichen Charakter".

Alle DIN-Normen können bezogen werden beim
 Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 10787 Berlin
 Telefon 030 / 26 01 - 22 60 Telefax 030 / 26 01 - 12 60
<http://www.beuth.de>

3.1.5. Berufsgenossenschaftliche (BG) Vorschriften (u. a. Unfallverhütungsvorschriften), Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Grundsätze und Informationen



Das BG-Vorschriften- und -Regelwerk (BGVR) wurde durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften neu geordnet. Das aktuelle **BGVR-Verzeichnis** (inkl. Preisangaben) ist im Oktober 2006 erschienen.

Es findet sich im Internet als PDF-Datei unter der Adresse:

http://www.hvbg.de/d/pages/praev/pdf/bgvr_verzeichnis.pdf

Das Berufsgenossenschaftliche Vorschriften- und Regelwerk (BGVR) ist erhältlich bei:

Carl Heymanns Verlag, Luxemburger Str. 449, 50939 Köln

Telefon: (0221) 94 37 30

Telefax: (0221) 94 373 – 603

E-Mail: verkauf@heymanns.com

Internet: www.heymanns.com

Das bisherige ZH 1-Verzeichnis und das VBG-Verzeichnis wurden in das neue gemeinsame BGVR übergeführt.

In der Vergangenheit waren Richtlinien in der Regel Vorläufer von Unfallverhütungsvorschriften (UVV). Aufgrund der Einführung des Begriffes "Richtlinien der EG" kann der Begriff „Richtlinien“ in seiner alten Bedeutung zukünftig nicht mehr verwendet sein!

BG-Vorschriften (BGV)

Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

BG-Vorschriften sind **Unfallverhütungsvorschriften** entsprechend § 15 Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (SGB VII).

Diese Unfallverhütungsvorschriften benennen Schutzziele sowie branchen- oder verfahrensspezifische Forderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz. Sie haben wie bisher rechtsverbindlichen Charakter und werden von den Vertreterversammlungen der einzelnen Berufsgenossenschaften beschlossen.

Kategorien (fachliche Gliederung der Vorschriften)

BGV A 1 ff.	Allgemeine Vorschriften/Betriebliche Arbeitsschutzorganisation
BGV B 1 ff.	Einwirkungen
BGV C 1 ff.	Betriebsart/Tätigkeiten
BGV D 1 ff.	Arbeitsplatz/Arbeitsverfahren

Wichtige Vorschriften

BGV A1	Grundsätze der Prävention (Neue Vorschrift in Kraft seit dem 1.01.2004)
BGV A2	Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit
BGV A3	Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
BGV A4	Arbeitsmedizinische Vorsorge
BGV A8	Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz
BGV C23	Taucherarbeiten
BGV D21	Schwimmende Geräte

BG-Regeln (BGR)

Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Hier handelt es sich um allgemein anerkannte Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz. Sie beschreiben den Stand des Arbeitsschutzes und dienen der praktischen Umsetzung von Forderungen aus den Unfallverhütungsvorschriften.

BGR 235 (ZH 1/539) Taucherdruckkammern (Ausgabe: 10.88, aktualisierte Fassung 1.04)

Sicherheitsregeln

ZH 1/237	Sicherheitsregeln für Druckluft-Leichttauchgeräte
ZH 1/541	Sicherheitsregeln für Taucher-Auftriebsrettungsmittel (wurde zurückgezogen)

Regeln sind grundsätzlich anzuwenden. Notwendige Abweichungen in Einzelfällen müssen vom Anwender begründet werden. Regeln sind Zusammenstellungen einschlägiger Bestimmungen aus Vorschriften, techn. Regelwerken, Regeln der Technik usw. .

Seit dem 1. Januar 2006 gilt die Regel des Bundesverbandes der Unfallkassen (BUK):

GUV-Regel 2112 Einsatz von Forschungstauchern

Siehe Kapitel 5

Berufsgenossenschaftliche Grundsätze

Maßstäbe in bestimmten Verfahrensregeln.

BGG 904 Berufsgenossenschaftliche arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen
Enthält u.a. auch den Einzelgrundsatz:

G31 Überdruck

Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung für Personen, die Arbeiten im Überdruck ausführen.

BG-Information (BGI)

Berufsgenossenschaftliche Informationen

Zusammenfassungen spezieller Veröffentlichungen, z.B. für bestimmte Branchen, Tätigkeiten, Arbeitsmittel, Zielgruppen etc.. Zuständig sind Einzel-Berufsgenossenschaften.

BGI 897	BG-Information: Tauchereinsätze mit Mischgas
BGI 898	BG-Information: Tauchereinsätze in kontaminiertem Wasser
BGI 817	Taucher-Dienstbuch (kartoniert)
BGI 690	Merkblatt für die Behandlung von Erkrankungen durch Arbeiten in Überdruck (Arbeiten in Druckluft, Taucherarbeiten)
BGI 506	Merkblatt über die gesetzliche Unfallversicherung
BGI 509	Erste Hilfe im Betrieb (Stand: Oktober 2004)
BGI 503	Anleitung zur Ersten Hilfe (Stand: August 2006)

Merkblätter (noch in alter Bezeichnung)

Merkblätter enthalten Festlegungen und Informationen. Sie erleichtern die praktische Arbeit.

ZH 1/532	Merkblatt "Einsatz und Bezeichnung von Taucherfahrzeugen oder sonstigen Geräten bei Unterwasserarbeiten"
----------	--

3.1.6 **DIN EN 250 Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft (Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung)**

Die europäische DIN EN 250 wurde vom CEN (Europäisches Komitee für Normung) erstmalig am 16.3.1993 angenommen. Die aktuellste Version wurde am 7.11.1999 angenommen und im März 2000 als deutsche Norm (*Ref. Nr. DIN EN 250: 2000-03*) veröffentlicht. *Sie ist im Beuth Verlag zum Preis von 61,20 € zu erwerben (Preisstand: Mai 2003).*

Alle in den EU-Ländern verkauften Leichttauchgeräte müssen die **DIN EN 250 erfüllen**. Nach einer entsprechenden erfolgreichen Prüfung (PSA Kategorie 3, s. a. 3.1.2 – 8.GSGV) erhalten sie ein EU-Konformitätszeichen ("CE") mit Nummer der Prüfstelle.

"Autonomes Leichttauchgerät mit Druckluft mit offenem System (SCUBA)"

Gerät, bei dem der Taucher seinem Atemluftvorrat mit sich führt, was ihm ermöglicht, unter Wasser einzuatmen und in das umgebende Wasser auszuatmen.

Das gebrauchsfertige Leichttauchgerät besteht aus einer Vielzahl kompatibler Baugruppen, von denen jede die entsprechenden Anforderungen dieser Europäischen Norm erfüllt.

Nach dem Zusammenbau ermöglicht das vollständige Leichttauchgerät dem Taucher, die Luft entsprechend dem jeweiligen Bedarf aus einer oder mehreren Hochdruckflaschen über einen Atemregler zu entnehmen, der mit einem Atemanschluss verbunden ist.

Die Ausatemluft entweicht ohne Rückführung vom Atemregler über das Ausatemventil in das umgebende Wasser.

Definitionen (Auswahl):

Hochdruck

Druck in der (den) Druckluftflasche(n).

Mitteldruck

Druck zwischen dem Druckminderer und dem Lungenautomaten.

Niederdruck

Druck innerhalb des Atemanschlusses, ungefähr Umgebungsdruck.

Nennbetriebsdruck

Maximaler Betriebsdruck der entsprechenden Bauteile.

Atem-Minuten-Volumen (AMV)

Produkt aus verdrängtem Volumen und Atemfrequenz, gemessen in Litern je Minute.

Atemregler

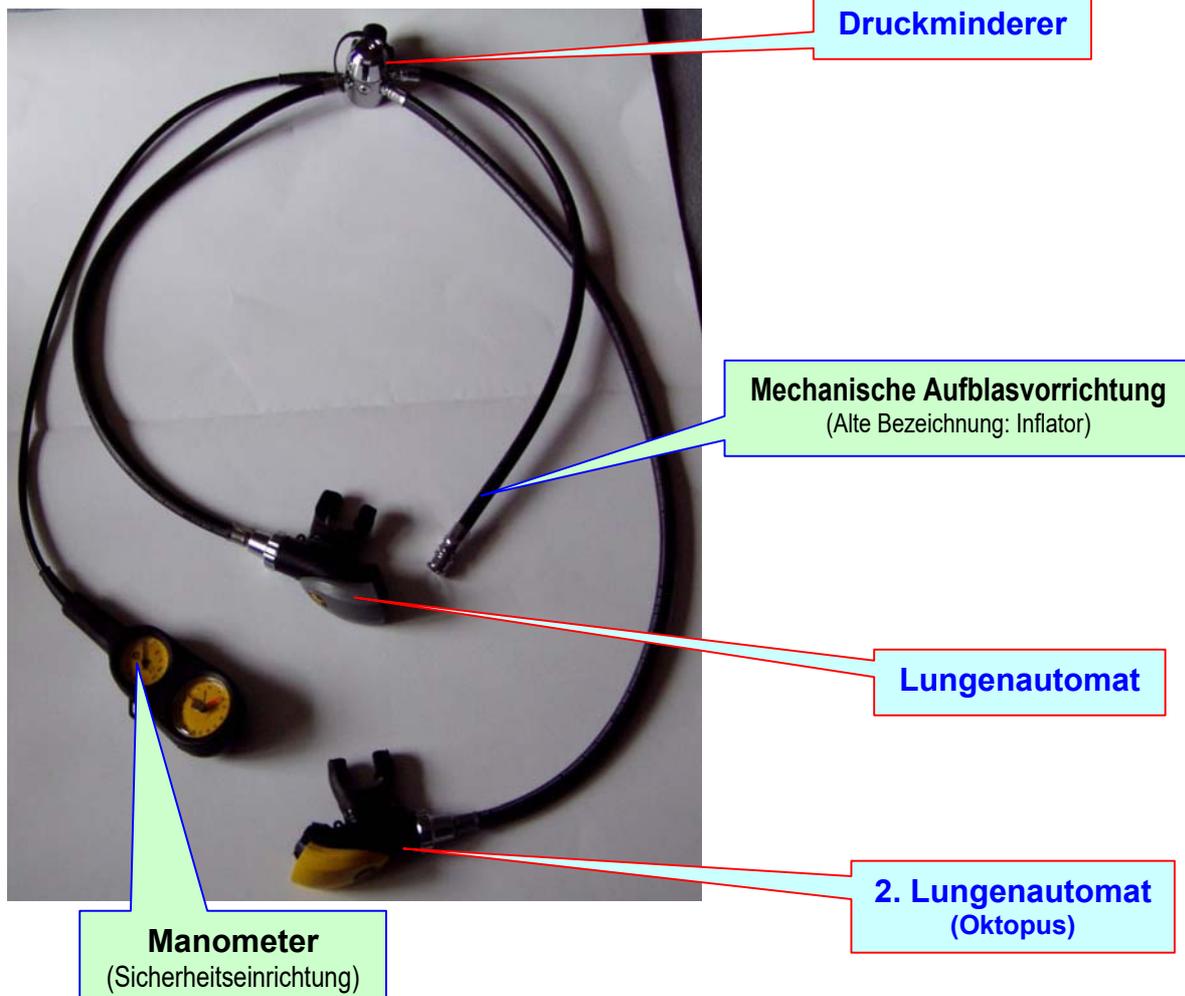
Enthält einen Druckminderer und einen mit dem Atemanschluß verbundenem Lungenautomaten.

Druckminderer

Gerät, das Teil eines Atemreglers ist und das den Hochdruck auf Mitteldruck reduziert.

Lungenautomat

Gerät, das Teil eines Atemreglers ist und das den Mitteldruck auf Umgebungsdruck reduziert.



Weitere Definitionen, die der Norm entnommen werden können:

Referenzdruck, Atemdruck, Öffnungsunterdruck, Verdrängtes Volumen (Tidalvolumen), Atemfrequenz, Druck-Volumen-Kurve, Atemarbeit, Atemanschluß, Mundstückgarnitur, Vollmaske, Taucherhalbmaske, Totraum, Flaschenpaket, Tragesystem

Beschreibung

Das Leichttauchgerät darf aus Baugruppen bestehen und muß während des Gebrauchs mindestens die folgenden **Bauelemente** ausweisen:

- | | |
|----|--|
| 1. | Druckluftflasche(n) mit Flaschenventil(en) |
| 2. | Atemregler |
| 3. | Sicherheitseinrichtung |
| 4. | Atemanschluß:
Mundstückgarnitur oder eine Taucherhalbmaske oder Vollmaske |
| 5. | Tragesystem |

Jede Baugruppe muß von einer **Informationsbroschüre** des Herstellers in der (den) offiziellen Sprache(n) des Bestimmungslandes begleitet sein.

Anforderungen:

Alle Teile, die vom Taucher während des Einsatzes zu betätigen sind, müssen auch beim Tragen von Schutzhandschuhen (3 Finger, 6 mm - 7 mm, beidseitig kaschiert) zugänglich und regelbar sein. Sie müssen so gebaut sein, dass ihre Einstellung während des Einsatzes nicht unabsichtlich verändert werden kann.

- **Druckluftflasche(n)**
Die Druckluftflasche muß mit der entsprechenden Bezeichnung des Flaschenhalsgewindes nach **EN 411-1** gekennzeichnet sein. Die bevorzugten Ausführungen sind M 18 × 1,5 und M 25 × 2.
→ siehe auch Kapitel 3.2
- **Flaschenventile**
Die Gewinde müssen **EN 411-1** entsprechen. Die bevorzugten Ausführungen sind M 18 × 1,5 und M 25 × 2.
→ siehe auch Kapitel 3.2
- **Hochdruckabgänge**
Hochdruckabgänge, falls in Gewindeausführung, müssen Hochdruckausgänge **7/16-20 UNF** nach ISO 263 haben. Es darf nicht möglich sein, die Mitteldruckschläuche an die Hochdruckausgänge anzuschließen.

- **Atemregler**
Der Atemregler muß bei Prüfung bei einem Absolutdruck von 6 bar (50 Meter Wassertiefe) u.a. die folgenden Anforderungen erfüllen:
 1. die Atemarbeit darf 3,0 J/l nicht überschreiten;
 2. der Spitzenwert des Atemdruckes während der Einatmung und Ausatmung muß im Bereich von ± 25 mbar sein;
 3. die positive Atemarbeit während der Einatmung darf 0,3 J/l nicht überschreiten.

- **Druckminderer**
Am Druckminderer des Atemreglers muß jede einstellbare Mitteldruckstufe zuverlässig gegen zufälliges Verstellen geschützt und angemessen gesichert sein, so daß jedes unbefugte Verstellen erkannt werden kann.

- **Druckentlastungssystem**
Atemregler mit Lungenautomaten, die gegen den Druck öffnen, müssen ein Überdruckventil haben.

- **Lungenautomat**
Der Lungenautomat muß eine Vorrichtung zum Ausblasen von Wasser haben.

- **Sicherheitseinrichtung:**
Das Leichttauchgerät muß wenigstens mit einer der folgenden Sicherheitseinrichtungen haben:
 - Manometer
 - Reserveventil
 - andere aktive Warneinrichtung
 -

Wenn die vorhersehbaren **Einsatzbedingungen es erfordern**, muß das Leichttauchgerät entsprechend den Gefahren **zusätzlich mit einer oder mehreren** der oben aufgeführten **Sicherheitseinrichtungen** ausgestattet sein.

Die Sicherheitseinrichtung muß deutlich anzeigen, daß der Restdruck in der Flasche nach dem Ansprechen wenigstens 50 bar beträgt.
Bei Ausrüstung mit mehreren Flaschen muß dieser Druck **in allen Flaschen** vorhanden sein.
(→ s.a. Kapitel 3.2.12)

- **Manometer**
Der Anzeigebereich des Manometers muß von der Nullmarke bis zu einem Wert reichen, der 20% über dem Nennbetriebsdruck der Druckluftflasche(n) liegt.
Die Skaleneinteilung oder die Skalierung darf 10 bar nicht überschreiten. Der Bereich unter 50 bar muß deutlich hervorgehoben sein.
Die Sichtscheibe muß aus einem Werkstoff sein, der bei Bruch nicht splittert.

Prüfung

Baugruppen müssen entweder einzeln oder als Teil eines vollständigen gebrauchsfertigen Leichttauchgerätes geprüft beurteilt werden.

In der Norm EN 250 werden sehr ausführlich die Prüfmittel und Prüfverfahren vorgegeben. Dazu gehören sowohl Laborprüfungen als auch praktische Leistungsprüfungen durch Versuchspersonen (Tauchgänge).

Kennzeichnung

Jede Baugruppe muß entsprechend den folgenden relevanten Einzelheiten gekennzeichnet sein:

- Bezeichnung des Herstellers durch Name, Firmenzeichen oder auf andere Art.
- Typ-identische Kennzeichnung.
- Nummer dieser Europäischen Norm.
- Druckminderer und Manometer müssen mit dem Nennbetriebsdruck gekennzeichnet sein.
- Bei Teilen, deren zuverlässige Leistung durch Alterung beeinträchtigt werden kann, muß das Fabrikationsjahr gekennzeichnet sein.
- Druckminderer und Lungenautomat müssen dauerhaft mit einer Fabrikationsnummer gekennzeichnet sein, aus welcher der Monat und das Jahr der Fertigung erkennbar sind.
- Atemregler, die nicht zum Einsatz in kaltem Wasser vorgesehen sind, müssen deutlich und dauerhaft mit " > 10°C " gekennzeichnet sein.

3.2. Druckluftflaschen [Pressluftflaschen] und Ventile

Die Druckluftflasche muß den zutreffenden nationalen oder europäischen Vorschriften entsprechen und für den Nennbetriebsdruck geprüft und zugelassen sein. Dies wird durch die CE-Kennzeichnung dokumentiert.

3.2.1. Flaschenmaterial: Stahl oder Aluminium-Legierung

Stahlflaschen, DIN 3171

[hochfeste zähe Stahllegierung]

Herstellung A: Tiefziehen aus der Blechrunde (seit > 50 Jahren)

In mehreren Arbeitsgängen aus runden Blechplatten (Ronden) auf 400 - t - Pressen zu einer oben offenen Hülse kalt tiefgezogen, Hülsenoberteil wird erwärmt und das glühende Material eingerollt.

Herstellung B: Fließpressen aus dem Vollprofil (seit Anfang 70er Jahre)

Aluminiumflaschen, DIN 3172

[seewasserfeste Aluminiumlegierung] (Aluminium-Mangan-Silizium-Magnesium-Legierung)

Herstellung im Kaltfließpressverfahren aus gegossenen und auf Länge geschnittenen Alustücken mit hydraulischen 3500 - t - Pressen. Oberer Raum der Aluhülsen wird induktiv erwärmt (zum Glühen gebracht) und in eine erwärmte Form gepreßt.

Flaschen aus glasfaserverstärktem Verbundwerkstoff

GFK-Verbundflaschen sind zugelassen. Sie bestehen aus einem dünnwandigen Innenbehälter aus Aluminium, der mit epoxydharzgetränktem Glasseidenfäden umwickelt ist. Ihr Mindestberstdruck beträgt 1350 bar.

Problem: Der Taucher benötigt mehr Bleigewicht.

**Druckluftflaschen müssen der BetrSichV
und der Druckgeräteverordnung (14. GSGV) entsprechen und
für einen Nennfülldruck von mindestens 200 bar zugelassen sein.**

Typische Werte:

Fülldruck	200 bar	Neue 200 bar Flaschen	232 bar	300 bar
Prüfdruck	300 bar	3 00 bar	3 48 bar	450 bar
Mindest-Berstdruck	450 bar	480 bar		675 bar

(von Stufe zu Stufe jeweils **Faktor 1.5 bzw. 1.6**)

Der tatsächliche Berstdruck neuer 200 bar - Flaschen ist > 500 bar!

Druckangaben in USA in psi (pound force square inch): 1 bar = 14.504 psi

3.2.2. Gasflaschen und deren Kennzeichnung

Die europäische Norm **DIN EN 1089** "Ortsbewegliche Gasflaschen; Gasflaschen-Kennzeichnung" regelt die Kennzeichnung von Gasflaschen. Sie wurde im Juli 1997 veröffentlicht und am 1.9.97 angenommen. In Deutschland wird seit dem 1.1.1998 nach dieser Norm verfahren. Für die alte Kennzeichnungsvorschriften gilt bis zum 1. Juli 2006 eine Übergangsfrist.

Damit es in der Übergangszeit zu keinen Verwechslungen kommt, werden alle Gasflaschen mit Farbcodierung nach neuer Norm mit dem Buchstaben "N" zweimal auf der Schulter kenntlich gemacht (diametral versetzt).

Die Norm besteht aus den drei Teilen:

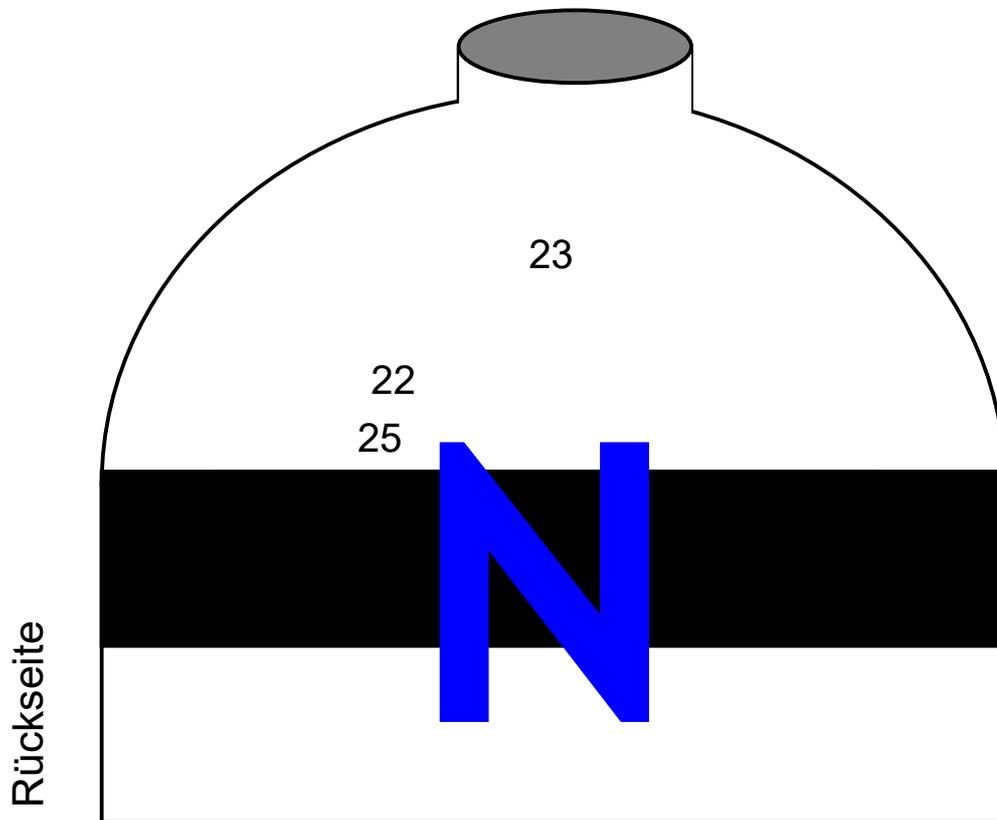
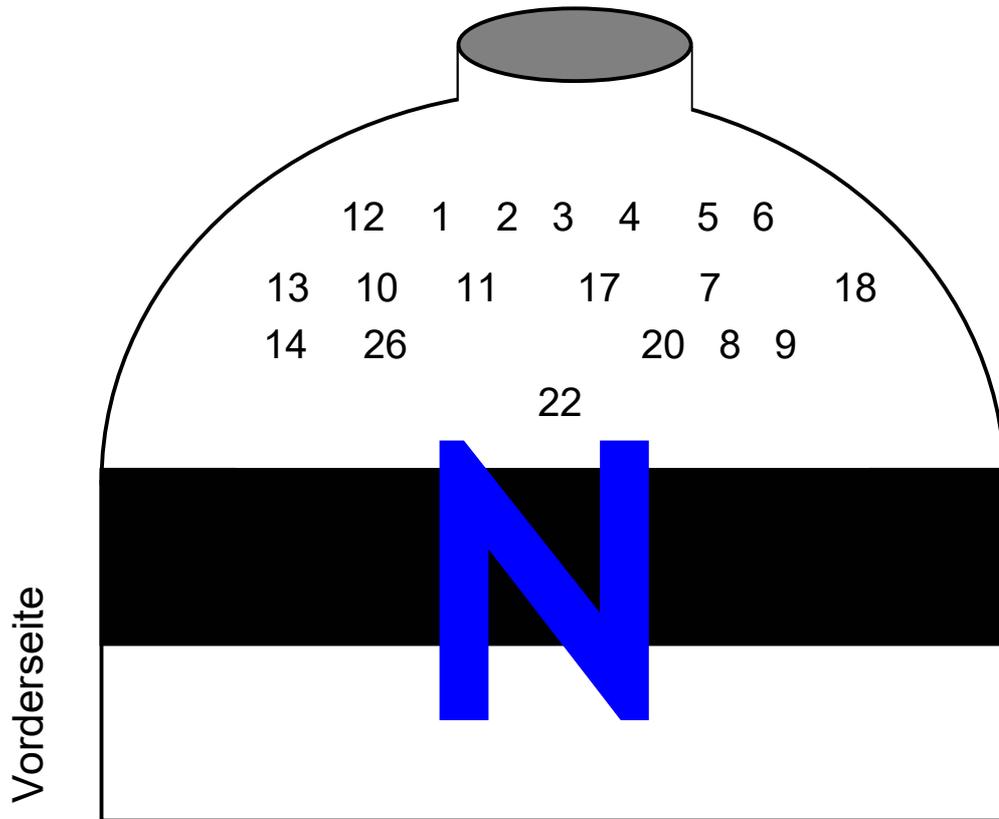
- DIN EN 1089-1: **Stempelung**
- DIN EN 1089-2: **Gefahrzettel**
- DIN EN 1089-3: **Farbkodierung**

Mit der Umstellung wurde aber bereits am 1. Januar 1998 begonnen.

Stempelung

Die verbindliche dauerhafte Stempelung erfolgt an der Flaschenschulter. Es wird dabei zwischen der Herstellerstempelung (1-14) und der Betriebsstempelung (15-26) unterschieden.

Lage der Stempelung an der Faschenschulter nach DIN EN 1089-1



Herstellerstempelung:

- 1 Norm (z. B. **EN 144**)
- 2 Herkunftsland (z. B. **D** = Deutschland)
- 3 Herstellerkennzeichen (Name und/oder Warenzeichen, z. B. **Draeger**)
- 4 Herstellungsnummer
- 5 Stempel für die zerstörungsfreie Prüfung der Flasche (z. B. **UT** = Ultraschall)
- 6 Kennzeichnung der Kompatibilität mit Stahl
- 7 Prüfdruck (z. B. **PT332 bar** oder **PH 332 bar**)
- 8 **CE – Kennzeichnung** (Überprüfungsstempel)
- 9 Prüfdatum Jahr (JJ) und Monat (MM) der Herstellungsprüfung
- 10 **Leergewicht** (z. B. **11 kg**), ohne Ventil, Ventilschutzkappe und ohne Anstrich)
- 11 **Fassungsraum** (= Volumen, z. B. **10l**)
- 12 Kennzeichnung des Flaschengewindes
- 13 Garantierte Mindestwanddicke in mm (z. B. **5,8**)
- 14 Kennzeichnung der Aluminiumlegierung, falls erforderlich, davor das Präfix **AA**

Betriebsstempelung:

- 15 *Identität der porösen Massen*
- 16 *Erkennung des Inhalts*
- 17 Arbeitsdruck (= **Höchster Flaschendruck in bar bei 15° C**)
- 18 Maximal zulässiges Füllgewicht
- 19 *Gesamtgewicht*
- 20 *Tara-Gewicht*
- 21 *Kennzeichnung von Lösungsmitteln für Acetylenflaschen*
- 22 **Prüfstempel und Prüfdatum der wiederkehrenden Prüfung**
- 23 Raum für zusätzliche Stempel oder Aufkleber
- 24 *Prüfstempel der die korrekte Massenbestimmung bestätigt*
- 25 Lebensdauer für Flaschen aus Verbundwerkstoff; NLL = unbegrenzte Lebensdauer, FIN = begrenzte Lebensdauer mit Angabe von Jahr und Monat
- 26 Unterwassergebrauch von Flaschen aus Verbundwerkstoff = **UW**

Veraltete Kennzeichnung auf Druckluftflaschen

Vor Inkrafttreten der DIN EN 1089 wurde die Kennzeichnung von Druckluftbehältern (Druckluftflaschen) durch die „Technischen Regeln Druckgase (TRG)“ festgelegt:

Dauerhafte Kennzeichnung an geschützter Stelle (zwingend vorgeschrieben, soweit hier nicht anders angegeben):

- Behälterdaten (Hersteller):
 - o Festigkeitskennwert K
 - o Kennbuchstabe der Wärmebehandlung (*V= vergütet*)
 - o Fassungsraum (= *Inhalt*, z. B. *12 Liter*)
 - o Prüfüberdruck (z. B. *300 bar*)
 - o Leergewicht (z. B. *10,40 kg*)
 - o Bauartzulassungszeichen (z. B. *01D49*)
 - o Herstellungsnummer (*Fabrikations-Nummer*)
 - o Prüfzeichen des Sachverständigen
 - o Name oder Firmenzeichen des Herstellerwerkes (Angabe freigestellt)
 - o Kennbuchstabe für das Land des Herstellerwerkes (Angabe freigestellt)

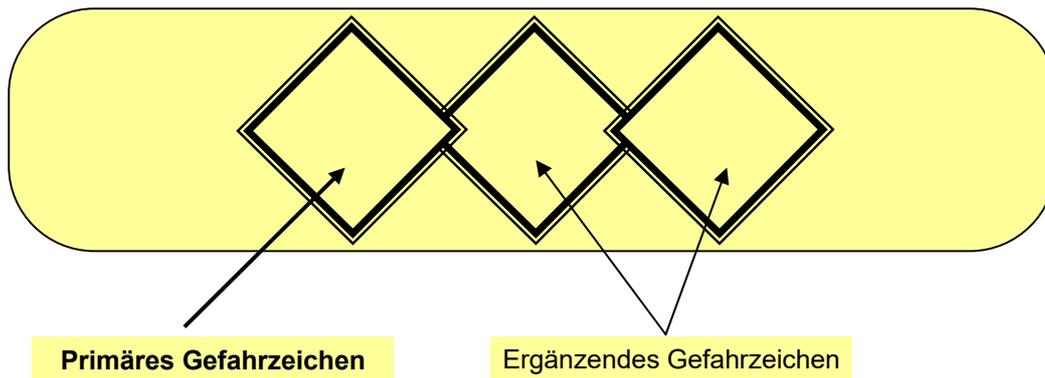
- Betriebsfertiges Herrichten:
 - o Bezeichnung des Druckgases, eine der folgenden Angaben: :
 - o DRUCKLUFT-TG
 - o PRESSLUFT-TG
 - o DRUCKLUFT FÜR TAUCHGERÄTE
 - o PRESSLUFT FÜR TAUCHGERÄTE
 - o Höchstzulässiger Überdruck der Füllung (bei 15°C) (= *Fülldruck*) in bar
 - o Erstes Prüfdatum (z. B. *3.94*)
 - o Prüfzeichen des Sachverständigen
 - o Datum (Monat/Jahr) oder Jahr des 1.wiederkehrenden Prüfens
 - o Name oder Firmenzeichen des Eigentümers (Angabe freigestellt)
 - o Eigentumsnummer (Angabe freigestellt)

- Wiederkehrendes Prüfen:
 - o Prüfzeichen des Sachverständigen
 - o Datum (Monat/Jahr) oder Jahr des nächsten Prüfens

Gefahrzettel

Der Gefahrzettel (Aufkleber) besteht aus zwei Teilen:

- Gefahrgutzeichen (bis zu drei auf die Spitze gestellte Quadrate) entsprechend dem Klassifizierungssystem für gefährliche Güter (festgelegt durch die Vereinten Nationen [UN])
- Feld mit Kennzeichnung des Gases (z. B. Name des Gases chemisches Zeichen, Anweisungen für den Transport, die Lagerung, den Gebrauch, usw.)



Beispiel:



Kennzeichnung

Die Farbcodierung hat in erster Linie den Sinn, die Gefahr, die in Verbindung mit dem Inhalt einer Gasflasche steht, so kenntlich zu machen, daß diese schon von Weitem erkennbar ist. Die Kennzeichnungen müssen auf den Flaschenschultern angebracht werden.

Die Farblackierung stellt nur eine zusätzliche Markierung des Flascheninhaltes dar um in Notsituation die Hilfskräfte auf Gefahren hinzuweisen. Maßgebend für die Füllung ist aber stets die verbindliche Beschriftung nach dem Gefahrgutrecht (ADR und GGVSE), d.h. die entsprechende UN-Nummer mit Kennzeichnung (siehe hierzu Kapitel 3.2.3).

Farbkennzeichnung nach DIN EN 1089-3

Alle Flaschen mit **Atemgasen** (Luft (Atemluft), Sauerstoff) erhalten im zylindrischen Teil einen **weißen Anstrich**.

Luft (Atemluft) wird zusätzlich mit einem **schwarzen Ring** gekennzeichnet, während eine Flasche mit 100% Sauerstoff komplett weiß bleibt.

Alternativ (aber in Deutschland nur bei der Feuerwehr üblich)

Flaschenschulter: Weiß/Schwarz als **Segmentkennzeichnung** (4 Segmente: je 2 gleiche gegenüberliegend); vorzugsweise: reinweiß RAL9010 tiefschwarz RAL 9005

In der Übergangszeit bis 1.7.2006 erfolgt eine zusätzliche Kennzeichnung mit dem Buchstaben "**N**".



Druckluft (Atemluft)

Im zylindrischen Teil ein weißer Anstrich.

Zusätzlich ein schwarzer Farbring in Schulternähe

Farbkennzeichnung nach alter Festlegung

(Deutscher Druckgasausschuss zur Gefahrenkennzeichnung von Druckgasbehältern, Beschluß 13-78):

Flaschenschulter oder ein mindestens 5 cm breiter Farbring in der vorgeschriebenen Farbe

Druckluft: grau

Sauerstoff: blau

Farbe der übrigen Wandung

Druckluft: gelb (signalgelb)

Sauerstoff: blau (signalblau)

Alle Flasche für Gase zur Inhalation (Atemgase) und für medizinische Anwendungen haben im zylindrischen Teil einen weißen Anstrich. Im Unterschied dazu erhalten Gasflaschen für den industriellen Einsatz einen farbigen Anstrich.



3.2.3. Transport von Gasflaschen: GGVS (Gefahrgutverordnung Straße) und ADR

Die GGVS (Gefahrgutverordnung Straße) regelt den Transport gefährlicher Güter innerhalb der Bundesrepublik Deutschland. Zu diesen **gefährlichen Gütern** gehören (Gefahrenklasse 2) verdichtete, verflüssigte oder unter Druck stehende Gase. Geregelt ist u.a. die Kennzeichnung der Gasflaschen, ihr Transport und die Sicherheitsanforderungen. Seit 1.1.1997 gilt in allen Staaten der EU das "**Europäische Übereinkommen über die Internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)**". Es muss daher von allen Tauchern im grenzüberschreitenden Verkehr beachtet werden. Betroffen sind Druckgasbehälter (Druckluft-, Sauerstoff- und Nitroxflaschen, Rettungswesten und Signalpatronen). Verstöße gegen die GGVS bzw. die ADR werden mit Bußgeld geahndet (bei Druckluftflaschen: 100 bis 200 €).

Beim Transport von Gasflaschen (unter normalen Beförderungsbedingungen) ist grundsätzlich ein Freiwerden des Inhaltes zu verhindern. Dies kann bei Druckluftflaschen (Tauchflaschen) dadurch erreicht werden, dass eine **Verschlusschraube am Seitenstutzen** des Flaschenventils so fest eingeschraubt wird, dass bei einem ungewollten Öffnen des Flaschenventils (z. B. durch Transporterschütterungen) kein Gas abströmen kann. Alternativ kann auch ein Atemregler montiert werden.



Die **verbindliche Beschriftung nach dem Gefahrgutrecht** (ADR und GGVSE), d.h. die entsprechende **UN-Nummer** mit Kennzeichnung, sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

	Behördliche Bezeichnung	UN- Nummer	Gefahrklasse	Gefahrzettel / -Nr. (Gefahrzeichen)
Atemluft (enthält max. 23,5 % O ₂)	Luft, verdichtet (Druckluft)	1002	2	2.2 
Sauerstoff	Sauerstoff, verdichtet	1072	2	2.2 und 5.1  
Nitrox	Verdichtetes Gas, oxidierend N.A.G.* (Nitrox)	3156	2	2.2 und 5.1  
Rettungswesten	Rettungsmittel, selbstaufblasend	2990	9	9 
Rettungswesten	Rettungsmittel, nicht selbstauf- blasend	3072	9	9 
Signalpatronen	Patronen, Signal	0054	1	1.3G über der Ziffer 1 

* N.A.G. = nicht anderweitig genannt

Gefahrgutklasse	Unterklasse	
1		Explosive Stoffe und Gegenstände mit Explosivstoff
	1.3 G	Nicht massenexplosionsfähige Stoffe, die jedoch eine Feueregefahr und geringe Gefahr durch Luftdruck oder durch Splitter-, Spreng- und Wurfstücke aufweisen
2		Gase
	2.2	Nicht entzündbare, nicht giftige Gase
5.1		Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe und organische Peroxide
	5.1	Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe
9		Sonstige gefährliche Stoffe und Gegenstände

Signalpatronen

Wenn Aufschrift und Gefahrzeichen nicht am Gerät angebracht werden können, gehören beide Kennzeichnungen auf ein Täfelchen, das am Signalmittel befestigt wird.

Rettungswesten und Jackets

Im verpackten Zustand, wenn die Geräte nicht schnell identifiziert werden können, ist die Verpackung entsprechend zu beschriften.

Ladungssicherung

Entsprechend der Straßenverkehrsordnung müssen alle Verkehrsteilnehmer **ihre Ladung verkehrssicher** verstauen. **Druckluftflaschen sind gegen Fortrollen bzw. Umfallen zuverlässig zu sichern.** Sie sind quer zur Fahrtrichtung zu laden.

Flaschenventile sind beim Transport wirksam gegen Beschädigungen (z. B. aufgrund eines Sturzes) zu schützen. Zum Erreichen dieses Zieles sind verschiedene Massnahmen möglich. Dazu gehören u. a. Schutzkappen, Schutzkragen und/oder Schutzkisten (mit entsprechenden Aufklebern). Schutzkappen/-kragen sind mit Löchern zu versehen, um ein Entweichen des Gases bei Undichtigkeit zu ermöglichen.



Ausnahmen

Für Forschungstaucher, Rettungstaucher, „Privattaucher“, Berufstaucher, Sporttaucher, Tauchvereine und gewerbliche Tauchschulen gelten teilweise Ausnahmeregelungen bzw. die Vorschriften des ADR sind nach derzeitiger Rechtsprechung nicht anzuwenden. Beispielsweise ist die Verwendung von Ventilschutzkappen und das Anbringen von Gefahretiketten und entsprechenden Kennzeichnungen bzw. Lackierungen für „Privattaucher“ nicht mehr notwendig.

3.2.4. Wiederkehrende Prüfung: Betriebssicherheitsverordnung [BetrSichV]

Alle Druckbehälter über 0,22 l sind regelmäßig (wiederkehrende Prüfung) durch einen Sachverständigen zu überprüfen.

Durch die Betriebssicherheitsverordnung wurden neue Regeln für Arbeitsmittel und überwachungsbedürftige Anlagen festgelegt. Zukünftig hat der Betreiber die Prüffristen aufgrund einer sicherheitstechnischen Bewertung selbst zu ermitteln. Hersteller und zugelassene Überwachungsstellen können kürzere Fristen festlegen. Die neuen Höchstfristen dürfen dabei aber nicht überschritten werden (siehe Weiteres im Folgenden).

Wiederkehrende Prüfungen nach § 15 BetrSichV

von Atemschutzgeräten, die als Tauchgeräte für Arbeits- und Rettungszwecke verwendet werden, durch eine zugelassene Überwachungsstelle (ZÜS) (z. B. "TÜV")

Höchstfristen:

- **Festigkeitsprüfung (F)** **spätestens alle 5 Jahre**
- **äußere Prüfung, innere Prüfung und Gewichtsprüfung (i)** **alle 2,5 Jahre**

Unter einer Festigkeitsprüfung ist eine Wasser-Druckprüfung zu verstehen.



Abb.: **F**- Festigkeitsprüfung
Geprüft 10.2004
Nächste Prüfung: 4.2007

Für alle **derzeit** im Markt befindlichen Tauchgeräte (Inbetriebnahme vor dem 01.01.2003) (Stahl-, Alu-, CFK-TG) gibt es derzeit unterschiedliche Interpretationen.

Teilweise wird weiterhin von einer **2 Jahres-Prüffrist** ausgegangen.

(Speicherflasche (Druckbehälter),
kein "TG": 10 Jahre)

Bauartzulassung

Flaschen, Ventile, Tauchgeräte, Jackets werden innerhalb der EG nach bestehenden EG-Normen geprüft und erhalten nach Zulassung das CE-Zeichen.

Für neue Flaschen gilt jetzt:

Druckgasflaschen mit Ventil erhalten eine Bauartzulassung mit CE-Zeichen. Sie sind eine Baugruppe entsprechend der DIN EN 250. Tauchflasche und Ventil bekommen somit eine gemeinsame Zulassung und sind auch so gekennzeichnet. Darauf ist beim Kauf zukünftig deutlich zu achten. Die Bauartzulassung erlischt beim Einschrauben eines anderen Ventils!

Bei Reparaturen dürfen nur noch Originalersatzteile (mit Herstellerkennzeichnung) verwendet werden.

Beim Kauf von Druckluftflaschen im Ausland und beim Kauf älterer, gebrauchter Geräte ist auf die Bauartzulassung zu achten.

In älteren deutschen Tauchgeräten ist die Bauartzulassung eingestempelt, z. B.:

11D25 82D27 85D23

(Dabei bedeuten die ersten beiden Ziffern :

11: Schleswig-Holstein, 82: RegBez. Arnsberg 85: RegBez Köln,

und der Buchstabe **D**: gefertigt in Deutschland (*Autokennzeichen*)

und die letzten beiden Ziffern eine lfd. Nr.).

Die Bauartprüfung erfolgte für Ventile durch die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin und für Druckgasbehälter durch den TÜV.

Durch die neuen EG-Richtlinien sind bezüglich der Bauartzulassung Änderungen eingetreten!

Hinweis:

💣 Explosionsgefahr!

Werden Tauchflaschen auf **> 177 °C** erwärmt, z. B. bei neuer Lackierung, ermüdet das Material und die Flasche kann beim nächsten Füllen **explodieren!**

3.2.5. Arbeitsschritte bei der „Wiederkehrenden Prüfung“

Folgende Arbeitsschritte werden bei der Prüfung von Druckluftflaschen (*Kosten: etwa 25 € (ggf. zzgl. Innenreinigung (Sandstrahlen))*) durchgeführt:

1. Demontage (Tragschale, Standfuß, Ventil)
(Tragschale und Standfuß am besten selber abbauen)
2. Kontrolle: Prüfnummer, Kennzeichnungen
3. Innenkontrolle: Rost, Lochfraß, evtl. Wanddickenmessung
4. Wiegen *(max. 3% Abweichung vom eingeschlagenen Nettogewicht zulässig)*
5. Druckprobe mit Wasserfüllung: $1,5 \times$ Fülldruck
6. Klangprobe
7. Flasche leeren und trocknen
8. neuer TÜV-Stempel
9. Montage (Tragschale, Standfuß, Ventil)

3.2.6 Korrosion an Druckluftflaschen

Stahlflaschen und Aluminiumflaschen sind **durch Rost und Korrosion gefährdet!**

Schutzmaßnahmen bei Aluminium:

Reines Aluminium überzieht sich mit einer harten und elektrisch isolierenden Schutzschicht.

Schutzmaßnahmen bei Stahl:

außen: flamspritzverzinkt und nachfolgend einfache Lackschicht

innen: Innenauskleidung ist in Deutschland nicht zulässig

wg. a. *Unterrostung bei Lack und Kunststoffen*

b. *echte Überzüge (z. B. Zink) können mit O_2 unter erhöhtem Druck reagieren und dann giftige Stoffe freisetzen!*

Flamspritz-Verzinkung:

Zink wird in einem speziellen Brenner verflüssigt und unter Druck auf das vorher durch Sandstrahlen gereinigte Eisen aufgespritzt.

Elektrochemische Spannungsreihe

Gold	1.50
Platin	0.86
Silber	0.80
Kupfer	0.34
Wasserstoff	0.
Blei	-0.13
Zinn	-0.14
Nickel	-0.23
Stahl V4A	-0.23
Eisen	-0.44
Zink	-0.76
Aluminium	-1.67
Magnesium	-2.40



Wird Grundmaterial (z.B. Eisen) mit unedlerem Material (z.B. Zink) überzogen, entsteht bei Anwesenheit eines Elektrolyten (z.B. Seewasser) ein Element, das das unedlere Material zerstört. (Beispiel: Eisen wird geschützt, Zink zerfällt in weißes Pulver.) Die Zerstörung ist um so größer, je entfernter die Materialien in der elektrochemischen Spannungsreihe voneinander entfernt sind.

Bei **Aluminium-Tauchflaschen** besteht eine erhöhte Korrosionsgefahr an der Kontaktstelle zwischen der Flaschenwandung (wenig edles Aluminium) und den Edelstahlschellen (z.B. Nickel) der Flaschenhalterung sowie zwischen dem Flaschenventil und der Flasche. Die Spannungsdifferenz zwischen Aluminium und Nickel in Seewasser beträgt deutlich mehr als 1 Volt. Durch eine geeignete Isolierung (z. B. Gummi, Teflonband o.ä.) wird der Stromfluss verhindert.

3.2.7. Vergleich: Aluminiumflaschen ↔ Stahlflaschen

Beispiel

	Stahl	Aluminium	Vergleich
Höhe	540 mm	670 mm	+24 %
Durchmesser	175 mm	175 mm	
Gewicht	10,25 kg	12,5 kg	+22 %
Volumen	ca. 11,7 l	ca. 15,1 l	+28 %
Auftrieb ohne Ventil	1,45 kg	2,6 kg	+1,15 kg (80 %)

Nachteile: Aluminium-Flaschen sind größer als Stahlflaschen (gleichen Innenvolumens)
→ man braucht mehr Blei.

Über Wasser schwerer → man braucht mehr Kraft.

Stärkere Korrosionsgefahr am Ventilgewinde,
Gegenmaßnahme: Isolierung mit Teflonband.

Lacknachbesserung durch Einbrennlackierung nicht möglich.

💣* **Explosionsgefahr!**

Aluminium ist weicher als Stahl und verschrammt daher leichter.

Vorteile: In Verbindung mit Salzwasser weniger rostanfällig (= höhere Korrosionsbeständigkeit, selbsthemmend) als Stahlflaschen.

Weniger anfällig durch mechanische Beschädigungen.

Kein extra Standfuß notwendig, da der Flaschenboden flach ist.

Tauchbasen in Urlaubsgebieten benutzen bevorzugt Aluminiumflaschen, da sie im Hinblick auf die Korrosionsanfälligkeit etwas sicherer sind. In Deutschland haben sie nur einen geringen Marktanteil.

Bei vollständiger Entleerung einer Westennotflasche ist die Gefahr des Eindringens von Wasser sehr groß. Deshalb sollten Westennotflaschen generell aus Aluminium sein, da bei diesem Material die Korrosionsgefahr geringer ist.

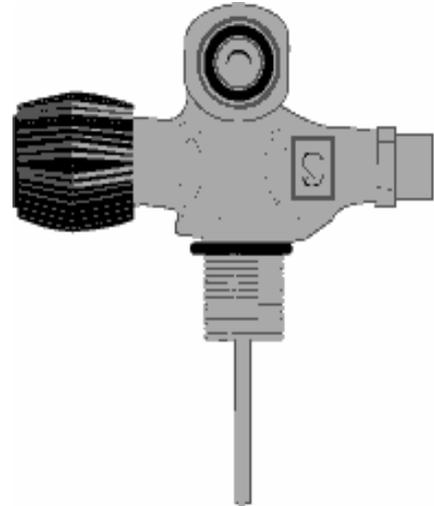
3.2.8. Flaschenventil(e)

Flaschenventile sind die **Absperreinrichtung** der Druckluftflaschen (**Druckgasbehälter**). Die Flaschenventile müssen den zutreffenden nationalen oder europäischen Vorschriften entsprechen und für den Nennbetriebsdruck geprüft und zugelassen sein. Die Ventildgewinde müssen der EN 144-1 entsprechen. Die bevorzugten Ausführungen sind M 18 × 1,5 und M 25 × 2.



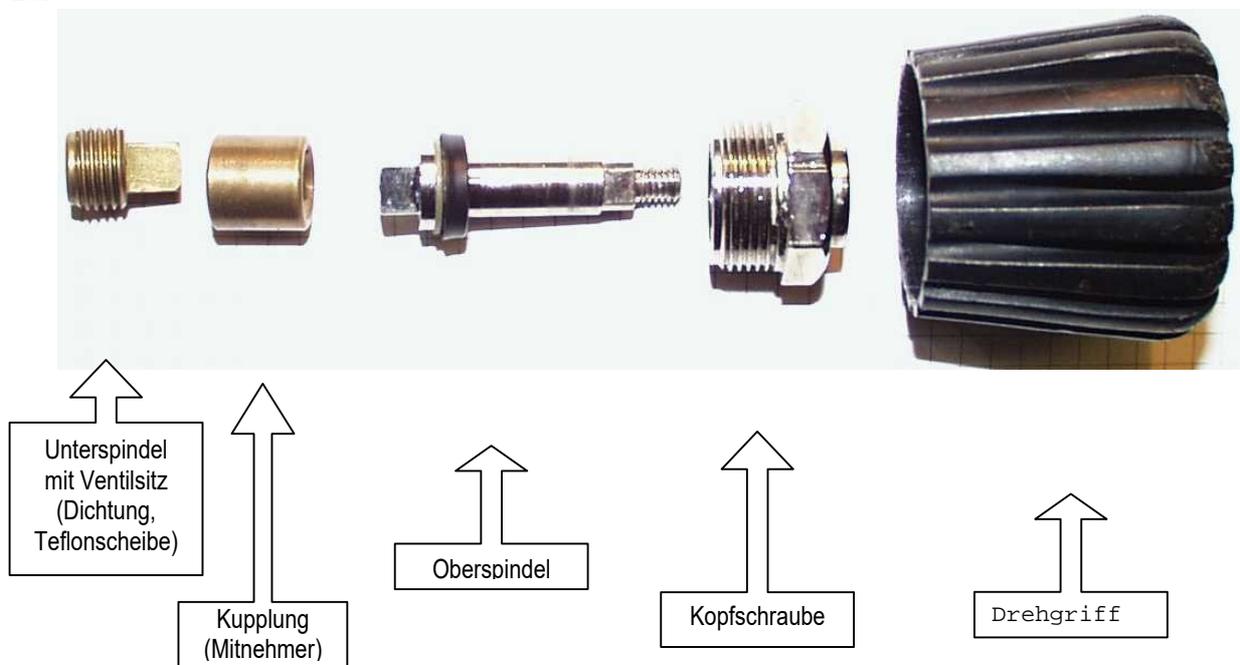
Der Ventilkörper wird aus Messinglegierungen hergestellt, deren Härte je nach Hersteller unterschiedlich sein kann.

Dräger Doppelventil
(Zwei Abgänge)



3.2.8.1. Funktion

Bei der Mehrzahl der Flaschenventile wird durch Drehen eines Handrades eine Dichtung (Teflonscheibe) auf den Ventilsitz des Flaschenventilkörpers aufgedrückt. Die DIN EN 250 verlangt dazu, daß mindestens zwei Umdrehungen zwischen der vollen Offen-Stellung bis zur



vollen Geschlossen-Stellung notwendig sind. Die Drehbewegung des Handrades wird über eine Oberspindel durch eine Kupplung (Mitnehmer) in eine auf- bzw. abwärts gerichtete Bewegung der Unterspindel übertragen.

Rechtsdrehung schließt das Ventil. Wird das Flaschenventil unnötig kräftig zgedreht, kommt es zu einem schnellen Verschleiß der Dichtung. Dies ist deshalb zu vermeiden.

Linksdrehung öffnet das Ventil. Die Drehung erfolgt ohne großen Kraftaufwand bis sich ein Widerstand (Anschlag) fühlen läßt. Anschließend erfolgt eine viertel bis halbe Umdrehung zurück (Rechtsdrehung). Durch die halbe Rückdrehung wird vermieden, daß sich das Ventil am Anschlag befindet und dort durch Stöße oder thermische Spannungen beschädigt wird.

Von der italienischen Firma Scubapro wird ein bauartzugelassenes Flaschenventil mit **Kugelventil** (Kugelhahn) angeboten. Die Dichtung erfolgt durch eine in einer Teflonschale eingelagerte durchbohrte Edelstahlkugel. Das Ventil ist geschlossen, wenn die Kugelöffnung quer zur Gasströmungsrichtung liegt. Durch eine **¼ Drehung des Handgriffs** (Kugel wird dadurch um 90° gedreht) erfolgt der **Wechsel zwischen den Stellungen OFF / ON**. Der Vorteil dieses Ventils liegt im geringeren Verschleiß der Dichtung und in der Anzeige des Schließzustandes. Nachteilig ist der beim Öffnen schlagartig einsetzende Gasstrom.



Grundsätzlich empfehlenswert sind Flaschenventile mit zwei separaten, einzeln absperrbaren Abgängen. Damit wird der gleichzeitige Betrieb von zwei von einander unabhängigen Atemreglern ermöglicht. Bei Ausfall eines Atemreglers durch Vereisung und resultierendem unkontrollierten Abströmen des Luftvorrates kann durch Schließen des jeweiligen Ventils der unnötige Luftverbrauch unterbunden werden.

Flaschenventile können mit einer **Reserveschaltung (Reserveventil)** ausgerüstet sein, die den Taucher beim Erreichen eines Flaschendruckes ≥ 50 bar durch einen deutlichen Einatemwiderstand auf das zu Ende gehen des Atemluftvorrates hinweist.

Das Reserveventil muß vor dem Tauchgang entweder manuell oder automatisch funktionsbereit gemacht werden. Hierauf hat der Signalmann bzw. der Tauchpartner außerordentlich zu achten und direkt vor dem Abstieg noch einmal zu kontrollieren. Die Schalteinrichtung darf keine unbeabsichtigte oder zufällige Betätigung erlauben (z. B. bei Berührung/Kontakt mit Unterwasserhindernissen).

Ein automatisches Reserveventil muß während des Füllens automatisch bei einem Flaschendruck von nicht mehr als 150 bar auf Funktionsbereitschaft geschaltet werden und geöffnet bleiben, wenn es bei einem Flaschendruck unter 80 bar betätigt wurde.

3.2.9 Einschraubgewinde

Bezeichnung	Dichtungsart	Anzugsmoment
Zylindrisches Gewinde (groß) M 25 × 2 DIN EN 144-1 Druckluftflaschen für Leichttauchgeräte	O-Ring 25 × 3,55 (25 × 2,55)	100 Nm (Alu, Stahl)
Zylindrisches Gewinde (klein) M 18 × 1,5 DIN EN 144-1 Druckluftflaschen für Rettungs- und Tarierwesten	O-Ring 18 × 2,65	100 Nm (Stahl) 70 Nm (Alu) A.P.Valves: 40 Nm
Kleinkonisch Kegel 3:25 DIN 477 W 19,8 * 1/4 keg Tiefe 21 mm	Nicht mehr normgerecht! Teflonband	100 Nm (Stahl) 95 Nm (Alu)
Großkonisch Kegel 3:25 DIN 477 W 28,8 * 1/14 keg Tiefe 26 mm	Nicht mehr normgerecht! Teflonband	200 Nm (Stahl) 110 Nm (Alu)
Grundsätzlich gelten die Bedienungs-/Wartungsangaben der Hersteller!		

Teflondichtung mehrmals um das Gewinde wickeln.

Wickelrichtung so, daß sich die Dichtung zusätzlich beim Einschrauben festzieht.

Dichtung als Kontaktkorrosionsschutz oben überstehen lassen.

Wichtige Hinweise:

- ① Nach DIN EN 144-1:1991 sind die Schraubverbindungen zwischen Ventil und Druckgasflasche genormt. Dadurch wurde die Norm DIN 477-6:1983 teilweise ersetzt. In beiden Normen ist das in obiger Tabelle genannte zylindrisches Gewinde (groß) M 25 × 2 enthalten. Zwischen beiden Normen gibt es gravierende Unterschiede in der Kontur des Dichtungsbereiches zwischen Flaschenhals und Ventileinschraubstutzengewinde. Derzeit befinden sich Druckgasflaschen beider Normen auf dem Markt. Ventile dürfen deshalb nur durch Fachleute montiert werden! Es besteht die Gefahr von Undichtigkeiten. Durch eine Querbohrung (Entlastungsbohrung) im Gewindeteil neuerer Ventile wird das Herausschleudern des Ventils verhindert.
- ② In England wurden bisher ähnliche Gewinde (R 3/4 ") verwendet. Beim Einbau von Ventilen nach DIN EN in diese Gewinde besteht die Gefahr, daß das Ventil ab etwa 150 bar herausgeschleudert wird!

Die DIN EN 250 läßt für die Verbindung Flaschenventil ↔ Atemregler folgende Anschlüsse zu:

- ISO 5145 " Cylinder valve outlets for gas mixtures – Selection and dimensioning": Der neue Vorschlag über "Allocation of cylinder valve outlets for gases for medical use" soll als separate Norm erscheinen.
- ISO 12209-1 Yoke type connections
(Bügelanschluß (INT), bis 232 bar)
- ISO 12209-2 Threaded connections
(Gewindeanschluss, etwa DIN 477-1)
[5/8“ Zoll Innengewinde am Flaschenventilabgang]
Anschluss 13 (Fülldruck bis 200 bar) (Einschraubtiefe 15 mm),
Anschluss 50 (Fülldruck bis 300 bar) (Einschraubtiefe 22 mm)
- ISO 12209-3 Adapter DIN → INT bis max. 230 bar



(Dem Autor liegen die genauen Bestimmungen zu den Anschlüssen leider noch nicht vor; deshalb vorerst als vorläufige Angaben einstufen!)

Anschlüsse nach ISO 12209-2 sind Stutzen mit Schraubgewinde (früher DIN 477). Diese sind die in Deutschland verwendeten Standardanschlüsse.

Die Anschlüsse nach ISO 12209-1 sind dagegen Bügelanschlüsse, auch als INT bezeichnet. Trotz der Abkürzungsbezeichnung INT handelt es sich dabei nicht um eine internationale Norm, sondern um eine Bezeichnung aus Gründen des Marketings. Weltweit gibt es derzeit etwa sieben unterschiedliche Bügelanschlüsse, man muß daher ggf. den jeweils richtigen Anschluß mitführen!

Zur Anpassung unterschiedlicher Gewinde gibt es passende Adapter (Zwischenstücke). Außerdem gibt es sogenannte Kombiventile die sowohl für DIN - als auch für INT-Anschlüsse ausgerüstet werden können.

3.2.11 Wasserschutzrohr und Sinterfilter

Die DIN EN 250 verlangt im Flascheninneren einen Schutz für das Ventil gegen das Mitreißen von Schmutz, festen Teilchen und Wasser aus dem Flascheninneren. Dies kann z. B. durch ein Schutzrohr mit mindestens 30 mm Länge und einem Innendurchmesser von mindestens 2,5 mm erreicht werden. Falls ein zusätzlicher Filter vorhanden ist, dann muß dieser eine Oberfläche von mindestens 900 mm² haben und zuverlässig mit dem Rohr verbunden sein. Dieser Filter ist nicht zwingend vorgeschrieben.

3.2.12 Sicherheitseinrichtungen

Die DIN EN 250 verlangt mindestens eine der folgenden Sicherheitseinrichtungen:

- **Manometer**
- **Reserveventil**
- **Aktive Warneinrichtung**

Wenn die vorhersehbaren **Einsatzbedingungen es erfordern** (z. B. schlechte Sicht, Strömung, Eis), muß das Leichttauchgerät entsprechend den Gefahren mit **einer oder mehreren** der oben aufgeführten **Sicherheitseinrichtungen zusätzlich** ausgestattet sein.

Die bisher übliche Bezeichnung "Finimeter" für Manometer sollte nicht mehr verwendet werden.

Die Sicherheitseinrichtung muß dem Taucher deutlich anzeigen, daß der verfügbare Luftvorrat zu Ende geht. Sie muß den Taucher spätestens dann informieren, wenn der Flaschendruck auf 50 bar gesunken ist. Bei Ausrüstung mit mehreren Flaschen muß dieser Druck **in allen Flaschen** vorhanden sein. Bei einem "**Doppelpaket**" (z. B. 2 x 7 l DTG) muß die Sicherheitseinrichtung, falls sie nur auf eine Flasche wirkt, deshalb bereits **bei 100 bar** ansprechen!

**Sicherheitseinrichtung muß wirksam werden,
wenn der Flaschendruck auf 50 bar gesunken ist!**

Bei mehreren Flaschen muss dieser Druck in allen Flaschen vorhanden sein!

Bei manuellen/automatischen Reserveschaltungen wird der Einatemwiderstand durch ein Absperrventil erhöht, wenn der Flaschendruck den Grenzwert erreicht.

Aktive Warneinrichtungen sind beispielsweise:

- Pneumatische Auftriebswarnung (Luft strömt in einen Auftriebskörper, z.B. in eine Rettungsweste).
- Pneumatische Akustikwarnung (Luftstrom erzeugt einen Warnton).
- Elektronische Warnung (z. B. via Tauchcomputer, opt. (+ akust.) Warnung).

Der Anzeigebereich des Manometers muß von der Nullmarke bis zu einem Wert reichen, der 20 % über dem Nennbetriebsdruck der Druckluftflasche(n) liegt. Die Skaleneinteilung oder die Skalierung darf 10 bar nicht überschreiten. Der Bereich unter 50 bar muß deutlich hervorgehoben sein.



Die Verbindung des Manometerschlauches am Druckminderer muß so gebaut sein, da sie bei einem anstehenden Druck von 100 bar nicht mehr als 100 l/min Luft durchläßt (Drosselboh-

rung). Die Sichtscheibe des Manometers muß aus einem Werkstoff sein, der bei Bruch nicht splittert.

Erst nach dem vollständigen Öffnen des Flaschenventils sollte der Taucher direkt auf die Anzeige des Manometers schauen. Andernfalls könnte es durch die erste Druckwelle bei einem defekten Manometer zu Verletzungen kommen, wenn beispielsweise die Sichtscheibe trotz der Normvorgaben zersplittert. Diese Gefahr besteht natürlich besonders bei älteren Modellen.

3.3. Atemregler

Ein Atemregler besteht aus:

- **Druckminderer**

Der Druckminderer reduziert den Hochdruck (*Druck in der (den) Druckluftflasche(n)*) unter Berücksichtigung des aktuellen Umgebungsdruckes (*Tauchtiefendruck*) auf den Mitteldruck (*Versorgungsdruck des Lungenautomaten*).

Der Mitteldruck (*Versorgungsdruck*) liegt geräteabhängig 4 bis 15 bar **über dem Umgebungsdruck** (*Tauchtiefendruck*), d.h. mit zunehmender Tauchtiefe nimmt auch der Mitteldruck zu. Im englischen Sprachgebrauch bezeichnet als "depth compensation".

- **Lungenautomat**

Die atemgesteuerte Dosiereinrichtung

- versorgt den Taucher mit einer ausreichenden Luftmenge.
- passt den Druck der Atemluft dem Umgebungsdruck an.
- führt die ausgeatmete Luft in das umgebende Wasser ab (*offenes System*).

**Der Atemregler
reduziert die hochkomprimierte Atemluft
auf den jeweiligen Umgebungsdruck.**

Der Atemregler ist der empfindlichste und für die Sicherheit wichtigster Teil der Taucherausrüstung! Seine Funktion ist gefährdet, wenn er nicht gut vor Verschmutzungen geschützt wird. Insbesondere ist darauf zu achten, dass er nicht auf dem Boden liegt oder über den Boden geschliffen wird. Dies gilt insbesondere bei Tauchereinsätzen in Freigewässern. Sandkörner und kleine Steine streben danach in die 2. Stufe zu gelangen, um dort ein ständiges Abblasen der Atemluft und/oder ein Eindringen von Wasser zu ermöglichen.

Bei niedrigen Wassertemperaturen (etwa unterhalb 6 °C) besteht bei vielen Atemreglern die **Gefahr des Einfrierens**. Durch geeignete Maßnahmen (z. B. mit Glycerin gefüllte Frostschutzkappen) und trockene Luft (entspr. DIN EN 12021) kann diese Gefährdung reduziert werden. Die entsprechenden Hinweise in den Gebrauchsanleitungen zu den Atemreglern sind zu beachten.

Atemregler sind nach jedem Einsatz mit Süßwasser zu spülen. Mindestens einmal jährlich soll der Atemregler zu einer autorisierten Servicestelle zur Wartung gegeben werden.

Bei den Atemreglern wird zwischen folgenden Merkmalen/Konstruktionen unterschieden:

- Einstufiger oder zweistufiger Atemregler
- Ein- oder Zweischlauchatemregler
- Ventile öffnen mit/gegen den Druck

- Kompensierter/nicht kompensierter Druckminderer
- Reduktion des Einatemwiderstandes durch Injektordüsen o. ä.

Konstruktionsmerkmale:

Die Ventile in dem Atemregler öffnen entweder

mit dem Druck

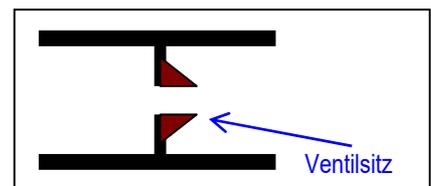
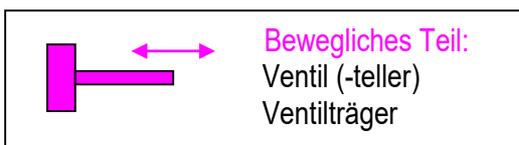
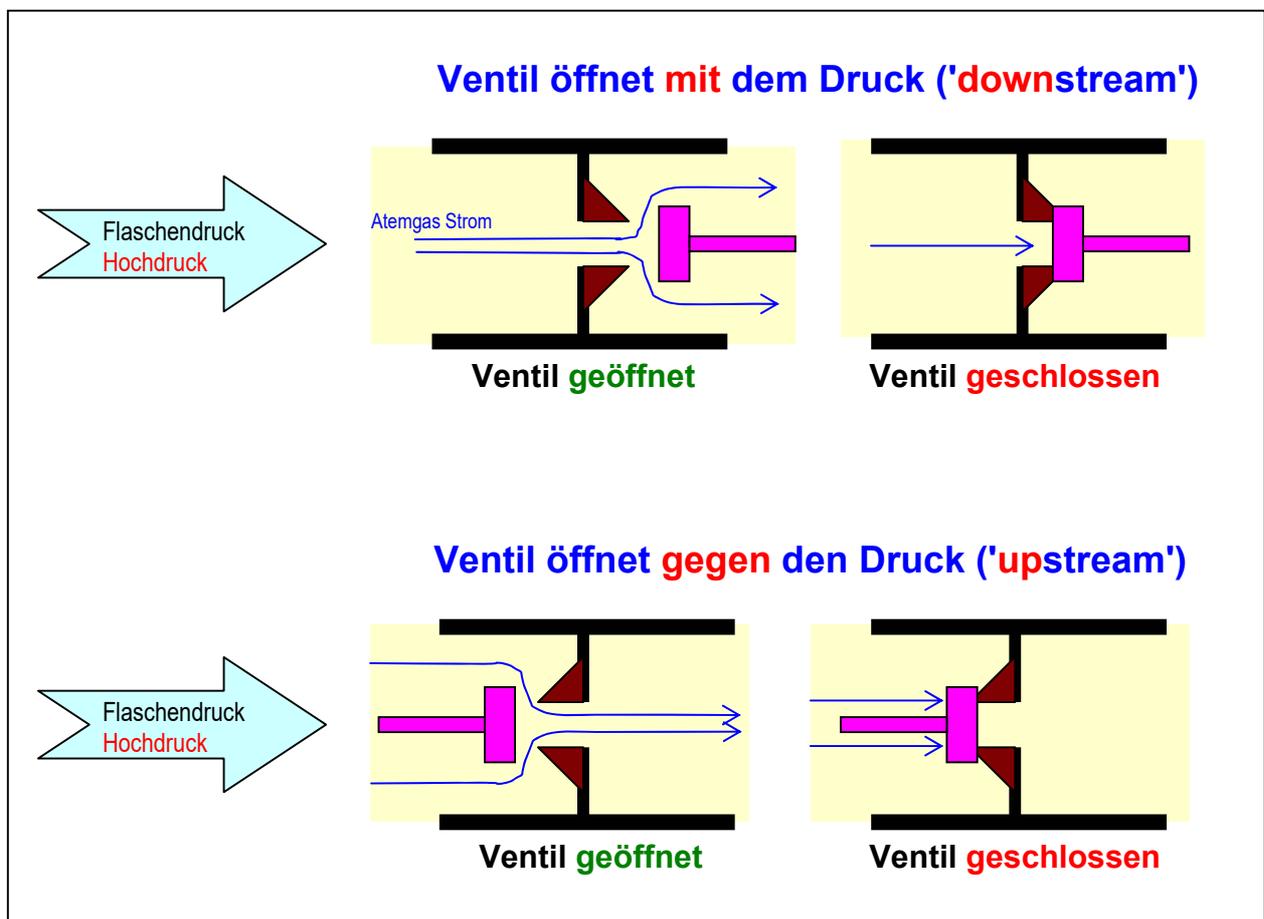
[Fachbegriff: "downstream" (stromabwärts)]

oder

gegen den Druck

[Fachbegriff: "upstream" (stromaufwärts)].

Ventilkonstruktionsmerkmale



Ventile, die **mit dem Druck** öffnen, dienen gleichzeitig als **Sicherheitsventil**.

Die Steuerung des Ventils, d.h. das Öffnen bzw. Schließen, erfolgt entweder über einen **Kolben** oder über eine **Membran**.

Bei einem **kompensierten** ("balancierten") **Druckminderer** ist die Funktion vom aktuellen Flaschendruck unabhängig. Bei nicht kompensierten ("nicht balancierten") Druckminderern, die gegen den Druck öffnen, steigt dagegen der Mitteldruck des Atemreglers bei fallendem Flaschendruck.

Bauartunterschiede bei zweistufigen Einschlauchatemreglern	
Druckminderer (1. Stufe)	
a)	membrangesteuert, öffnet gegen den Druck ('upstream'): Mitteldruck steigt, wenn Flaschendruck sinkt. (Ausnahme: POSEIDON Xstream)
b)	kolbengesteuert, öffnet (meist) mit dem Druck ('downstream'): Mitteldruck sinkt, wenn Flaschendruck sinkt.
c)	membrangesteuert, kompensiert: Mitteldruck konstant über Tauchtiefendruck
d)	kolbengesteuert, kompensiert: Mitteldruck konstant über Tauchtiefendruck
Lungenautomat (2. Stufe)	
a)	öffnet mit dem Druck (downstream)
b)	öffnet gegen den Druck (upstream) → 1. Stufe benötigt Sicherheitsventil!
a) b)	mit/ohne Injektorwirkung

Bei Lungenautomaten mit **Injektordüse** (z. B. Poseidon Cyklon 300/5000) tritt die Luft **nach Öffnen** des Ventils (Erreichen des Ansprechdrucks) mit hoher Geschwindigkeit aus der Düse und verursacht (bei entsprechender Einstellung) in der Luftkammer des Lungenautomaten einen relativ großen Unterdruck. Dieser Unterdruck bewirkt eine verstärkte Wölbung der Einatemmembran nach innen und dadurch eine vermehrte Luftzufuhr. Nach Einsetzen der Injektorwirkung sinkt der Atemwiderstand auf negative Werte, d.h. der Automat bläst ab.

In der DIN EN 250 wird der Begriff "**Kaltwassertauglichkeit**" für Atemregler definiert. Verlangt wird darin eine Prüfung in Frischwasser bei einer Wassertemperatur von (4-2) °C und 6 bar Druck (50 m Tiefe) für die Dauer von 5 Minuten. **In der Praxis muss aber grundsätzlich bei allen Automaten mit einer Vereisung in kaltem Wasser gerechnet werden.** Bei starker Luftlieferleistung (z. B. bei starker Arbeitsleistung) und/oder unzureichend getrockneter Druckluft erhöht sich die Vereisungswahrscheinlichkeit.

3.3.1 Atemregler der Firma POSEIDON (Schweden)



Bei wissenschaftlichen Taucherarbeiten und bei militärischen Einsätzen wird weltweit seit Jahrzehnten sehr häufig der Atemregler "Cyklon" der schwedischen Firma 'POSEIDON Industri AB' eingesetzt. Die Geräte haben sich jahrelang bewährt, ihre wesentlichen Konstruktionsmerkmale wurden nicht geändert. Im Jahre 1998 feierte diese Firma ihr 40-jähriges Bestehen. Die deutsche Vertretung (in Klausdorf bei Kiel) besteht seit 33 Jahren (1973). Im Internet zu finden unter: <http://www.poseidon-kiel.com/>.



Atemregler POSEIDON Cyklon 5000

Drei ähnliche Typen sind beim Druckminderer zu unterscheiden:

- Cyklon Super 300
- Cyklon 5000 alt (Druckminderer 2950)
- Cyklon 5000 (Druckminderer 3720)

Der Lungenautomat (2.Stufe) ist bei allen drei Typen gleich.

Vor einigen Jahren wurde ein völlig neues Modell mit der Bezeichnung XSTREAM von POSEIDON auf den Markt gebracht worden.



Atemregler POSEIDON Xstream Dive

3.3.1.1 Atemregler Cyklon 300 und Cyklon 5000

Der Druckminderer des Cyklon ist ein membrangesteuertes Reduzierungsventil, das den Flaschendruck (Primärdruck) auf einen Mitteldruck (Versorgungsdruck für den Lungenautomaten) von 10 bis 13 bar über dem Umgebungsdruck reduziert. Beim Cyklon 300 erhöht sich der Mitteldruck geringfügig mit abnehmendem Primärdruck (Druckabnahme durch den Luftverbrauch), während beim Cyklon 5000 diese Mitteldruckänderung durch eine Kompensation (Balancierung) des Ventils verhindert wird. Beim Tauchen in kaltem Wasser (< 6 °C) kann es im wassergefüllten äußeren Federgehäuse (Wasserkammer) durch die sich ausdehnende Primärluft und der resultierenden starken Abkühlung zu einer Eisbildung kommen, die die Funktion des Druckminderers behindert bzw. verhindert. In solchen Fällen muss eine POSEIDON Frostschutzkappe verwendet werden. Diese muss vollständig mit Alkohol oder einer Mischung aus Glycerin und Wasser zu gleichen Teilen gefüllt sein.

Je nach Baujahr verfügt der Cyklon in seinem **Druckminderer** über mehrere Mitteldruckabgänge und über bis zu zwei Hochdruckabgänge (Hochdruck = Primärdruck). Dabei ist besonders zu beachten, dass die älteren Typen Abgänge mit gleichem Gewinde G 1/8" sowohl für Hoch-



Druckminderer POSEIDON Cyklon 5000

druck (HP) als auch für Mitteldruck (LP) ausgerüstet sind. Beim Umsetzen von Schläuchen ist hier deshalb besondere Vorsicht geboten.

Bei neueren Geräten (insbesondere bei allen Cyklon 5000) gibt es folgende Gewinde:

Mitteldruck (LP): UNF 3/8"

Hochdruck (HP): UNF 7/16"

Das Gewinde UNF 3/8" ist ähnlich dem alten Gewinde G 1/8", so dass ein Einbau von Schläuchen mit dem jeweils anderem Gewinde mit geringen Kraftaufwand einmalig möglich ist. Dabei wird das Gewinde aber derart geschädigt, dass der Druckminderer beim nächsten Versuch des Schlauchumsetzens in der Regel als defekt aus dem Verkehr gezogen werden muss.

Der **Lungenautomat** (alte Bezeichnung: 2. Stufe), die sogenannte "atemgesteuerte Dosiereinrichtung", reduziert den vom Druckminderer geregelten Versorgungsdruck weiter auf den jeweiligen Umgebungsdruck (Wassertiefendruck). Um den Einatemwiderstand zu minimieren, ist der Cyklon mit einem Injektorsystem (Venturi-Effekt) ausgestattet. Nach Überwindung des Anfangseinatemwiderstandes wird durch die Injektorwirkung ein Unterdruck vor der Steuermembran erzeugt und das Ventil damit offen gehalten. Beim Ausatmen wird die Luft über eine separate Ausatemmembran seitlich abgeleitet, ohne die Sicht zu behindern. Durch die seitliche Anbringung von Ein- und Ausatemmembranen ist beim Cyklon die Wechselatmung gegenüber Atemreglern mit Luftableitung nach unten deutlich einfacher.



Lungenautomat POSEIDON Cyklon

Technische Daten:

Cyklon 5000

Primärdruck: maximal 300 bar

Sekundärdruck: 12.0 bar

Luftdurchfluss: ca. 1000 l/min

Einatemwiderstand bei 115 l/min: maximal 40 mm Wassersäule

Ausatemwiderstand: maximal 20 mm Wassersäule

Druckminderer: membrangesteuert, balanciert

Lungenautomat: membrangesteuert, Typ: "downstream",

Integriertes Sicherheitsventil öffnet bei 14 bar

Dieses Ventil ist für die Kombination Druckminderer Cyklon 5000 mit Lungenautomat "TRITON" notwendig.

"Luftduschenknopf", drehbare Injektorhülse



Abb.: Funktionsposter POSEIDON CYKLON (© Poseidon)

3.3.1.2 Atemregler POSEIDON XSTREAM

Je nach Einsatzzweck bzw. nach verwendetem Atemgasgemisch werden unterschiedliche Typen des Atemreglers POSEIDON Xstream angeboten. Für normale Atemluft, insbesondere im Bereich des Sporttauchens, wird der Typ ‚Dive 90‘ verwendet. Gegenüber den anderen Typen zeichnet er sich auch durch zusätzliche Abgänge (insgesamt: 2 x für Hochdruck und 5 x für Mitteldruck) aus. Für normale Atemluft und für TRIMIX mit bis zu 21% Sauerstoffanteil sind die Typen ‚Deep‘ und ‚Deep 90‘ ausgelegt, für Nitrox (EAN) mit bis zu 50 % Sauerstoffanteil die Typen ‚Duration‘ und ‚Duration 90‘ und für reinen Sauerstoff (99,95 %) der Typ ‚Deco‘. Die Zahl „90“ in der Typenkennzeichnung weist auf ein seitlich montiertes Handrad hin, ansonsten ist das Handrad am Boden montiert.



POSEIDON Xstream Dive

Typ	Farbe der Abdeckung der Federkammer (1.Stufe):	Farbcode (Kunststoffabdeckung der 2.Stufe)	Atemgas(-gemisch)	Abgänge
Deep	Schwarz	Schwarz	Normale Atemluft, TRIMIX (mit bis zu 21% Sauerstoff)	1 HP, 2 MD
Deep 90	Schwarz	Schwarz	Normale Atemluft, TRIMIX (mit bis zu 21% Sauerstoff)	1 HP, 3 MD
Duration	Schwarz	Grün	NITROX (EAN) (mit bis zu 50 % Sauerstoff)	1 HP, 2 MD
Duration 90	Schwarz	Grün	NITROX (EAN) (mit bis zu 50 % Sauerstoff)	1 HP, 3 MD
Deco	Schwarz	Weiß	SAUERSTOFF (99,95%)	1 HP, 2 MD
Dive 90	Chrom glänzend	Grau Oktopus: Gelb	Normale Atemluft	2 HP, 5 MD

HP – Hochdruck, MD – Mitteldruck
 „90“ in der Typenkennzeichnung weist auf ein seitlich montiertes Handrad hin, ansonsten ist das Handrad am Boden montiert.

Den Typ „Deco“ gibt es aus Sicherheitsgründen (Sauerstoff) nur mit Handrand am Boden.

Der POSEIDON Xstream übertrifft die europäische Norm EN250:2000 für Kaltwasser und ist derzeit der einzige Atemregler mit einer Zertifizierung (CE) bis zu 200 m Tiefe. Außerdem ist der Xstream Deco der einzige Atemregler, der mit einer 300 bar Sauerstoffversorgung eingesetzt werden kann. Die Atemarbeit (Ein- und Ausatemwiderstand) ist sehr gering. Sie wird mit 1,5 J/l (in 50 m Tiefe mit Luft, 62,5 l/min) angegeben.

Ein zusätzlicher Vereisungsschutz ist im Kaltwasserbetrieb nicht notwendig, da die Wasserkammer der 1.Stufe aufgrund „riesiger“ Schlitz- und Durchlässe in der Abdeckung vom „wärmenden“ Wasser gut durchströmt wird. Das kalte Innere der 1. Stufe ist durch eine isolierende Kunststoffsperr- und eine isolierende Membran von der Feder getrennt.

Xstream Druckminderer (1. Stufe)



Schnittzeichnung 1. Stufe Xstream
(© Abbildung Poseidon)

Das Ventil beinhaltet beim Xstream erstmalig eine selbst balancierende Stahlkugel (Kugelventil). Auch bei einem Testdruck von 450 bar arbeitet dieses Ventil noch absolut einwandfrei.

Die maximale Luftlieferleistung des Druckminderers liegt bei 5500 l/min.



Druckminderer POSEIDON Xstream

Xstream Lungenautomat (2. Stufe)

Der normale Mitteldruck (Versorgungsdruck) liegt bei 8,5 bar. Im Gegensatz zu den anderen POSEIDON Atemreglern wird der höchste Mitteldruck bei hohem Flaschendruck (volle Flasche) erreicht. Der Lungenautomat arbeitet mit einem Upstream Servo-Ventil, das Sicherheitsventil öffnet bei einem Druck von 18 ± 1 bar. Die maximale Luftlieferleistung liegt bei 2150 l/min.

Bei Verschmutzung (z. B. durch Sandpartikel) kann der Lungenautomat ohne Werkzeug demontiert und gesäubert werden.

Das Innenvolumen („Toter Raum“) des Xstream ist mit 49 ml (im Vergleich: *Cyklon 60 ml, Jetstream 80 ml*) sehr gering und damit ist die Anreicherung von CO₂ (Hyperkapnie) minimiert.



Lungenautomat POSEIDON Xstream

Schmiermittel

Es darf nur das von POSEIDON vorgeschriebene und vom Gerätetyp (Deep, Deco, Duration, Dive) /Atemgas abhängige Schmiermittel (Fett) bei der Gerätewartung und -pflege verwendet werden:

Spezialfett für Atemluft ("Regulator Grease") (10g Tube)	[Preis (Dez. 2004): 23,00 Euro]
Spezialfett Oxygen #2 für Sauerstoff bis 110 bar (10g Tube)	[Preis (Dez. 2004): 93,80 Euro]
Spezialfett Oxygen #1 für Sauerstoff bis 300 bar (10g Tube)	[Preis (Dez. 2004): 167,00 Euro]

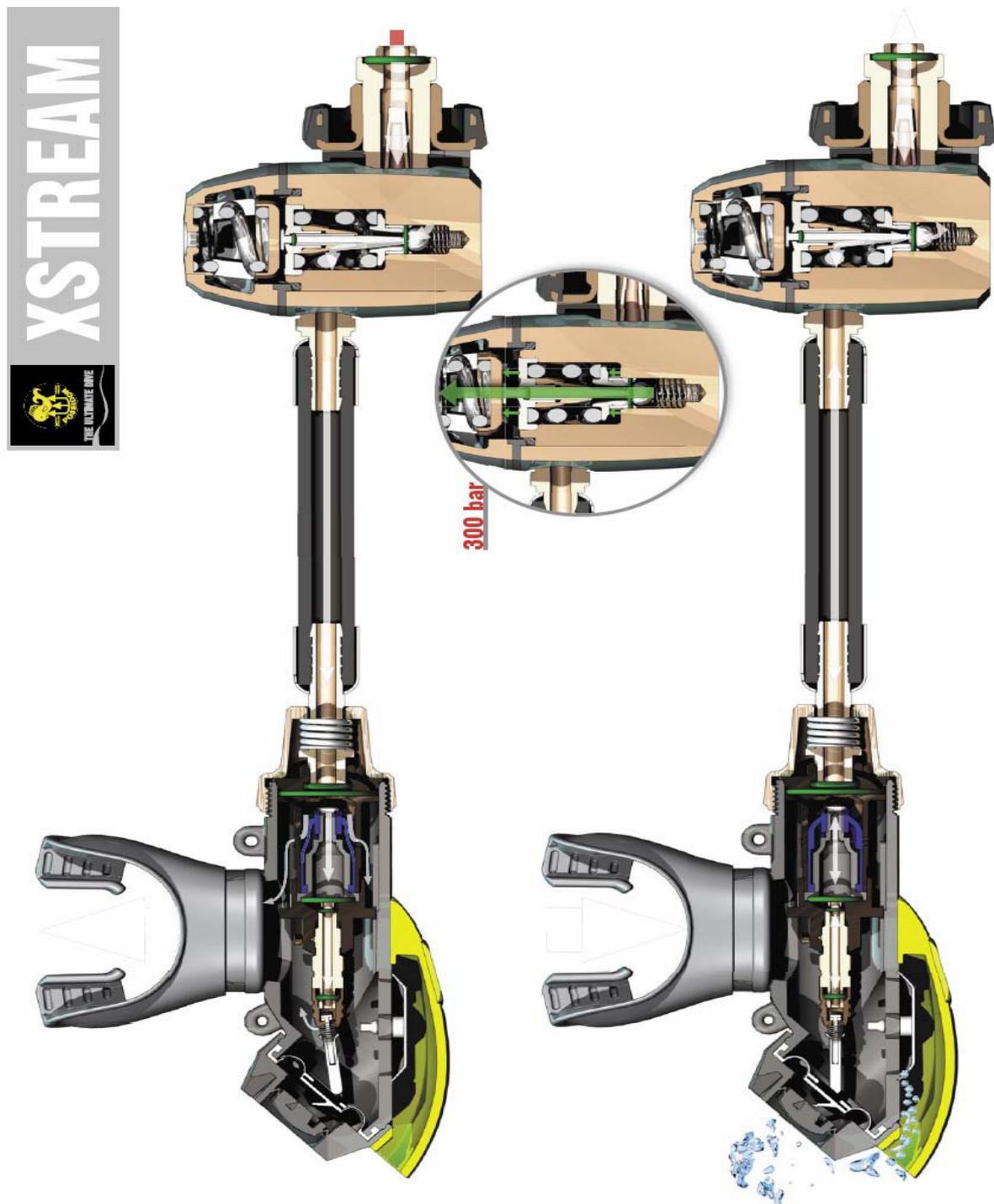


Abb.: Funktionsposter POSEIDON XSTREAM (© Poseidon)

3.3.2. Atemregler des Leichttauchgerätes PA 38

In der Berufstaucherei, dort insbesondere beim schlauchversorgten Tauchen, und beim Atemschutz (Feuerwehr o.ä.) war der Pressluftatmer PA 38 der Lübecker Firma DRÄGER über vielen Jahrzehnten das bewährte Standardmodell (PA = Pressluftatmer; 38 = Modell). Die Ersatzteilproduktion wurde 1999 eingestellt.

Technische Daten:

Atemregler des Leichttauchgerätes PA 38

Primärdruck: 300 bar

Sekundärdruck: 6,5 bar

Druckminderer: membrangesteuert, automatisches Sicherheitsventil öffnet bei unzulässigen Druckanstieg (9-14 bar),

Widerstandswarnung, Reserveschaltung

Lungenautomat: membrangesteuert, Typ: "upstream", "Luftduschenknopf"

3.4. Auftriebsmittel

3.4.0. Vorgeschriebene Auftriebsmittel für Forschungstaucher

Die GUV-Regel 2112 (Einsatz von Forschungstauchern) fordert beim Tauchen mit Leichttauchgeräten für jeden eingesetzten Taucher ein Auftriebsmittel.

Auftriebsmittel gehören zur Mindestausrüstung für Forschungstaucher und sind durch den Unternehmer bereitzustellen.

4.3 *Auftriebsmittel*

Der Unternehmer hat zusätzlich zur Mindestausrüstung nach Abschnitt 5.7 beim Tauchen mit Leichttauchgeräten eine Ausrüstung zur Verfügung zu stellen, die den Taucher im Bedarfsfall kontrollierbar an die Wasseroberfläche bringt und die ein sicheres Bergen eines verunfallten Tauchers ermöglicht.

Als Auftriebsmittel ist eine kombinierte Tarier- und Rettungsweste gemäß DIN EN 12 628 oder ein Tariermittel gemäß DIN EN 1809 zu verwenden.

Weiterhin sind Trockentauchanzüge aus Zellkautschuk geeignet, die so viel Auftrieb aufweisen, dass sie – auch wenn sie nach einer Beschädigung mit Wasser gefüllt sind – den Taucher nach Abwerfen des Gewichtssystems an die Wasseroberfläche bringen (diese Anforderung ist für den einzelnen Taucher in Abhängigkeit mit der von ihm verwendeten Ausrüstung sicherzustellen).

Die **ZH 1/541** wurde inzwischen durch die Berufsgenossenschaften **zurückgezogen!**

3.4.1. Auftriebsmittel: DIN EN 1809 und DIN EN 12628

DIN EN 1809

Fassung: Januar 1998

Tauchzubehör;

Tariermittel;

Funktionelle und sicherheitstechnische Anforderungen; Prüfverfahren

Deutsche Fassung EN1809:1997

DIN EN 12628

Fassung: Oktober 1999

Tauchzubehör;

Kombinierte Tarier- und Rettungsmittel;

Funktionelle und sicherheitstechnische Anforderungen; Prüfverfahren

Deutsche Fassung EN 12628:1999

Diese Normen gelten auch für den Bereich des Sporttauchens.

Wichtige Anforderungen dieser Auftriebsmittel sind:

DIN EN 1809 Tariermittel	DIN EN 12628 Kombinierte Tarier- und Rettungsmittel
<p>Aufblasbare Tariermittel ermöglichen dem Taucher seinen Auftrieb zu regeln.</p>	<p>Das Kombinierte Tarier- und Rettungsmittel erlaubt den Benutzer seinen Auftrieb zu regeln und ihn im bewusstlosen Zustand mit der festgelegten Freibordhöhe des Kopfes an der Wasseroberfläche zu halten.</p>
<p>Hand-Entleer-Vorrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Knopf- oder Zugseilbedienung muss leicht mit jeder Hand erreichbar sein. Muss 20% mehr Luft herauslassen als durch die mechanische Aufblasvorrichtung zugeführt werden kann. Bei maximaler Entleerung dürfen maximal 10% des Nenn-Höchstauftriebes vorhanden sein. 	<p>Hand-Entleer-Vorrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Knopf- oder Zugseilbedienung muss leicht mit jeder Hand erreichbar sein. Muss 20% mehr Luft herauslassen als durch die mechanische Aufblasvorrichtung zugeführt werden kann. Bei maximaler Entleerung dürfen maximal 10% des Nenn-Höchstauftriebes vorhanden sein.

Mund- und mechanische Aufblasvorrichtung (Inflator)	Mund- und mechanische Aufblasvorrichtung (Inflator)
<p>Mechanische Aufblasvorrichtung (Alte Bezeichnung: Inflator)</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Kupplung zwischen Ventil und Mitteldruckschlauch muss auch mit Handschuhen rasch lösbar sein. 	<p>Mechanische Aufblasvorrichtung (Alte Bezeichnung: Inflator)</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Kupplung zwischen Ventil und Mitteldruckschlauch muss auch mit Handschuhen rasch lösbar sein. <p>Falls diese Vorrichtung nicht aus dem regulären Atemluftvorrat gespeist wird, gilt:</p> <ul style="list-style-type: none"> Versorgung aus einem Hochdruckbehälter mit mindestens 200 Liter Atemluft. Der Höchstauftrieb muss nach 20 sec erreicht sein.
Automatisches Überdruckventil	Automatisches Überdruckventil
-	<p>Notflasche (Unabhängige Aufblasvorrichtung)</p> <ul style="list-style-type: none"> Mindestkapazität: 100 Liter Atemluft Das Ventil muss auch mit Neoprenhandschuhen bedienbar sein. <p>Höchstauftrieb nach max. 5 sec erreicht.</p>
-	<p>Schwimmlage Das Auftriebsmittel muss Mund und Nase des Tauchers innerhalb von 10 sec nach dem ersten Auftauchen in Schwimmlage gebracht haben, d.h. der untere Mundwinkel muss 8 cm über der Wasseroberfläche liegen (Freibordhöhe) und der Rumpf des Körpers muss mit einem Winkel von 0° bis 90° nach unten geneigt sein.</p>
-	<p>Sichtbare Farben Freiliegende Felder über der Wasseroberfläche mit einer Gesamtfläche von mindestens 200 cm² in Orange, Rot oder Gelb.</p>
-	<p>Signalpfeife Nicht-metallische Doppeltonpfeife, die sicher befestigt ist.</p>
-	Mindestauftrieb: nicht gefordert

Die **DIN EN 12628** verlangt,
dass Jackets, die als kombinierte Tarier- und Rettungsmittel eingesetzt werden,
den Taucher **in Schwimmlage mit dem Mund klar (8 cm) über Wasser halten.**

3.4.2. Jackets

Als Auftriebsmittel werden insbesondere beim Sporttauchen "**Jackets**" (*engl.*) verwendet. Diese Aufstiegs- und Tarierhilfen werden als "Stabilizing Jackets" (stabilisierende Jacken) bezeichnet, da sie den Taucher unter Wasser in einer relativ stabilen horizontalen Lage halten.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Typen und Bezeichnungen bei den Jackets. Bekannte Bezeichnungen sind:

- BC = Buoyancy Compensator
= Tarierhilfe
(Der BC besitzt nur einen Inflator und/oder CO₂-Anschluß für ein einmaliges Befüllen. Ein BC hat keine unabhängige Notflasche, die in jeder Tiefe raschen Auftrieb bzw. Atemluft bereitstellen kann!)
- ADV = Advanced-Divers-Vest
= fortschrittliche Taucherweste (Weiterentwicklung des Stabilising Jackets: Schulterpartie nur noch mit Tragegurt bedeckt.)
- ABJ = Adjustable Buoyancy Jackets
= Jackets mit regulierbarem Auftrieb.

Unterschiedliche Bauarten:

Der Auftriebskörper läuft über die Schulter oder die Schulterpartie ist nur mit den Tragegurten bedeckt. Die Tragevorrichtung für die Druckluftflasche ist als Soft- oder Hardpack integriert.

Außerdem unterscheidet man zwischen ein- und zweischaligen Jackets. Die doppelschalige Bauweise hat den Vorteil, daß sich Taschen, Ringe, Aufsätze problemloser an der Außenschale befestigen lassen. Außerdem läßt sich die Innenschale leichter flicken. Nachteilig ist das etwas größere Volumen.

Vor- und Nachteile von Jackets im Vergleich mit Rettungswesten:

- ☺ Bequemes Tauchen, keine Beengung im Halsbereich.
- ☺ Beim Tauchen in horizontaler Lage optimale Position der Auftriebskammer(n).

- ☺ Auftriebskörper und autonomes Leichttauchgerät (Flasche, Atemregler, Druckmesser, Inflator) bilden eine Einheit. Das An- und Ablegen ist relativ einfach (wie eine Jacke). Der Inflatorschlauch muß im Gegensatz zur Benutzung einer Rettungsweste nicht vor dem Ablegen des Gerätes gelöst werden.
- ⊗ Einengung des Brustkorbes im aufgeblasenem Zustand.
- ⊗ Ein Wechseln der Flasche unter Wasser ist problematisch.
- ⊗ Wenn die Druckluftflasche am Ende eines Tauchganges in das Boot gereicht werden soll, muß der Taucher auch sein Auftriebsmittel (= Rettungsmittel) ablegen.
- ⊗ Beim Retten und Transport eines verunfallten Tauchers, der ein Jacket trägt, kann die Flasche nicht problemlos abgenommen werden.
- ⊗ Ein Jacket benötigt mehr Platz im Reisegepäck (evtl. ausgenommen: spezielle Reisejackets).
- ⊗ Häufig sind die Flaschen am Jacket unzureichend befestigt. Sie können daher während des Tauchganges aus ihrer Halterung rutschen. Bei vielen Jackets ist deshalb eine zusätzliche Fangschleufe vorhanden.

Verhalten an der Wasseroberfläche:

Ein "effektiver Auftrieb an der Wasseroberfläche" ist nur durch den Teil der Luftkammer(n) gegeben, der sich unter Wasser befindet. "Stabiliser Jackets" haben einen effektiven Auftrieb deutlich geringer als 100% des Luftkammervolumens, bei einigen Modellen beträgt der Auftrieb gerade 50%.

Eine absolut ohnmachtsichere Lage an der Wasseroberfläche kann insbesondere wegen der zahlreichen Einflüsse unterschiedlicher Taucherausrüstung vermutlich derzeit von keinem Jacket ohne zusätzlichen Rettungskragen garantiert werden.

Hier gilt: Ausprobieren geht über studieren!

Beim Kauf zu beachten:

- Gute Paßform und Verarbeitung, geringer Strömungswiderstand, Geschmeidigkeit.
- 15-18 Liter Mindestauftrieb
- **Keine Beugung des Brustkorbes im aufgeblasenem Zustand, eine Volumenvergrößerung beim Aufblasen muß nach außen gehen.**
- Befüllung über Inflator innerhalb von 10 Sekunden (*A. P. Valves: ca. 7 Sekunden*)
- Sichere, rutschfeste Flaschenbefestigung (evtl. mit zusätzlicher Fangschleufe).
- Bei Bedarf Befestigung auch für Doppelflaschen.

- Wirkungsvolle Auslaßventile (insbesondere für Notstops beim Aufstieg)
- Jacket in Signalfarbe.
- Notflasche
- **Signalpfeife**
- Sinnvolle Taschen und ausreichende D-Ringe
- Wasserablass
- Gute Garantiebedingungen.
- Betriebsanleitung in deutscher Sprache.

Ausstattungsmerkmale

Schnellabwurfschnallen

erleichtern das Ausziehen des Jackets.

Notflasche:

Unabhängige Luftversorgung auch in der Tiefe für eine kontrollierte Notluftblasung und -atmung (Atmung nur bei antibakteriellen Blasen [Fa. A.P.Valves]); sinnvoll: Notflaschen aus Aluminium.

Schlauchklammern und -halter

erleichtern die Positionierung von Schläuchen, Instrumenten und Konsolen.

Sicherheitsfarben

erleichtern das Erkennen und Wiederfinden des Tauchers (noch besser: zusätzliche Reflexstreifen).

Taschen

für Oktopus (Atemregler mit zweitem Lungenautomaten) sowie für Rettungsgeräte, sonstige Utensilien, Autoschlüssel.

D-Ringe (Ösen)

zur Befestigung/Sicherung zusätzlicher Ausrüstungsteile (z.B. Lampen, Kompaß).

Material (Außenhülle) :

meist Nylon unterschiedlicher Gewebestärken (Angaben meist in Denier)

<i>(A.P.Valves Jackets:</i>	<i>1100 Denier</i>
<i>Scubapro Master Jacket:</i>	<i>840 Denier</i>
<i>Mares Vector 10:</i>	<i>840 Denier</i>
<i>Dacor Nautica:</i>	<i>420 Denier</i>
<i>Beluga-Jacket:</i>	<i>Cordura 1000).</i>

Material (Innenhülle):

meist PU (Polyurethan).

Wichtige Hinweise für den Betrieb:

Die Begurtung sollte den Taucher bei aufgeblasenem Zustand nicht behindern.

Insbesondere bei Rettung/Transport verunfallter Taucher ist darauf zu achten, dass dieser in der Atmung nicht behindert wird!

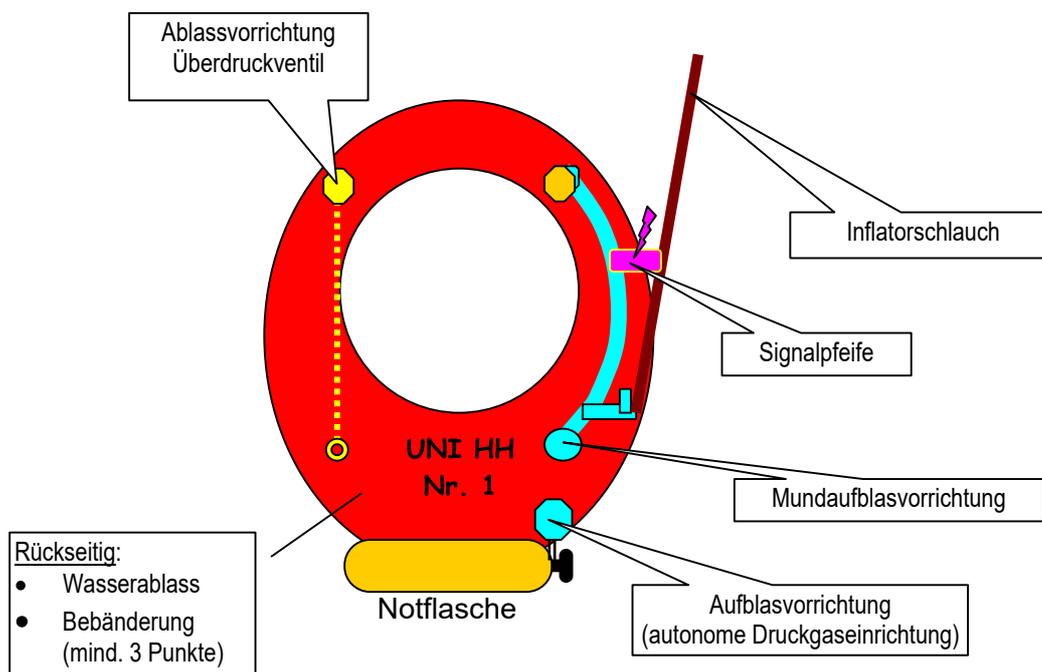
Da sich Nylongurte im nassen Zustand dehnen, muss die Befestigung der Druckluftflasche(n) bei den meisten Jackets mit nassen Gurten angepasst werden (*nicht nötig bei A. P. Valves Geräten*).

Jackets niemals während des Reinigens der Luftkammern mit Druckluft aufblasen, da die Auslassventile das Wasser nicht schnell durchlassen können und das Auftriebsmittel damit zum Platzen gebracht werden kann!

3.4.3. Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise

Die Regel für den Einsatz von Forschungstauchern (GUV-R 2112, § 4.3, Auftriebsmittel) fordert für jeden eingesetzten Taucher eine Ausrüstung, die den Taucher kontrollierbar an die Wasseroberfläche bringt und ein sicheres Bergen ermöglicht.

Das Auftriebsmittel hat die Anforderungen der DIN EN 12628 oder der DIN EN 1809 zu erfüllen. Siehe auch Kapitel 3.4.1. In diesem Abschnitt wird nur auf die Geräte eingegangen, die die DIN EN 12628 "Kombinierte Tarier- und Rettungsmittel" erfüllen.



Allgemeine Anforderungen und Betrieb:

- Gebrauchsanleitung befolgen.
- Taucher müssen in der Handhabung ausgebildet sein und beim Tarieren jederzeit Austauschstufen einhalten können.
- Tariergerät darf nicht aus Reserveluftvorrat gefüllt werden.
- Nicht zur Beförderung von Lasten.
- Evtl. beim Gebrauch eingedrungenes Wasser ist sofort zu entfernen.
- Prüfung der Betriebssicherheit vor jedem Einsatz.

Lt. DIN:

- Farbe der Außenseite des komb. Tarier- und Rettungsmittels: **Orangerot oder Gelb**
- **Doppeltonpfeife**
- **Auftrieb > 100 N**
- ausreichende Bewegungsfreiheit
- Aufblasvorrichtungen: a. Inflator

- b. autonome Druckgaseinrichtung
- c. Mundaufblasvorrichtung

- Kein Schutzrohr in Druckluftflasche.
- In < 10 sec nach erstmaligem Durchstoßen der Wasseroberfläche
→ ohnmachtsichere, stabile Wasserlage.
- Überdruckventil
- Dichtheit (nach 16 Std. muss $p \geq 0.03$ bar erhalten sein)
- Mundaufblasvorrichtung muss das Atmen aus dem Rettungsmittel ausschließen.

Weiterhin ist zu beachten:

Das Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise wird immer als erster Ausrüstungsgegenstand angezogen, d.h. insbesondere vor dem Bleigurt!!

(Der Bleigurt könnte sich sonst beim Abwurf im Westengurt verhaken!)

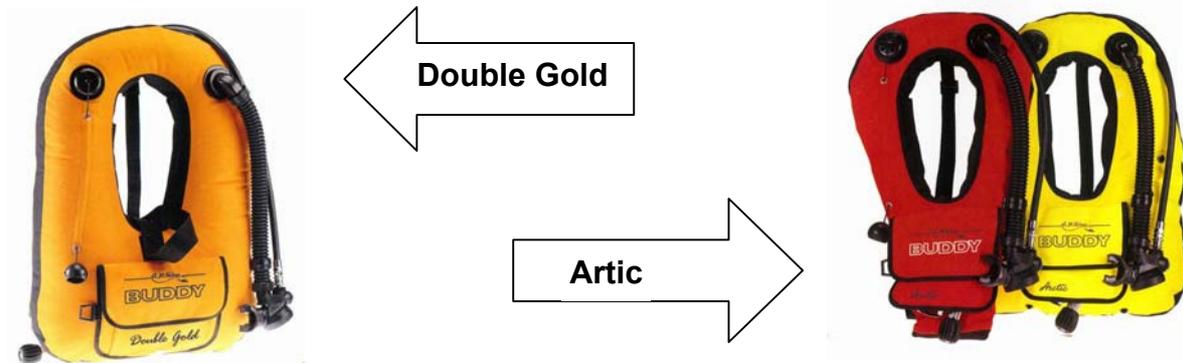
Beim Westenkauf besonders zu beachten:

- Weste soll DIN 32925 erfüllen
- DIN/BAM gerechtes Ventil (zylindr.)/Flasche
- Rückschlagventil im Anschlußstutzen der autonomen Druckgaseinrichtung
- guter Wasserablaß
- große Westentasche, Karabinerhaken
- Bebänderung mind. 3 Punkte
- gute Befestigung der Notflasche
- gute Verarbeitung
- Flaschen-TÜV
- Garantie, Gebrauchsanleitung
- leichte Pflege
- keine rostenden Teile
- Westenvolumen mindestens 18 Liter
- Westenflasche aus Aluminium, BAM-Zulassung

Beim Betrieb ist zu beachten:

Nach dem Spülen des inneren Westenkörpers mit Süßwasser darf dieses Wasser nicht mit Druckluft ausgeblasen werden. Die Ventile lassen nur einen geringen Ausstrom an Wasser zu, deshalb kann es beim Ausblasen zum Platzen der Hülle kommen!

3.4.4. Ohnmachtsichere Auftriebsrettungsmittel der Firma A. P. Valves



Das BUDDY Double Gold ist die Wahl der Berufstaucher. Es wird weltweit bei der Armee eingesetzt. Beispielsweise bei der britischen Royal Navy seit 1983.

Maximaler Auftrieb 21,36 kg.

NATO-Lagernummern: 4220-99-770-9719 und 4220-99-330-1243

Das BUDDY ARCTIC ist ein zweischaliger Rettungskragen, der leicht verstellbar ist und zusammengeklappt oder als vollständige Weste mit über 17 kg Auftrieb getragen werden kann. Diese Weste wurde speziell für Taucher mit Trockentauchanzügen entwickelt.

Alle Westen sind mit einer leichten Aluminium-Notflasche (0,4 Liter - 200 bar) ausgestattet. Die Notflasche ist TÜV zugelassen und besitzt ein DIN-Flaschenventil mit BAM-Zulassung.

3.4.5. BUDDY Stabilitätswesten der Firma A. P. Valves

Alle BUDDY Jackets erfüllen die **NORM EN 1809**, tragen das **CE Kennzeichen** und werden gemäß einem Qualitätskontrollsystem nach ISO 9002 hergestellt.

Typ: „Sea King“



Das Sea King zeichnet sich insbesondere aus durch:

- Sehr komfortabel konturierte Schultern.
- Große Frontteile, die beste Auftriebsmöglichkeit zum Tarieren in einer Notsituation bieten.
- Geschicktes, verstellbares Seitengurtsystem: dadurch passt die Universalgröße den meisten Tauchern.

Ausstattung

- 2 D-Ringe (25 mm)
- Lagerungsschnalle
- Wahlweise Inflator AP 200 oder AutoAir Westenautomat
- Leichte NOTFLASCHE aus Aluminium als unabhängige Luftquelle für Notatmung und -auftrieb.

Universalgröße (21,36 kg max. Auftrieb) für Brustumfang 91,5 cm bis 119,4 cm

Typ: „Commando“



Das Commando ist das meistverkaufte Jacket in Großbritannien. Es gehört zur Standardausrüstung vieler NATO-Streitkräfte einschließlich der Such- und Rettungstaucher der Hubschrauberstaffel der Royal Navy und anderer Küstenwachen in aller Welt.

Ausstattung

- Zwei weitöffnende Reißverschlussaschen mit Wasserablaufnetzen
 - Zwei kleine Taschen mit Klettverschluss
 - Innen angebrachte, leicht erreichbare Oberflächenbojentasche. *(Die Oberflächenboje ist nicht im Lieferumfang enthalten.)*
 - Notfall-Netzschneider
 - 2 Edelstahl D-Ringe (50 mm)
 - 2 Kunststoff D-Ringe (50 mm)
- schen
- Schnellabwurfschulter schnallen
 - Wahlweise Inflator AP 200 oder AutoAir Westenautomat
 - Leichte NOTFLASCHE aus Aluminium als unabhängige Luftquelle für Notatmung und -auftrieb.

Größen:

- M (17,27 kg max. Auftrieb) für Brustumfang 94 cm bis 104 cm
- L (22,72 kg max. Auftrieb) für Brustumfang 106,7 cm bis 119,4 cm
- XXL (26,36 kg max. Auftrieb) für Brustumfang ab 127 cm

3.5. z. Zt. nicht belegt

3.6. Taucherdruckkammer (inkl. Druckkammer-Behandlung)

Unfallverhütungsvorschrift „Taucherarbeiten“ (BGV C 23 / bisherige VBG 39),
insbesondere 3. Nachtrag in Kraft seit 1. Januar 2001

Berufsgenossenschaftliche Richtlinien / Regeln des Bundesverbands der Unfallkassen:

GUV-R 2112: § 4.7, § 5.7.3, § 5.7.6, § 7.2, § 7.4, Anhang 1

BGR 235 (ZH 1/539) Taucherdruckkammern (Ausgabe: 10.88, aktualisierte Fassung 9.06)

Medizingeräteverordnung, Gruppe 3 nach § 2

Normen:

DIN 13256 Druckkammern für Personen

3.6.1. Anforderungen (Bau- und Ausrüstung)

„Transportkammern“ dürfen seit dem 1. Januar 2000 nicht mehr verwendet werden. Als Taucher-Druckkammer sind nur noch Behandlungskammern entsprechend § 4.2 der ZH 1/539 zulässig. Als Ersatz für den Transport in einer Kammer ist jetzt die Atmung von reinem Sauerstoff unter Normaldruck während des Transportes zur Behandlungskammer vorgeschrieben.

**„Taucherdruckkammern“
müssen so beschaffen sein, dass**

1. sie einen **Überdruck von mindestens 5 bar** ermöglichen,
2. der **Überdruck von 5 bar in höchstens 6 Minuten** erreicht werden kann,
3. **Sicht- und Sprechmöglichkeit** mit Personen in der Kammer besteht,
4. **Sauerstoffatmung in der Kammer** möglich ist
und
5. ein unabhängiges **Einschleusen einer Begleitperson** und **die Behandlung eines erkrankten Tauchers** in der Kammer möglich sind.“

Beim Einsatz von Forschungstauchern regelt die GUV-R 2112 in § 5.7.6 bei welchen Einsätzen eine Taucherdruckkammer bereit gestellt werden muss:

Der Unternehmer hat an der Tauchstelle ein Sauerstoff-Atemgerät bereitzustellen, das das Atmen von reinem Sauerstoff für eine Dauer von mindestens 3 Stunden ermöglicht.

Diese Forderung ist z. B. erfüllt, wenn an der Tauchstelle

- *eine atemgesteuerte Dosiereinrichtung mit mindestens 3000 l Sauerstoff oder*
- *ein Kreislaufgerät mit einer Betriebszeit von mindestens 3 Stunden vorhanden ist.*

Der Unternehmer hat an der Tauchstelle eine Taucherdruckkammer bereitzustellen

1. bei Tauchgängen mit **Haltezeiten über 35 Minuten**
2. bei Tauchtiefen über 10 m, wenn ein **Transport** zur nächsten einsatzbereiten Taucherdruckkammer **innerhalb von 3 Stunden nicht möglich** ist.

Wo ist die nächste einsatzbereite Taucherdruckkammer?

siehe:

Liste der Behandlungskammern und Transportkammern

Herausgeber: Tiefbau-Berufsgenossenschaft (Am Knie 6, D-81241 München)

oder im Internet:

<http://www.gtuem.org/liste/kammernd24.htm>

und beachte:

Die Einsatzbereitschaft ist vor jedem Tauchereinsatz zu prüfen!

Bau und Ausrüstung der Behandlungskammer nach BGR 235

(bisherige ZH 1/539):

Behandlungskammern **müssen mindestens eine Hauptkammer und eine Vorkammer haben!**

Betriebsdruck/Sicherheitsventil

Innendurchmesser $\geq 1,48$ m

je Person Sitzbreite $\geq 0,5$ m, Sitztiefe $\geq 0,4$ m

Runde Türöffnung Durchmesser $> 0,70$ m, Krankentrage liegend rein und raus transportierbar

Bajonettverschluß, Beobachtungsfenster, Beleuchtung (>200 Lux)

Füllen/Leeren von Vor- und Behandlungskammer unabhängig

Brandschutz

Hauptkammer:

mind. 1 Liegefläche für eine Person

+ zwei Personen sitzend,

Spülluftmenge 30 l/min je Person (bei Kammerdruck),

***für jede Person eine Sauerstoffatmestelle** (O_2 bei Atmosphärendruck 75 l/min) **mit Lungenautomat, ausgeatmete Luft muß aus der Kammer** abgeführt werden.*

Heizeinrichtung

Versorgungsschleuse

Vorkammer:

≥ 2 Personen sitzend

3.6.2. Behandlung in der Druckkammer

Schema:

1. Kammer bereitstellen und überprüfen!
(Anschlüsse, Druckluft- und Sauerstoffvorrat, Deckeldichtung auf Sauberkeit, zuverlässiges Personal (Ersthelfer + HLW) (schriftlich vom Unternehmer bestellt) unterwiesen, Arzt erreichbar)
2. Kurze ärztliche Diagnose (inkl. **neurologischer Status**), Versorgung des Tauchers (Infusion), auf Trage in Kammer schieben
3. Deckel sorgfältig verschließen!

4. **Genaues Protokoll führen!**
Name der Person in der Kammer, Name des für den Betrieb Verantwortlichen, Druckverlauf in Abhängigkeit von der Uhr, Sauerstoffatmung in Abhängigkeit von der Uhr, alle Beobachtungen (Symptome, etc.) mit Uhrzeit notieren, Name und Anschrift des behandelnden Arztes
5. **Geschwindigkeit der Drucksteigerung: 10 m/min** (Abstiegsgeschwindigkeit)
Bei schweren Fällen rascher!

Bei Schmerzzunahme (z. B. *Druckausgleichs-Probleme*) anhalten, erst weiter, wenn der Taucher es verträgt.
6. Bis auf Behandlungsdruck fahren, **entsprechend der Behandlungstabelle bzw. entsprechend den Anweisungen des Taucherarztes.**
(Auf dieser Tiefe sollten alle Beschwerden verschwunden sein.)
7. Der **Verunfallte ist ständig zu beobachten**, er bedarf ständiger Zusprache.
8. Auf eine **ausreichende Lüftung** durch entsprechende Spülung ist zu achten.
9. Dekompression entsprechend der Tabelle, ab 18 m Wassertiefe O₂-Atmung möglich (anstrebenswert!)
10. nach Beendigung der Behandlung:
für gewisse Zeit (6-12 Std.): Verunfallter muß in der Nähe der Kammer bleiben, Personal erreichbar.

Die Behandlung in einer Druckkammer sollte immer nach ärztlicher Anweisung erfolgen.

Welche Tabelle soll benutzt werden?

Diese Entscheidung trifft in der Regel der Taucherarzt. Nach § 7.2 der GUV-R 2112 hat der Tauchereinsatzleiter dafür zu sorgen, dass ein mit der Tauchermedizin vertrauter Arzt bei Vorhandensein einer Taucherdruckkammer hinzugezogen wird.

Alle Taucher (d.h. Sporttaucher, Forschungs- und Berufstaucher) können sich bei Tauchunfällen an die Notrufnummer des Schiffahrtmed. Inst. der Marine wenden:

0431 / 540 90 (Kennwort: „Tauchunfall“)

Dort den Taucherarzt verlangen!
Unter dieser Rufnummer ist eine 24-Stunden Bereitschaft erreichbar.

In Hamburg:

Druckkammerzentrum am Allgemeinen Krankenhaus Barmbek
 (24-Stunden- Bereitschaft) (040 / 6327 3434 bis 16:15 Uhr)

Alarmierung über Rettungsleitstelle der Feuerwehr Hamburg:
 „**Verdacht auf Tauchunfall**“ angeben

112 oder **040 / 2882 4965**

Für Mitglieder im Verband Deutscher Sporttaucher (VDST e.V.) gibt es eine
 24-Stunden-Hotline:

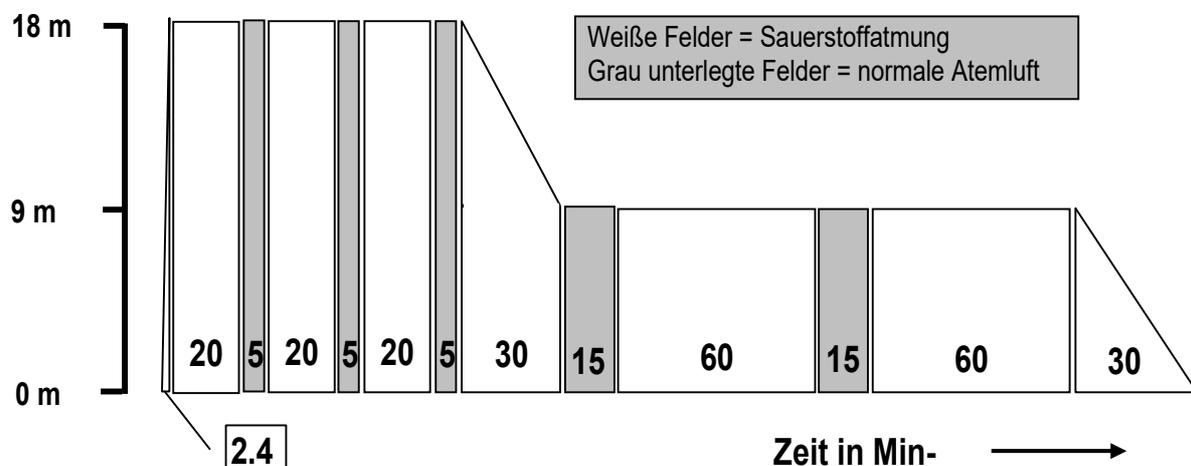
01803 32 21 05

Therapieeinrichtungen benutzen meistens eigene Behandlungstabellen und -verfahren. Beispielsweise werden schwer verunfallte Taucher in der Behandlungskammer in Berlin auf sehr große Tiefe gefahren (Atemgasgemisch mit Helium).

Die „Leitlinie Tauchunfall“ der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin gibt für die erste Druckkammerbehandlung die Behandlungstabelle 6 an:

Behandlungstabelle 6

(U.S. Navy Treatment Table 6)



3.7. Atemluft-Kompressor (-Verdichter)

Zur ausreichenden Versorgung eines Tauchers mit der lebensnotwendigen Atemluft wird verdichtete Luft benötigt. Diese wird dem Taucher über einen Versorgungsschlauch oder in mitgeführten Behältern bereit gestellt. Die Verdichtung und Aufbereitung (im erforderlichen Umfang) der Luft erfolgt mit einem Verdichter (Kompressor). Als Verdichter werden überwiegend **drei- oder vierstufige Hochdruckkolbenkompressoren** verwendet. Diese mehrstufige Bauweise ist notwendig um die thermische Belastung (Hinweis: Gesetz von Gay-Lussac) des Kompressors zu verringern. Dies wird durch eine Zwischenkühlung nach jeder einzelnen Stufe erreicht.

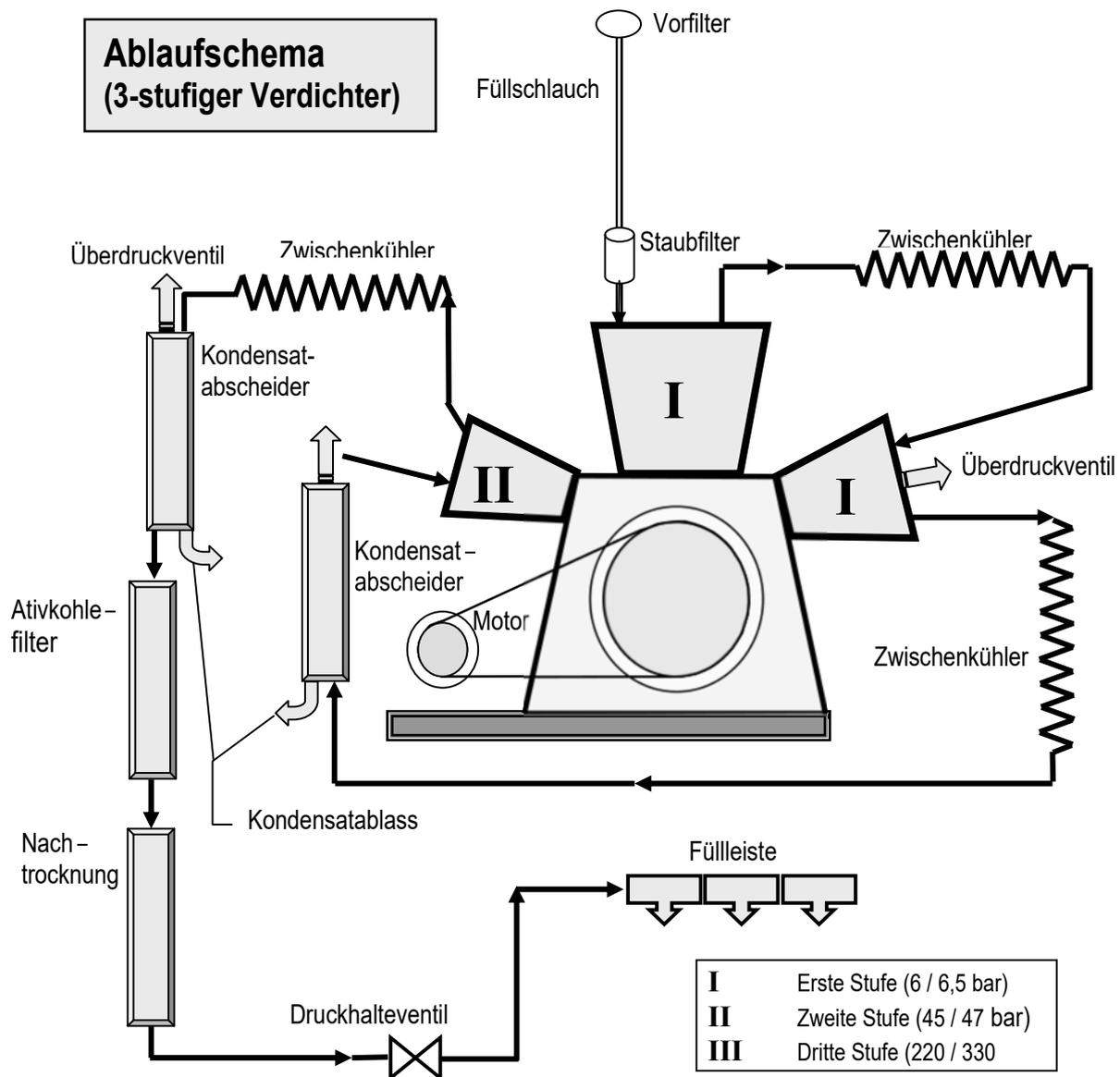
3.7.1. Vorschriften, Normen, etc.

Die Zusammensetzung bzw. Reinheit der Luft muß dabei den Anforderungen der **DIN EN 12021 ("Reinheit der Atemluft")** bzw. EN 132 Anhang A genügen. Bei Aufbau und Betrieb einer Füllanlage sind insbesondere die **BGR 500** „Betreiben von Arbeitsmitteln“ (Stand: Oktober 2004, letztmalig aktualisiert am 25. Mai 2005) zu beachten. In dieser Regel sind ausgewählte Betriebsbestimmungen aus Unfallverhütungsvorschriften zusammengestellt worden. Zu beachten sind außerdem die **Technischen Regeln Druckgase (TRG)** [TRG 300 „Besondere Anforderungen an Druckgasbehälter Druckgaspackungen“ und die TRG 301 „Besondere Anforderungen an Druckgasbehälter, Druckgaskartuschen, Halterungen und Entnahmeeinrichtungen“] und **Technische Regeln für Druckbehälter (TRB)** [TRB 502 „Sachkundiger nach § 32 DruckbehV“; TRB 514 „Prüfungen durch Sachverständige - Wiederkehrende Prüfungen“; TRB 532 „Prüfungen durch Sachkundige - Wiederkehrende Prüfungen“; TRB 600 „Aufstellung der Druckbehälter“].

3.7.2 Aufbau und Funktion

Funktionsweise eines dreistufigen Kompressors:

1. Über einen zwei bis drei Meter langen Schlauch mit ausreichendem Querschnitt wird Umgebungsluft angesaugt. Am freien Ende des Schlauches befindet sich meist ein Vorfilter zum Entfernen eventuell vorhandener Teilchen aus der angesaugten Luft. Zwischen Schlauch und Kompressor ist ein weiterer **Staubfilter** eingebaut. Bei besonders reiner Umgebungsluft kann bei einem elektrisch angetriebenen Verdichter auf den Vorfilter und auf den Schlauch verzichtet werden. Der Staubfilter ist ein in Abhängigkeit vom Staubgehalt der Umgebungsluft regelmäßig zu ersetzendes Verschleißteil.
2. In der **1. Stufe** wird die angesaugte Luft **auf etwa 6 bar verdichtet**. Die Verdichtung erfolgt entsprechend dem Gesetz von Boyle-Mariotte (bezüglich des Volumens sind dabei etwaige Leckverluste zu berücksichtigen). Alle drei Stufen arbeiten mit jeweils einem Saugventil und einem Druckventil.
3. Zwischen 1. und 2. Stufe erfolgt die **erste Zwischenkühlung**. Dabei wird die von der 1. Stufe kommende Luft von etwa 120 °C auf 10° bis 15 °C über Umgebungstemperatur abgekühlt.



4. In der **2. Stufe** erfolgt eine weitere Verdichtung der Luft **auf etwa 45 bar**. Das zu verdichtende Volumen bzw. der notwendige Hubraum ist deutlich geringer als in der 1. Stufe, da die einzelnen Luftmoleküle durch die Arbeit der 1. Stufe bereits dichter zusammengedrängt sind als in der Umgebungsluft.
5. Zwischen 2. und 3. Stufe erfolgt die **zweite Zwischenkühlung**. Dabei wird die von der 2. Stufe kommende Luft von etwa 120 °C auf 10° bis 15 °C über Umgebungstemperatur abgekühlt.
Dem Zwischenkühler nachgeschaltet ist ein **Kondensatabscheider**. Das durch den Verdichtungsprozess anfallende Kondensat, eine milchige Emulsion aus dem Öl der Schmierung und dem Wasser aus der Luftfeuchtigkeit, wird physikalisch über Sintermetalle oder durch Zentrifugalabscheider von der komprimierten Luft abgetrennt. Es

wird dann in definierten Zeitintervallen (etwa alle 10 bis 20 Minuten) automatisch oder manuell aus dem Kompressor abgelassen.

6. In der **3. Stufe** erfolgt die Verdichtung auf den **Enddruck von 220 bzw. 330 bar**. Der notwendige Hubraum ist deutlich geringer als in den anderen Stufen.
7. Nach der 3. Stufe wird die Luft **im letzten Zwischenkühler auf etwa 20 °C über Umgebungstemperatur** abgekühlt. Außerdem erfolgt erneut eine **Kondensatabscheidung**.
8. Bevor die verdichtete Atemluft die Füllanlage verläßt, werden etwaige **dampfförmige Verunreinigungen** (z. B. Öl) mit einem **Aktivkohlefilter** entfernt. Außerdem wird die Luft mit einem Molekularsieb (stark hygroskopische Silikatkristalle) **nachgetrocknet**.

Ein **Sicherheitsventil nach der 3. Stufe begrenzt den Enddruck auf 225 bar/330 bar** beim Betrieb von 200 bar/300 bar Druckluftflaschen. Dieses Ventil ist verplombt und darf auf keinen Fall verstellt werden! Der Enddruck ist höher als der zulässige Flaschenfülldruck, da der Effekt der Temperaturerhöhung durch die Verdichtung berücksichtigt wurde. **Das Nachdrücken bereits gefüllter Flaschen nach deren Abkühlung ist nicht erlaubt!**

Weitere Sicherheitsventile befinden sich zwischen 1. und 2. Stufe sowie zwischen 2. und 3. Stufe. Diese Sicherheitsventile sprechen an, wenn der Druck in den Verbindungsrohren zwischen den Stufen einen definierten Grenzwert übersteigt. Dies ist beispielsweise bei einem defekten Ventil möglich.

Schmierung

Reibungsverluste im Zylinder und in den Lagern werden durch eine Ölschmierung reduziert. Diese Schmierung dient gleichzeitig zum Kühlen der Anlage, d.h. dem Temperatenausgleich. Die Verwendung der **richtigen Ölart (lt. Bedienungsanleitung)** ist für die Qualität der Atemluft **unbedingt erforderlich**. Die Benutzung nicht zulässiger Öle kann u.a. zur **Bildung toxischer Gase** (z. B. Kohlenmonoxid) führen und das Leben des Tauchers extrem bedrohen! Es wird zwischen **mineralischen und synthetischen Schmierölen** unterschieden. Synthetische Schmieröle sind für einen größeren Temperaturbereich und für härtere Einsatzbedingungen zugelassen als mineralische Öle. Sie halten für etwa 2000 Betriebsstunden, müssen jedoch mindestens alle zwei Jahre gewechselt werden. Mineralische Öle können dagegen nur halb so lange verwendet werden. Eine Umstellung von mineralischem auf synthetisches Schmieröl darf nur durch einen Fachmann durchgeführt werden, da das synthetische Schmieröl Verkokungen stark anlost und damit Verstopfungen in Kühlern und Filtern bewirken kann.

Kühlung

Die Kühlung der Verdichter erfolgt im Tauchbereich normalerweise durch eine **Luftküh-**

lung. Dazu ist auf dem Endzapfen der Kurbelwelle zum Ansaugen der Luft ein Lüfterrad aufgesetzt. Die Luft wird über die Zylinderköpfe und die Rohrspiralen geleitet. Der Kompressor ist so aufstellen, daß Zu- und Abluft ungehindert zirkulieren kann. Beim Betrieb in gut gelüfteten Räumen ist ein Mindestabstand von 0,5 m auf der Ansaugseite und von 0,75 m auf der Abluftseite von den Wänden sicherzustellen. Zur Kühlung der zu füllenden Druckluftflasche sollte diese auf der Abluftseite des Kompressors aufgestellt werden.

Filterung

Die verschiedenen Filter im Verdichter dienen der **Reinigung (toxische Gase, Ölrückstände) und der Trocknung (Luftfeuchte) der Atemluft**. In den einzelnen Verdichterstufen kommt es aufgrund der Ölschmierung zum Anfall von Öl in der verdichteten Atemluft. Daneben wird durch die Verdichtung der Luft der Wasserdampfgehalt (Feuchte) auf über 100 % erhöht und Wasser fällt als Kondensat aus. Wasser und Ölrückständen gemeinsam bilden eine milchig weiße Emulsion. Zur Trennung des Kondensats von der Luft werden unterschiedliche Verfahren (Sinterfilter, Wirbelblech oder Düse) angewendet. Das **Kondensat muß regelmäßig** entsprechend der Betriebsanleitung und den aktuellen Einflußbedingungen (insbes. Luftfeuchte, Temperatur) **abgelassen werden** (alle 10 bis 20 Minuten). Ist dies nicht gewährleistet, kann es zu Wasserschlägen und zur Zerstörung des Kompressors kommen, da das inkompressible Kondensat mit in die nächste Stufe gezogen wird. Das abgelassene Kondensat sollte in eine mit saugfähigem Material gefüllte flache Schale geleitet werden. Nach Verdunstung des Wasseranteiles kann das **ölgetränkte Material** wie ein Öllappen an der Tankstelle (oder anderer Sammelstelle) **entsorgt werden (Umweltschutz!)**.

Die Feuchtigkeit der angesaugten Umgebungsluft trägt deutlich zur Menge des Kondensatanfalles bei, für die Feuchtigkeit der komprimierten Luft nach der 2. Stufe spielt sie aber keine Rolle, dort beträgt die relative Feuchte immer 100 %. Um die Rostbildung in der Druckluftflasche zu reduzieren, muß daher die komprimierte Luft auch nach der 3. Stufe noch einmal getrocknet werden. Die DIN EN 12021 erlaubt maximal 25 mg/m^3 (d.h. in einer 10 l-Flasche (200 bar) nicht mehr als 50 mg), damit kann es erst bei Temperaturen $\leq 0^\circ \text{C}$ zum Ausfallen von Wasser kommen. Die Trocknung wird normalerweise durch ein **Trocknungsmittel (Molekularsieb)** erreicht. Bei diesem Verfahren wird die Feuchtigkeit der Luft durch hygroskopische Kristalle (synthetische Alumino-Silikate) aufgenommen. Das Molekularsieb kann etwa 20 % seines Eigengewichtes als Wasser aufnehmen, danach ist es zu ersetzen.

Mit einem **Aktivkohlefilter** werden dampfförmige Beimengungen durch Adsorption aus der verdichteten Atemluft entfernt.

Der "**Triplex™-Filter**" (mit Triplex-Patrone) der Firma Bauer Kompressoren GmbH kann der letzten Verdichterstufe nachgeschaltet werden. Er enthält alle drei Aufbereitungsstufen.

Aufstellen des Verdichters

Der Verdichter ist beim **Betrieb im Freien** so aufzustellen, daß

- er keine anderen Menschen stört (**Lärmbelästigung!**)
 - er sich auf **ebenem, staubfreien und belastbaren Boden** befindet
 - sein Ansaugschlauch hoch, trocken und **gegen die Windrichtung** aufgehängt ist (die Windrichtung ist ständig zu kontrollieren)
 - sich **keine Luftverschmutzer** (z. B. Autoverkehr) in der Nähe befinden
- und
- bei Antrieb mit Benzin- oder Dieselmotoren deren **Abgase nicht angesaugt** werden.

Zusätzlich dürfen beim Betrieb **in geschlossenen Räumen nur Elektromotoren** zum Antrieb eingesetzt werden. Eine „**Not-Aus-Taste**“ muss sich außerhalb des Gefahrenbereiches befinden!

Füllen von Druckluftflaschen:

Zu füllende Druckluftflaschen werden direkt oder über einen Füllschlauch an das **Füllventil** angeschlossen. Dieses Füllventil verfügt über zwei Stellungen:

- in der Stellung "**Füllen**" ist die Flasche direkt mit dem Verdichter verbunden und kann somit gefüllt werden
- in der Stellung "**Entlüften**" wird die Verbindung zum Verdichter abgesperrt und die Verbindung zum Ventil der Druckluftflasche entlüftet. Erst nach diesem Entlüften kann der dann drucklose Füllschlauch vom Flaschenventil gelöst werden.

3.7.3. Betrieb

Der Kompressor befindet sich in einem **einwandfreien Betriebszustand** (d.h. er wird ständig durch einen Sachkundigen bzw. den Hersteller gewartet, regelmäßig werden Gasanalysen durchgeführt). Ein **Betriebsbuch** wird geführt.

Es ist gewährleistet, daß **nur saubere Luft** (d.h. ohne schädliche Gase wie CO₂, CO, NO₂) angesaugt wird. Bei stark erhöhten Ozonwerten werden keine Druckluftflaschen gefüllt, da die Wirkung von Ozon bei einem hohen Partialdruck bisher wissenschaftlich nicht ausreichend erforscht ist. **Aufstellort, Windrichtung und Geräusentwicklung sind zu prüfen. Die komprimierte Luft genügt der DIN.**

**Das Bedienungspersonal ist mindestens 18 Jahre alt
und wurde eingewiesen (jährliche Wiederholung).
Darüber gibt es einen **schriftlichen Vermerk.****

Die Betriebsanleitung des Herstellers wird eingehalten.

Die richtige Bedienung ist gewährleistet. Dazu gehören u.a. Kontrolle der Ölstände (Motor und Kompressor), Verwendung der richtigen Ölsorten, Einhaltung der Ölwechselintervalle, Öl- und Wasserabscheider (Kondensatablass) betätigen, Aktivkohlefilter rechtzeitig erneuern, Kompressoranlage auf Dichtigkeit prüfen, Sicherheitsventil checken, Überhitzung ausschließen.

Die Druckluftflaschen sind vor dem Füllen auf Restdruck, allgemeinen Zustand und gültige TÜV/BAM-Zulassung zu kontrollieren. Beim Füllen ist die Reserve zu öffnen.

Literaturhinweis:

Scheyer, Werner (1995): Kompressor.- 2. Aufl. Bielefeld: Delius Klasing; Stuttgart: Ed. Naglschmid, 1995.

3.8 Kommunikation

Die Verständigung (Kommunikation) zwischen Taucher und Signalmann erfolgt unter Einsatz von Hilfsmitteln wie:

- Signalleine
- Blub mit Leine
- Telefon(leine); *Tauchertelefon*
- drahtlose Sprechverbindung
- drahtlose Signalverbindung

3.8.1 Signalleine, Blub

Mit Zug- und Rüttelzeichen können mittels einer Signalleine oder eines Blubs (mit Leine) vor dem Tauchgang vereinbarte Signale zwischen dem Signalmann und dem Taucher ausgetauscht werden. Als Notsignal gilt bei Forschungstauchereinsätzen grundsätzlich ein einmaliger Zug an der Leine (GUV-R 2112, § 5.10.2). Die Anforderungen an eine Signalleine bzw. an eine Blub sind in Abschnitt 5.1.1 dieses Lehrbuches beschrieben.



3.8.2 Tauchertelefon

Tauchertelefon-Anlagen bestehen aus Überwasser-Einheit, Telefonleine und Unterwasser-Einheit.



Die Überwassereinheit enthält in einem meist schwallwassergeschützten Gehäuse: Verstärkereinheit, Stromversorgung (Batterien/Netzanschluß), Mikrophon, Lautsprecher (evtl. Außenlautsprecher), Anschluß für Kopfhörer, Regler für die Lautstärken, Umschalter für die Sprechverbindungen und den Schraubanschluß für das Telefonkabel. **Die Wechselsprechanlage ist grundsätzlich so geschaltet, daß der Signalmann immer den Taucher hören und auf dessen Atemgeräusche achten kann.** Für Mitteilungen an den Taucher erfolgt eine kurze Umschaltung, die nur so lange bestehen bleibt, wie eine entsprechende Taste (Schalter) durch den Signalmann gedrückt wird. Während der Kommunikation ist auf eine deutliche, kurze und klare Sprache in normaler Lautstärke zu achten, da ansonsten die Verständigung stark erschwert wird.

Telefonleine sind Signalleinen, in welche Telefonkabel zugentlastet eingeflochten sind (GUV-R 2112, § 2.7). Ihre Länge beträgt 50 m, 60 m oder 80 m. Beim Tauchen mit schlauchversorgten Geräte wird das Telefonkabel mit dem Luftversorgungsschlauch fest verbunden.

Für die Unterwasser-Einheit gibt es für die Hör- und Sprechereinheit des Tauchers entsprechend der verwendeten Tauchausrüstung verschiedene Möglichkeiten:

- Körperschallmikrofon
Das wasserdichte Körperschallmikrofon eignet sich für Einsätze mit Naß- und Trockentauchanzügen. Es ist mit einem Durchmesser von etwa 35 mm und einer Höhe von 15 mm relativ klein und kann im einfachsten Fall unter dem Kopfband einer Taucherhalbmaske betrieben werden.
- Dynamische Hör- und Sprechkapseln
Die dynamischen Hör- und Sprechkapseln werden in Trockentauchanzügen betrieben. Sie sind dabei fest in Kopfhäube und Maske integriert. Ihre Wiedergabequalität ist

sehr gut. Nachteilig ist ihre Empfindlichkeit gegenüber Wassereinbrüchen.

Tauchertelefone gibt es auch mit einer Ausstattung zur Kommunikation mit mehreren Tauchern gleichzeitig oder wechselweise und der zusätzlichen Möglichkeit einer Kommunikation von Tauchern untereinander (Konferenzschaltung).

Tauchertelefone werden u.a. von folgenden Firmen angeboten:

Firma Dräger	Universal-Tauchertelefon UT 302 / UT 300
Firma Helle Engineering	Diver Phone
Firma Poseidon Tauchprodukte	Dyfo Systems
Firma Interspiro	Isbophone T1 / Isbophone MT II

3.8.3 Drahtlose Sprech- oder Signalverbindungen

Drahtlose Verbindungen werden derzeit mit Reichweiten bis etwa 500 m angeboten. Die Übertragung der Signale erfolgt mit hochfrequentem Ultraschall. Die Sprachqualität von drahtlosen Systemen ist der von Telefonsystemen deutlich unterlegen.

3.9. Rettungskoffer

Der Rettungskoffer gehört zur Standardausrüstung jeder Tauchergruppe. Er muß direkt am Tauchplatz (z. B. an Bord des Taucherschiffes, im Hallenbad) bereit stehen. Befindet er sich unter Verschuß, so sind alle beteiligten Personen über das "Versteck" des Schlüssels zu informieren.

Alle Mitglieder der Tauchergruppe müssen mit dem Inhalt des Rettungskoffers gut vertraut sein, um ihn im Notfall schnell und richtig zu handhaben.

Zur **Mindestausstattung** des staub- und wasserdichten Notfallkoffers gehören:

- **Sauerstoff-Atemgerät, das das Atmen von reinem Sauerstoff für eine Dauer von mindestens 3 Stunden ermöglicht** (Pflichtausrüstung nach UVV „Taucherarbeiten“ [BGV C 23 / bisherige VBG 39], § 14 Abs. 7)).

Zum Atemgerät gehören **Atemmaske** und Anschluss für einen Beatmungsbeutel.

Beispiele:

- ① Atemgesteuerte Dosiereinrichtung mit mindestens 3000 l Sauerstoff (Demand-System)
- ② Kreislaufgerät mit einer Betriebszeit von mindestens 3 Stunden (Beispiel: *Wenoll-System*)

Die Gabe von 100% Sauerstoff normobar ($pO_2 = 1 \text{ bar}$) entspricht einer Druckkammertherapietiefe von 5 bar. Die Sauerstoff-Sättigung und -zufuhr (Oxygenisation) der Gewebe wird stark verbessert und damit ein schnellerer Abbau der Gasblasen (N_2 -Ausscheidung) ermöglicht.

Ambubeutel mit Masken (verschiedener Größen) oder ein Dräger-Orotubus

- GUEDEL-tuben (verschiedene Größen)
- Mundkeil
- Absaugpumpe für Schleim, Absaugkatheter
- **Verbandszeug:** Mullbinden, Heftpflaster, Verbandschere, sterile Mullkompressen, Watte, Brandwundenverbandstuch, Brandwundenverbandspäckchen, Dreiecktuch, Hautdesinfektion
- **Flüssigkeit zum Trinken** (z. B. isotonische Getränke (wie "Isostar") und Wasser)
- Kleiderschere (kräftig genug für Trockentauchanzüge)
- **Rettungsdecke** (gegen Wärmeverlust nach Unterkühlung)
- Splitterpinzette

zusätzlich (insbesondere für den Arzt bzw. entsprechend geschulten Taucher):

- Stethoskop
- Blutdruckmesser
- Fieberthermometer (für Hypothermie geeignet)

- Plasmaexpander und steril verpackte Infusionsbestecke
Plasmaexpander vergrößert das zirkulierende Blutvolumen und erhöht damit deutlich die Gasausscheidung. Ein schockbedingter Volumenmangel wird reduziert.
- Injektionsspritzen, Kanülen
- Medikamente entsprechend dem Einsatzgebiet
Die Gabe von Schmerzmittel (z. B. Sedativa) kann das Krankheitsbild verschleiern und eine Besserung (Symptombfreiheit) vortäuschen.
- Intubationsbesteck, Tubus
- Stauschlauch
- Otoskop (Ohrtrichter, teilweise mit Lupe und Beleuchtungsvorrichtung)

Dem Notfallkoffer sind an schriftlichen Unterlagen beizulegen:

- "Listen der Behandlungskammern und Transportkammern"
(Herausgeber: Tiefbau-Berufsgenossenschaft, Am Knie 6, 81241 München)
und die aktuellste Liste der GTUEM aus dem Internet:
<http://www.gtuem.org/liste/kammernd24.htm>
- Liste mit wichtigen Telefonnummern, wie z. B. SchiffMedInst der Bundesmarine in Kiel
- Nächster erreichbarer Taucherarzt
- Rettungsleitstelle
- **Leitlinie Tauchunfall** der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V.
- Fragebogen zur Unterrichtung des Arztes bei Zwischenfällen
- Papier und Schreibzeug (Bleistift)
- Ausreichend Kleingeld/Telefonkarte zum Telefonieren und/oder ein einsatzfähiges Mobilfunkgerät (Handy)

Die Gabe von Medikamenten ist dem Arzt vorbehalten, dabei wird grundsätzlich nach notfallmedizinischen Standards verfahren. Für die Behandlung von Tauchunfällen ist bisher kein Medikament als sicher wirksam belegt.

Alternativ zur Ausrüstung des Rettungskoffers mit einem konventionellen Sauerstoffsystem (offenes System, 95% des O₂ werden ungenutzt abgegeben) kann auch ein **Wenoll-System** verwendet werden. Dabei handelt es sich um eine Art preiswertes **Sauerstoffkreislaufgerät** (Rückatemsystem). Der Verunfallte atmet echte 100% Sauerstoff, der dabei nicht verbrauchte O₂ wird im Kreislauf behalten während das im Körper produzierte CO₂ dem Kreislauf über einen Absorber entzogen wird. Der zum System gehörige 2 l O₂-Druckgasbehälter (200 bar) kann den Verunfallten über mehrere Stunden (5-8 Stunden) reinen Sauerstoff atmen lassen.

Sauerstoffsysteme mit Bedarfsteuerung ('demand'-Ventile) arbeiten mit einer atemgesteuerten Dosiereinrichtung und ermöglichen damit ebenfalls eine deutliche Verringerung des mitzuführenden Sauerstoffvorrates. In Deutschland werden solche Systeme insbesondere von der Firma Wenoll, der Firma Dräger und der Organisation "DAN" (Divers Alert Network) angeboten. DAN bietet außerdem intensive Schulungen mit diesem Gerät an. Bei einem 2,5 l O₂-Druckgasbehälter (200 bar) und einem AMV von 10 l min⁻¹ ist eine Behand-

lungsdauer von etwa 50 Minuten möglich, bei einer 5 l O₂-Druckgasbehälter (200 bar) sind es 100 Minuten.

3.9.1. Besondere Wartungshinweise für das Sauerstoffatmungsgerät



Sauerstoff ist brandfördernd!

Sauerstoff kann Autooxidationsprozesse (**Selbstentzündung**) auslösen, wenn z. B. öl- oder fettgetränkte Gewebe oder fettverschmutzte Hände damit in Berührung kommen. In Sauerstoff- und Nitroxdruckflaschen können O-Ringe aus Gummi, Silikonfette und Rückstände aus Kompressoröl eine chemische Reaktion mit daraus resultierender Explosion auslösen. Wegen der Explosionsgefahr sind beim Umgang mit komprimiertem reinen Sauerstoff besondere Vorsichts- und Sicherheitsmaßnahmen einzuhalten! **Die Betriebsanleitung des Herstellers ist strengstens zu beachten.** Nur Sauerstoff verträgliche Spezial-Schmiermittel ist zu verwenden.

In geschlossenen Räumen darf es nicht zu einer Anreicherung mit Sauerstoff kommen.

3.10. Seemannschaft

3.10.1. Schlauchboot

Die Betriebsanleitung des Herstellers ist zu beachten. Das Boot darf nur in einem betriebs-sicheren Zustand eingesetzt werden. Vorgeschriebene und notwendige Rettungs- und Sig-nalmittel sind mitzuführen. Die Bootshaut ist vor Treibstoff zu schützen.

Pflege nach jedem Einsatz:

- Mit reichlich Süßwasser vom Meersalz befreien.
- Das Bootsinnere von Sand und Schmutz reinigen (wg. Schleifwirkung).

Pflege nach Bedarf (mindestens einmal jährlich):

- Bootshaut mit handwarmer Seifenlauge reinigen
- Bootshaut ggf. mit Pflegemittel (Schutzwachs) behandeln; nach Anweisung Hersteller
- Metallteile leicht einfetten (gegen Korrosion)
- Holzteile nachlackieren
- Lenzventile + Kammerventile reinigen/prüfen
- Dichtigkeitsprüfung (Seifenlösung)

Zur Mindestausrüstung gehören u.a.:

- Rettungswesten (die ohnmachtssichere Wasserlage bewirken) mit Signalpfeife
- Seenotsignalmittel und Trillerpfeife (oder Signalhorn)
- Spritzwassergeschützte, lichtstarke Handlampe (mit Reserve-Birne und -Batterien)
- Zwei Ruder (Paddel oder Riemen)
- Anker mit Kettenvorläufer und ausreichend langer Leine
- Kompass
- Fußblasebalg mit Schlauch
- Festmacherleine
- Evtl. Sicherheitsleiter
- Reservekanister
- Erste Hilfe Kasten
- Schöpfeimer oder Handlenzpumpe

Bei Tauchereinsätzen zusätzlich:

- Alphaflagge
- Signalhorn
- Megaphon
- Rettungskoffer
- Sprechfunk
- Bei starker Strömung: Strömungsleine.
- Bei Tauchgängen mit Austauschstufen: "Deko"-Leine.

3.10.2. Außenborder

Die Betriebsanleitung des Herstellers ist zu beachten.

- Benzinschlauch: **Richtig einkuppeln, auf "Laufriechung" achten!**
- Gemischschmierung (z. B. 1:50, d.h. 1 l Spezialöl auf 50 l Treibstoff)
- Beim Einsatz mitführen:
Reservekerzen und rostfreies, seewasserbeständiges Werkzeug

Nach Einsatz:

- Benzinschlauch abkuppeln.
- Motor im Leerlauf "auslaufen" lassen.
- Motor mit Propeller nach unten aufstellen/aufhängen.

Nach Einsatz in Seewasser:

- Motor im Süßwassertank im Leerlauf warmlaufen lassen, bzw. statt Verwendung des Süßwassertanks einen Wasserschlauch mit Adapter an den Wasseransaugöffnungen befestigen um damit eine ausreichende Wasserversorgung zu gewährleisten.

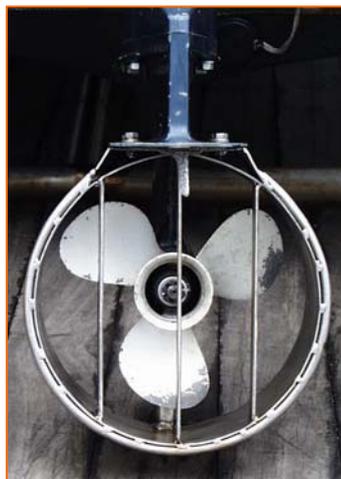
Saisonende:

Motorgehäuse und Tank waschen, Lackschäden ausbessern, Gehäuse ggf. mit Schutzwachs behandeln, Wartung/Inspektion (Getriebeöl wechseln, abschmieren), Konservieren (Kerzen raus, Motoröl einfüllen, Kerzen rein)

- auf Forschungsschiffen:

Meist Einsatz von Diesel-Außenbordern wg. Problem Treibstoff-Lagerung

Bei Taucheinsätzen muss der Propeller (Schraube) mit einem Berührungsschutz ausgestattet sein.



3.10.3. Anker

Gewicht des Ankers entsprechend der Bootsgröße (s. entspr. Tabellen)

2 Typen: - Gewichtsanker
- Patent- oder Leichtgewichtsanker

Gewichtsanker wirkt aufgrund seines hohen Eigengewichtes, bester Allroundanker.

Beispiel: Stock- oder Admiraltätsanker
hält im sandigen Grund ca. das 5-fache seines Gewichtes,
fasst gut auf steinigem, tonigen und verkrauteten Grund

Patent- oder Leichtgewichtanker haben bei gleichem Gewicht bedeutend höhere Zugfestigkeit oder Haltekraft.

Beispiele: Danforth-Anker (Plattenanker)
Je nach Grund: 3-300 fache Haltekraft im Vergleich zu einem Stockanker
gleichen Gewichtes
aber: auf verkrautetem Untergrund unbrauchbar
Falt- oder Schirmdraggen
gut bei festem, steinigem Grund

Länge des ausgelegten Ankertaus:

Bei Kette: mind. 3-fache Wassertiefe

Bei Leine: mind. 5-fache Wassertiefe

Je länger je besser!

Gezeitenhub (Wasserstandsänderungen) beachten.

Zwischen Anker und Ankerleine gehört ein 4-5 m langer Kettenvorlauf,
der Zug der Kette wirkt parallel zum Boden.

Ggf. Ankerball (Ankerlicht) setzen (ab 7 m Bootslänge auf SeeSchStr),
schwarzer Ankerball / weißes Rundumlicht im vorderen Schiffsteil gut sichtbar.

3.10.4. Knoten und Leinen

(Beitrag von Dr. A. Lipp, Version: 17.02.2005)

Knoten entstehen beim Verbinden verschiedener Schnüre oder indem man das lose Ende einer Schnur durch eine Schlaufe führt und festzieht. In seemännischer Ausdrucksweise wird aus der Schnur ein Ende, starke Enden sind Trossen, dünne Enden sind Leinen. Beim Forschungstauchen werden Leinen benutzt (Signalleine, Handleine, Telefonleine, Laufleine, Grundtau, Blubleine).

Material

Es sollten möglichst nur Synthetikmaterialien benutzt werden. Ihre Reißfestigkeit wird durch Nässe nicht beeinträchtigt und sie verrotten nicht. Leinen sollen nach ihren jeweiligen Funk-

tionen ausgewählt werden. Polypropylen ist nicht so stabil wie Nylon oder Polyester, dafür schwimmfähig. Eine schwimmfähige Leine kann in speziellen Fällen sinnvoll sein, aber sie kann sich an einem Propeller leichter verfangen. Polyäthylen ist schwächer als andere Synthetikleinen. Es ist billiger, hat aber weitere Nachteile: dehnbar und gleitfähig. Dieses Material sollte nicht benutzt werden. Nachteil fast aller Synthetikleinen ist die Empfindlichkeit auf Reibungswärme. Verschmolzene Leinen oder verschmolzene Teilstücke müssen beseitigt werden.

Umgang

Die reißfestesten Leinen bestehen aus einer geflochtenen Außenhülle und einem Kernstück, diese Kombination ist biegsam und weich. Steife Leinen lassen sich nur schwer knoten (z.B. „Meteorleine“), zu weiche Leinen schieben sich auf. Die Enden der Leinen müssen versiegelt werden. Die Schnittstelle mit einem scharfen Messer durchtrennen und mit einem Feuerzeug anschmelzen. Mit einem feuchten Finger wird das Ende begradigt.

Leinen sollten nicht über rauhe, scharfe Kanten oder sandige Oberflächen gezogen werden. Leinen sollten aufgewickelt werden, damit sie im Bedarfsfall sofort eingesetzt werden können. Ein Luftversorgungsschlauch mit Telefonleine wird in großen Augen abgelegt. Eine Signalleine kann in einem Gefäß aufbewahrt werden, dessen Boden gelocht wurde, damit Wasser ablaufen kann und das Ende zum Sichern unten entnommen werden kann. Die Signalleine sollte nicht in Augen gelegt werden, damit sich beim zügigen Fieren keine Schlaufen bilden.

Leinen mit bestimmten Funktionen sind zweckbestimmt hergestellt und sollten nicht für fremde Zwecke benutzt werden. Ein Höhlenseil ist z.B. nicht dehnbar, es darf unter keinen Umständen zum alpinen Klettern eingesetzt werden. Angaben über Eigenschaften der beim Forschungstauchen zu verwendenden Leinen siehe Kapitel 5 oder GUV-R 2112 § 4.4.

Knoten

Vor dem Knoten sollte man sich überlegen wie dieser wieder gelöst werden muß. Darf eine Zugschlinge zum Lösen eingebaut werden? Hohe Belastung erfordert mehr Außenwindungen zum Abfangen der Last. Wie reagiert der Knoten auf plötzliche Belastung?

Für jede Aufgabe muß der richtige Knoten gewählt werden. Das Knüpfen der Knoten sollte geübt werden, so daß die notwendigen Knoten unter Wasser und hinter dem Rücken richtig gebunden werden.

Stopperknoten verhindern, daß ein Seilende durch eine Öse gleitet. Mit ihnen werden auch Seilenden beschwert, damit die Seile geworfen werden können (Festmacherleinen).

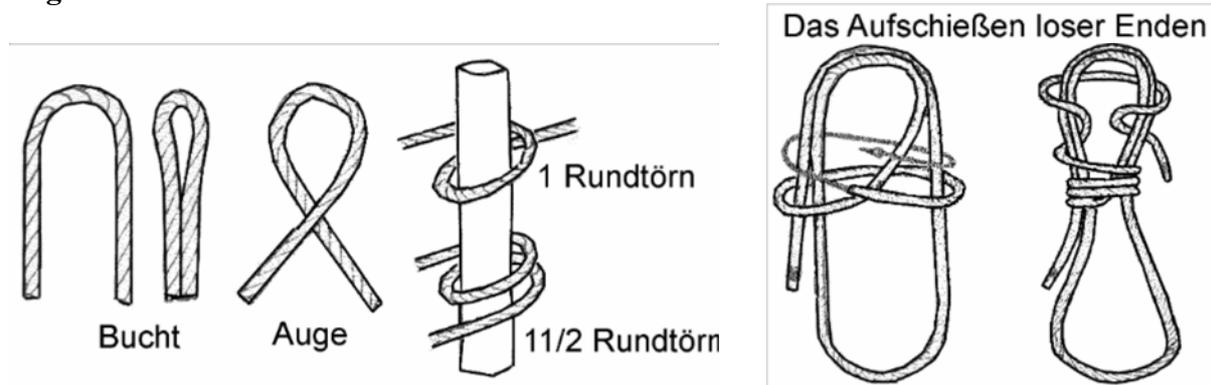
Verbindungsknoten werden für Leinen und zum Verbinden von Gegenständen genutzt.

Steke legt man, um Seile mit Gegenständen anzubinden.

Fast alle Knoten haben ihren Ursprung in der Seefahrt. Der Ursprung anderer Knoten ist speziellen Notwendigkeiten bestimmter Berufsgruppen zuzuordnen wie Chirurgen, Anglern, Metzgern, Henkern oder Bergsteigern. Knoten haben/hatten in einigen Kulturen ihre eigene Bedeutung (Kalender, Rechenhilfen, dokumentierten Handelsgeschäfte oder als Rosenkranz).

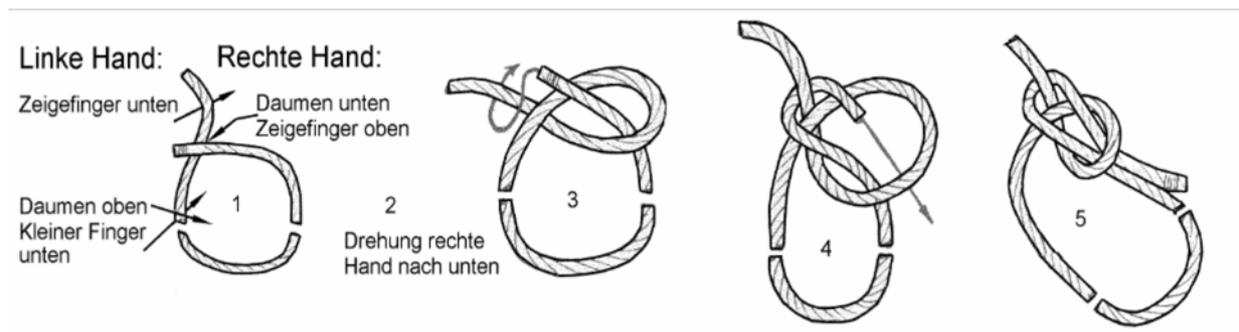
Wichtig ist der richtige Knoten für den erforderlichen Zweck.

Begriffe



Palstek

Nicht zuziehendes Auge. Zum Sichern des Tauchers mit der Signalleine.



Reffknoten (zum Befestigen i.e.S. reffen eines Segels mit zwei Enden am Baum)

Vorläufige Verbindung von zwei gleich starken Enden. Keine sichere Verbindung. Ein gegenläufiger Zug am Ende läßt den Knoten umschlagen und die Seilenden rutschen auseinander. Trotzdem sehr geeignet für die Schuhschlaufen.

Wird sehr oft Kreuzknoten genannt (Prüfungskommission): Das ist falsch (s.u.).

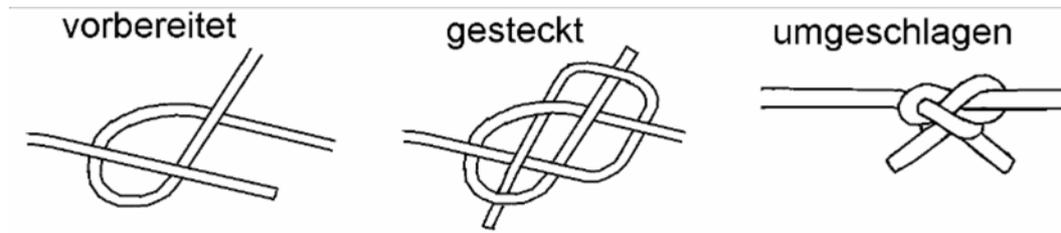


Kreuzknoten (nur zur Klarstellung)

Stabiler Knoten zum Verbinden zweier Enden (auch für Seile mit großem Durchmesser).

Bei Nässe schwer zu lösen. In der flachen Form ein Zierknoten für Gürtel und Schals.

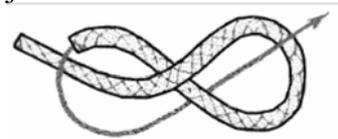
Beim Zusammenziehen schlägt der Knoten um und erreicht seine Stabilität. Wird auch aufgrund des großen Durchmessers kaum noch benutzt.

**Doppelter Schotstek**

Verbindung von zwei ungleich starken Enden. Ist nicht absolut zuverlässig beim Hin- und Herschlagen ohne Zug oder hoher Belastung. Knoten muß von losen Parten dichtgeholt werden.

**Achtknoten**

Verhindert das Durchrauschen eines Endes durch Block oder Öse. Gehört in den Tampen jeder Schot:

**Achtstek oder Flämischer Knoten**

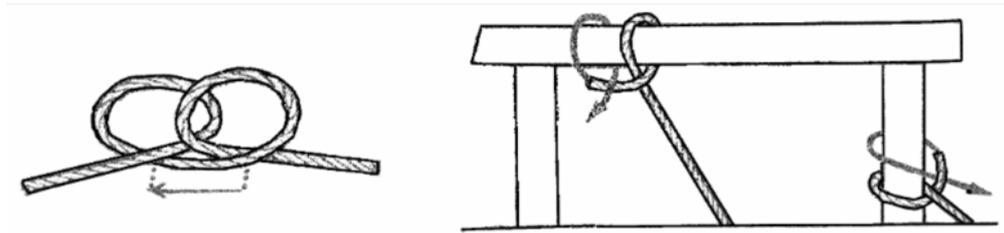
Der Knoten zum Verbinden von Leinen.

Erst einen Achtknoten legen. Dann die zweite lose Part parallel zur ersten Part, aber gegen deren Richtung, durch die Acht führen. Am Ende alle Parten parallel dichtziehen.



Webleinenstek

Zum kurzfristigen Belegen an der Reling oder am Poller. Hält nur unter Last:



Mehr Informationen über Knoten in der „Knotenbibel“:

“The Ashley Book of Knots”, C. W. Ashley, 1944; ca. 4000 Knoten

3.10.5. Seefunksprechverkehr, Seenotfunksystem

Um in Notfällen schnell Hilfemaßnahmen einleiten zu können, muß am Tauchplatz (insbesondere auf Schiffen/Schlauchbooten) eine sofortige Kommunikationsmöglichkeit mit den entsprechenden Hilfsorganisationen bestehen oder in kürzester Zeit hergestellt werden können. Zur Kommunikation können Funkgeräte und Funktelefone (Handys) eingesetzt werden.

Seegängige Schiffe sollten mit einem **UKW-Seefunksprechgerät** ausgerüstet sein. Auf allen Seegebieten und den Bundeswasserstraßen kann auf **UKW Kanal 16** eine Notmeldung an die nächste Funkstelle abgegeben werden. Von dieser Funkstelle bzw. der zuständigen Rettungsleitstelle werden die entsprechende Rettungsmaßnahmen eingeleitet bzw. gegebenenfalls eine ärztliche Beratung organisiert. In den deutschen Such- und Rettungsbieten in der Nord- und Ostsee wird seit dem 1. Januar 1999 die Überwachung von Kanal 16 und Kanal 70 (DSC) durch die DGzRS (Deutsche Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger) wahrgenommen. Die DGzRS-Seenotleitung führt das Rufzeichen "**Bremen Rescue Radio**". Kanal 70 arbeitet mit dem digitalen Selektivrufverfahren ("DSC" - *Digital Selective Calling*) und ermöglicht eine weitgehend automatisierte Verbindungsaufnahme und Seenotmeldung auf Tastendruck.

Internationale Sprechfunknotfrequenz
(**Seenotalarmierung**)

UKW-Kanal 16 (156,8 MHz)

Steht kein Seefunksprechgerät zur Verfügung kann die DGzRS auch mit Funktelefonen (Handys) der Netze D1, D2, E-plus unter der einheitlichen SAR-Alarmrufnummer 124 124 erreicht werden. Voraussetzung ist eine ausreichende Reichweite der Funknetze; dies ist häufig nicht der Fall. Weiterer Nachteil ist, daß diese Geräte nicht angepeilt werden können und eine direkte Kommunikation mit den Suchschiffen bzw. den Rettungskräften nicht möglich

ist. Die Seenotleitung Bremen der DGzRS ist auch unter der Festnetznummer 04121 / 536 870 erreichbar.



Ist das Leben eines Menschen bedroht, wird der Funkspruch auf Kanal 16 mit den Worten *Pan, Pan, Pan* (gesprochen: Pann, Pann,..) (international gültige Dringlichkeitsmeldung) eingeleitet, anschließend erfolgt die Nennung des Schiffnamens mit Unterscheidungssignal, die Angabe der Position und die Art des Unfalles. Beispiel (Schiffsname: Sturmvogel, Unterscheidungssignal: DEEC): **Pan, Pan, Pan, hier ist Sturmvogel, Sturmvogel, Sturmvogel, DEEC (gesprochen: Delta Echo Echo Charlie). Position: 2 Seemeilen vor Marseille** (evtl. genaue Positionsangabe). Diese Meldung wird wiederholt. **Ich habe einen Taucherunfall an Bord, erbitte dringend Hilfe.** Wiederholung des Anrufes in einfacher Form. Im Ausland werden Meldungen in der Landessprache oder in Englisch abgegeben.

Eine *Mayday-Mayday* Meldung (international gültige Notmeldung) darf abgegeben werden, wenn eine unmittelbare Gefahr für Schiff und Besatzung besteht (Beispiel: Taucherboot droht zu sinken). Die Form der Meldung entspricht dem Beispiel im vorhergehendem Absatz, die Worte *Pan, Pan, Pan* werden durch die Wortfolge *Mayday-Mayday-Mayday* ersetzt.

Auch ohne die vorgeschriebene behördliche Funklizenz sollte jeder Taucher in der Lage sein, im Notfall eine entsprechende Funkmeldung abzusetzen.

Auf kleineren Booten oder bei Tauchgängen in entlegenen Gegenden sollten mindestens tragbare Funkgeräte (z.B. CB-Funk) mitgeführt und eine durchgeprobte Funkverbindung gewährleistet werden.

Buchstabiertafel (NATO)		
A = Alfa	J = Juliett	R = Romeo
B = Bravo	K = Kilo	S = Sierra
C = Charlie	L = Lima	T = Tango
D = Delta	M = Mike	U = Uniform
E = Echo	N = November	V = Viktor
F = Foxtrott	O = Oscar	W = Whiskey
G = Golf	P = Papa	X = X-ray
H = Hotel	Q = Quebec	Y = Yankee
I = India		Z = Zoulou
Komma = Decimal		Punkt = Stop

3.10.6. Signalmittel

Nach der SeeStrO gelten rote Leuchtsterne als Seenotsignale, die nur gegeben werden dürfen, wenn Gefahr für Leib und Leben der Menschen an Bord besteht.

Im Wasser treibende Taucher, insbesondere wenn sie tarnfarbene "schwarze" Tauchbekleidung bevorzugen, sind bei Seegang, Dunkelheit oder großer Entfernung zum Tauchboot kaum sichtbar und bei Suchaktionen häufig nicht wiederzufinden.

Druckluftpfeifen, Signalpatronen, Blitzlichter und/oder aufblasbare Signalkörper (Kugeln, Röhren) sollten deshalb bei Tauchgängen während der Nacht, in der offenen See und in großen Binnenseen zur Erhöhung der Sicherheit mitgeführt werden.

Verwendung von roten Signalpatronen (z. B. Nicosignal): kurz hintereinander zwei Sterne abschießen (Aufmerksamkeit erregen), die Signaleinheit (2 Sterne) nach 5 Minuten ggf. wiederholen (Bestätigung), 2 Sterne in Reserve halten um Retter gezielt zur Unfallstelle zu führen.

NICOSIGNAL - waffenscheinfreier Signalgeber, 6 Schuß, wahlweise in drei Signalfarben: rot, grün, weiß. Steighöhe: ca. 80 m, Brenndauer: ca. 6 Sekunden, Munitionshaltbarkeit: 3 Jahre, Garantie: 6 Monate. Nach jedem Tauchgang in Salzwasser mit Süßwasser spülen um Salzurückstände zu entfernen.

Insbesondere für Nachtauchgänge empfiehlt sich ein UW-Blitzgerät, z.B. das Xenec Strobe Light SL-15 (maximal sichtbar über Wasser bis zu 3,4 Kilometer, funktionsfähig bis zu 15 Stunden, Angaben lt. Hersteller).

3.10.7. Seekarte

Eine Position wird definiert durch Angabe von geographischer Breite ϕ und Länge λ .

Eine Seemeile entspricht einer Länge von 1852 m. Ein Schiff bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von einem Knoten, wenn es pro Stunde die Strecke von einer Seemeile zurücklegt.

Seekarten müssen laufend berichtigt werden. Die notwendigen Informationen finden sich in den "Nachrichten für Seefahrer (NfS)", die wöchentlich vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) herausgegeben werden. Zusätzlich werden wichtige, aktuelle Warnhinweise an geeigneten Stellen als "Bekanntmachungen für Seefahrer (BfS)" ausgehängt. Seehandbücher enthalten ausführliche Beschreibungen aller Gewässer, Häfen, usw.

3.11. Funktionsstörungen von Tauchgeräten durch Vereisung

Beim Tauchen in kalten Gewässern besteht die Gefahr der Vereisung von Tauchgeräten und damit ein erhöhtes Tauchrisiko. Man unterscheidet zwischen der **inneren Vereisung** und der **äußeren Vereisung**. Bereits bei Wassertemperaturen um 6 °C können Vereisungen vorkommen. Keine Gefahr droht bei Wassertemperaturen über 8 °C.

Joule-Thompson Effekt:

Bei der Ausdehnung (Expansion) eines realen Gases ohne äußere Arbeitsleistung kommt es zu einer Temperaturveränderung.
(Arbeitsleistung gegen die molekularen Anziehungskräfte)

Bei Luft und CO₂ kommt es bei Zimmertemperatur zu einer Temperaturerniedrigung (Abkühlung), bei H₂ zu einer Erwärmung. Bei einer Druckabnahme um 1 bar ist die Temperaturabnahme für Luft 0,25 K und für CO₂ 1,25 K, während es bei H₂ zu einer Temperaturerhöhung um 0,025 K kommt. Für jedes reale Gas gibt es eine sogenannte Inversionstemperatur, unterhalb der sich das Gas bei der Entspannung abkühlt, oberhalb der sich das Gas jedoch erwärmt. (s. a. M.Bormann, J.Braunsfurth, ca. 1970: Experimentalphysik I, Vorlesungsskript). Der Inversionspunkt von Luft liegt bei 627 °C, der von Helium bei -238 °C. Eine Vereisung von Atemreglern für Heliumgemische ist deshalb ausgeschlossen.

Die Stärke der Temperaturänderung der Atemluft an der Drosselstelle im Druckminderer (1. Stufe) ist abhängig vom jeweiligen Flaschendruck und dem eingestellten, tiefenabhängigen Mitteldruck (Versorgungsdruck der 2. Stufe). Der stärkste Effekt tritt bei einem Druckgefälle von 165 bar auf. Temperaturabnahmen bis zu 30 °C sind durchaus möglich.

Bei Tauchgeräten tritt der Joule-Thompson-Effekt in der Druckluftflasche am Sinterfilter des Ventils und im Atemregler insbesondere im Druckminderer (1. Stufe) am Ventilsitz auf. Bei feuchter Atemluft kann es an diesen Orten aufgrund der Temperaturerniedrigung zu einer Eisbildung kommen. Man bezeichnet dies als *innere Vereisung*. Entspannte Atemluft entsprechend der DIN EN 12021 enthält weniger als 25 mg Wasser pro Kubikmeter, damit ist die Gefahr einer inneren Vereisung stark vermindert. Feuchtigkeit (Wasser) kann auch durch falsche Handhabung des Gerätes und bei nicht ausreichender Trocknung nach der TÜV-Prüfung in die Flasche gelangen.

Eine Vereisung des Sinterfilters (am Flaschenventil oder am Druckminderer) führt zur Blockade oder Drosselung des Luftstromes, d.h. der Taucher erhält keine oder unzureichend Atemluft. Neben der direkten Vereisung des Filters kann es auch zu einer Verlegung des Sinterfilters der 1. Stufe durch Eiskristalle kommen, die sich durch Wasserdampfkondensation und -abkühlung beim Durchströmen des Ventils gebildet haben. Durch Ausbau des im Ventil (Wasserrohr) sitzenden Filters kann eine der Gefahren beseitigt werden.

Eine Vereisung in der 1. Stufe (Druckminderer) führt bei den meisten Automaten zu einem ständigen Abströmen der Atemluft, dem Taucher verbleibt dadurch meistens noch ausreichend Luft für einen Notaufstieg.

Der Joule-Thompson-Effekt bewirkt insbesondere bei großer Luftentnahme und niedrigen Wassertemperaturen eine Abkühlung des gesamten Druckminderers, die durch die Wärmezufuhr aus dem umgebenden Wasser nicht sofort ausgeglichen werden kann. Gefrorenes Umgebungswasser (Eisklumpen) im Steuerraum (Wasserkammer) kann die Membran- (bzw. Kolben-) Bewegung blockieren, der Automat bläst dann in der Regel ab. Diese Auswirkung wird als äußere Vereisung bezeichnet. Eine Füllung des Steuerraumes mit Glyzerin/Fett und eine flexible Abschottung gegen das umgebende Wasser (z. B. mit einer Frostschutzkappe) kann diese Vereisung verhindern.

Zu einer Vereisung der 2. Stufe kommt es manchmal auch beim "Testen" (Probeatmen) an Land, wenn die Lufttemperatur $< 0\text{ °C}$ ist. Dieser Defekt behebt sich meist, wenn die 2. Stufe ins Wasser gehalten wird.

Maßnahmen bei eingetretener Vereisung

- **Ruhe bewahren!**
- **Ventil schließen** und warten bis Eis durch Wärmezufuhr aus dem umgebenden Wasser geschmolzen ist,

solange: **Wechselatmung mit dem Partner**
(dabei verdoppelt sich die notwendige Luftlieferleistung des Automaten des Partners → erhöhte Vereisungsgefahr)

besser: zwei komplette Atemregler (kein Oktopus) an zwei getrennten, einzeln absperrbaren Abgängen

Hinweis:

Beim Tauchen mit zwei kompletten Atemreglern an getrennten Ventilabgängen, sollte sich der Mitteldruckschlauch von Weste bzw. Jacket an einem Druckminderer, der Luftzufuhrschlauch des Trockentauchanzuges an dem anderen Druckminderer befinden. Damit wird sichergestellt, dass die Tarierung bei Ausfall eines Atemreglers weiterhin möglich ist.

Vorbeugende Maßnahmen

- Persönliches Verhalten:**
- * ruhig und sparsam atmen (hilfreich sind eine gute Kondition und ständiges Training)
 - * keine Tauchgänge mit Pflicht zum Einhalten von Austauschpausen
 - * keine Tauchgänge unter Eis
 - * Luftdusche nicht für Arbeiten verwenden (z. B. Hebesack füllen)
 - * Einatmen und Inflatorbenutzung (Weste (Jacket), Trockentauchanzug) nicht gleichzeitig
 - * Luftdusche/Inflator nicht länger als 5 Sekunden benutzen
 - * ausreichend eigene Taucherfahrung
 - * nur mit erfahrenen Partnern tauchen
 - * bei Minusgraden nicht mit dem Gerät an der Wasseroberfläche schwimmen
- Ausrüstung:**
- * Frostschutzkappe verwenden (Füllung der Wasserkammer mit Öl/Fett (z. B. Glyzerin))
 - * besonders vereisungssicheren Atemregler verwenden (z.B. Zweischlauchautomaten, wg. großer Gehäuseoberfläche)
 - * zweiter separater, kompletter Automat an zweitem, einzeln absperrbarem Ventil
 - * komplettes Gerät vor Gebrauch mindestens eine Minute an Wassertemperatur angleichen
 - * Kompressor mit trockener Atemluft nach DIN EN 12021
 - * verschmutzte Sinterfilter erneuern
 - * membrangesteuerte Automaten sind häufig vereisungssicherer als kolbengesteuerte Atemregler (Atemregler mit durchströmten Kolben sind besonderes gefährdet)
- Sonstiges:**
- * vor Druckluftfüllung alle Ventile durch kurzes Öffnen trocken blasen
 - * beim Spülen des Atemreglers Eindringen von Wasser in das Gerät verhindern (Schutzkappe mit O-Ring-Dichtung)

3.12. UW-Schutzbekleidung

Taucher müssen sich unter Wasser mit einer geeigneten Schutzbekleidung gegen Kälte und Wasserverschmutzung schützen. Bei Berufs- und Forschungstauchern ist die Schutzbekleidung durch den Unternehmer zu stellen.

Zur UW-Schutzbekleidung gehören:

- Taucheranzug (Nasstauchanzug oder Trockentauchanzug)
- Kopfhaube
- Handschuhe
- Füßlinge
- ggf. Unterzieher

Für Forschungstaucher gilt nach § 4.2 der GUV-R 2112:

Der Unternehmer hat für jeden Taucher (Einsatztaucher und Reservetaucher) folgende Mindestausrüstung zu stellen:

-
- Taucherschutzanzüge nach Tauchbedingungen, z.B. Trockentauchanzug mit Kopfhaube und Wollzeug oder, falls Tauchzeit, Tauchtiefe und Aggressivität des Wassers es zulassen, Nasstauchanzug mit Kopfhaube und Füßlingen entsprechend DIN EN 14 225
-

3.12.1. Nasstauchanzüge

Nasstauchanzüge sind gefertigt aus geschäumtem „Neoprene“, sie werden deshalb als „Neopren-Tauchanzüge“ bezeichnet. Zwischen Anzug und Haut des Tauchers befindet sich eine dünne Wasserschicht, die sich durch die Körpertemperatur des Tauchers erwärmt. Aufgrund dieser Erwärmung nimmt die Dichte des Wassers leicht ab. Es bildet sich dadurch eine leichte Wasserzirkulation aus, d.h. das erwärmte Wasser steigt auf, während von unten kaltes Wasser nachströmt. Bei guter Passform des Anzuges ist die Wasserzirkulation und der damit zusammenhängende Wärmeverlust gering. Bei schlecht sitzenden Anzügen kann es in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet, d.h. von der aktuellen Wassertemperatur, zu bedeutsamen Wärmeverlusten (durch Konvektion) kommen. Mit zusätzlichen Dichtungen an Händen, Kopf, Füßen und unter dem Reißverschluss kann der Wasserdurchfluss stark reduziert werden. Derart ausgestattete Anzüge werden als halbtrockene Tauchanzüge (Halbtrockenanzüge, „semi-dry“) bezeichnet.

Zu den Nasstauchanzügen gehören auch die Tropentauchanzüge. Diese Anzüge bieten nur geringen oder keinen Schutz gegen einen Wärmeverlust. Sie dienen in erster Linie als Schutz gegen marine Nesselgifte (von Tieren und Pflanzen), Schnitt- und Schürfwunden, starke Sonnenstrahlung und sehr beschränkt auch gegen Stichverletzung durch Meerestiere. Gefertigt werden Tropenanzüge aus Materialien wie Nylon, Neopren und Lycra. Sehr häufig zeichnen sie sich auch durch eine äußerst farbenfrohe Gestaltung aus. In kalten Gewässern sind Tropenanzüge auch als Unterzieher unter Nasstauchanzügen sinnvoll nutzbar.

Die Wärmeschutzwirkung (Isolation) eines Nasstauchanzuges hängt von seiner Materialstär-

ke und –qualität ab:

<u>Materialstärke:</u>	2 - 3 mm für Tropeneinsatz
	3 - 5 mm für warme Gewässer
	6 - 8 mm für kalte Gewässer (z. B. Nordsee, heimische Seen)

Neben der Materialstärke wird die Wärmeschutzwirkung auch durch die Art der inneren Kaschierung (Nylon, Frottee, Titaniumbeschichtung) bestimmt.

Der Tauchanzug muss auch in Abhängigkeit von den persönlichen Anforderungen gewählt werden. Die eigene Fitness, das Körperfett und die aktuelle Gewöhnung an das kalte Wasser spielen dabei eine wichtige Rolle. Frauen frieren häufig eher als Männer, benötigen folglich dickere Anzüge.

Nasstauchanzüge werden in unterschiedlichen Ausführungen angeboten:

- Einteiliger Overall mit/ohne Weste
- Zweiteilig mit Jacke und Long-John-Hose (Farmer-John-Hose)
- Mit Unterzieh-Shorty
- Mit angesetzter oder mit separater Kopfhaube
- Mit/ohne Reißverschlüssen an den Armen/Beinen
- Mit Knieschonern
- Mit Verstärkungen in stark belasteten Bereichen
- Mit Verstärkungen im Bereich der Wirbelsäule (zusätzlicher Kälteschutz)
- Als Maßanzug.

Innen kaschierte Anzüge erleichtern das An- und Ausziehen. Anzüge ohne Innenkaschierung werden nicht angeboten.

Damit die Wasserzirkulation im Anzug möglichst gering ist, muss der Anzug gut am Körper anliegen. Er darf nicht locker sitzen und sollte keine Wasserfallen enthalten. Wird andererseits das Material überdehnt, verringert sich seine Isolationswirkung deutlich. Sitzt der Anzug zu eng, wird die Blutzirkulation behindert. Beim Tauchen in sehr kalten Gewässern kann vor dem Tauchgang warmes Wasser in den angezogenen Nasstauchanzug vorsichtig eingefüllt werden. Dieses Wasser muss dann nicht erst durch körpereigene Wärme erhitzt werden.

Die Verwendung einer Kopfhaube ist außer in tropischen Gewässern unbedingt notwendig. Gerade im Bereich von Kopf und Nacken erfolgt der größte Wärmeverlust (bis zu 60%).



Pflege des Neopren-Tauchanzuges

- Kurze Fingernägel schonen die Anzüge und vermeiden „Schnittwunden“. Möglichst keinen Zug auf die Nähte ausüben.
- Nach Tauchgängen im Seewasser gut mit Süßwasser spülen (alle Salzkristalle entfernen).
- Gut trocknen lassen, aber nicht in der Sonne (UV-Strahlung schädigt das Material).
- Aufbewahrung auf einem breiten Bügel in einem kühlen und trockenen Raum.
- Am Ende der Saison bzw. nach längerem Einsatz handwarm mit wenig Feinwaschmittel in der Waschmaschine ohne Schleudergang waschen.
- Manschetten (bei halbtrockenen Tauchanzügen) mit Seife fettfrei machen.



Kleben von Neopren

- Beide Schnittkanten (Schnittflächen) müssen vollkommen sauber und trocken sein.
- Klebeflächen mit Alkohol, Aceton, Nitro o. ä. reinigen und entfetten.
- Einen Klebstoff verwenden, der nicht älter als 6 Monate ist.
- Klebstoff auf beiden Seiten gleichmäßig auftragen (auf tupfen, nicht streichen) und gut ablüften lassen (15 bis 60 Minuten, je nach Klebstoff)
- Auf beiden Flächen Klebstoff nochmals dünn auftragen und etwa 5 Minuten trockenen lassen.
- Beide Flächen kräftig zusammenpressen! (Dabei ist die Presskraft entscheidend und nicht die Pressdauer.)
- Die volle Festigkeit ist nach etwa 24 Stunden erreicht.

Tauchanzüge aus „Neopren“

Unter dem Begriff „Neopren-Tauchanzüge“ werden Tauchanzüge verstanden, die aus geschäumtem „Neoprene“ bestehen. Der Markenname „Neoprene®“ stammt von der amerikanischen Firma DU PONT. Der Name ist heute nicht mehr geschützt. Im Unterschied zur korrekten Bezeichnung „Neoprene“ wird im Tauchbereich das Wort Neopren ohne ein „e“ am Ende verwendet.

DuPont wurde 1802 von dem französischen Einwanderer Eleuthère Irénée du Pont de Nemours als Schwarzpulverfabrik gegründet. E. I. Du Pont war ein Schüler von Antoine Lavoisier, dem Vater der modernen Chemie. Er brachte eine Reihe innovativer Ideen bezüglich der Herstellung von zuverlässigem Schießpulver und Sprengstoff mit nach Amerika. Sehr schnell erwarb er einen guten Ruf als Hersteller von Qualitätsprodukten mit einem hohen Sicherheitsstandard, so dass sich sein Unternehmen prächtig entwickelte. Heute hat sich Du Pont sehr weit von seinen Ursprüngen als Hersteller von Explosivstoffen entfernt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts bereiteten Wissenschaftler von Du Pont den Weg für revolutionäre neue Werkstoffe. Den Anfang machten sie mit den Entdeckungen von Nylon, Neoprene und Teflon®. (Quelle: Pressemitteilung der Firm

Neoprene ist ein gelblicher, knetbarer Synthetikgummi aus Polychloropren (Abk.: „CR“), ein Kohlen-Wasserstoff mit angelagerten Chloratomen. Durch die Chlorbestandteile ist das Neoprene sehr alterungsbeständig. Zur Herstellung von geschäumtem Neoprene wird das Neoprene mit Füllstoffen (Ruß, Talkum, Kreide, u.a.), Weichmacher und einer Stickstoffverbindung (als Treibmittel) gemischt und unter Hitze und Druck in einer Form vorvulkanisiert. Der Stickstoff geht dabei in den gasförmigen Zustand über. Später diffundiert er jedoch aus dem Material. Die Bläschen behalten aber auch weiterhin ihre Form und Gestalt. Neoprene selber besitzt eine relativ geringere Isolationswirkung. Durch die Bläschen wird das Material weich, elastisch und gut isolierend. Die Größe der Bläschen nimmt allerdings mit der Tiefe ab (s. a. Gesetz von Boyle-Mariotte) und dadurch reduziert sich die Anzugsstärke und die Isolationswirkung deutlich.

Bei modernen Tauchanzügen ist das Neopren(e) mit Nylon, Lycra oder ähnlichem Stoff beidseitig beschichtet („kaschiert“). Die innere Kaschierung erleichtert das An- und Ausziehen des Tauchanzuges, während die äußere Kaschierung das Neopren schützt und ein farblich-modisches Aussehen ermöglicht. Die vielfach in der Werbung hervorgehobene Innenbeschichtung mit Titan soll eine Wärmerückstrahlung bis zu 40% gewährleisten, diese Behauptung ist umstritten und bisher nicht eindeutig nachweisbar.

3.12.2. Trockentauchanzüge

Trockentauchanzüge sind von der Bauart her komplett wasserdicht und am Reißverschluss gasdicht. In der Praxis beobachtet man aber häufig Dichtungsprobleme an den Manschetten und/oder an den Ventilen.

Konstantvolumen-Anzüge (KV-Anzüge) sind Trockentauchanzüge, die durch die Ausatemluft des Tauchers oder alternativ durch zusätzliche Luft (oder das Edelgas Argon) aus den mitgeführten Gasflaschen unter Wasser aufgeblasen werden können. Entsprechend verfügen sie für die Auftauchphase über ein Ablassventil. Das Volumen des Anzuges kann damit konstant gehalten und Volumenänderungen aufgrund unterschiedlichen Tauchtiefendruckes (s. a. *Gesetz von Boyle-Mariotte*) ausgeglichen werden. Gegenwärtig sind Trockentauchanzüge fast immer Konstantvolumenanzüge. Alte Helmtaucher-Trockentauchanzüge sind keine KV-Anzüge. In ihnen kann sich beim Abtauchen ein relativer Unterdruck ausbilden. Typisch sind dann Barotraumen der Haut durch Quetschfalten im Anzug.

Trockentauchanzüge werden entsprechend des verwendeten Materials eingeteilt in:

- Membrananzüge
- Neopren(e)anzüge

Membrananzüge bestehen aus mehrschichtigen Materialien. Vorwiegend verwendet wird ein Trilaminat. Dabei übernimmt die mittlere Schicht die Dichtungsfunktion, die äußere Schicht schützt vor mechanischer Beschädigung und die innere Schicht soll den Wärmeverlust reduzieren. Als Material wird beispielsweise für die mittlere Schicht Butylkautschuk und für die äußere Schicht Nylongewebe eingesetzt. Die Reparatur von Anzügen aus Trilaminat ist schwierig, meist sind spezielle Klebverfahren notwendig, um eine haltbare Verbindung mit den anderen Schichten herzustellen.

Auch gummibeschichtete Anzüge (z. B. der Firma Viking) sind Membranzüge. Diese Anzüge lassen sich im Gegensatz zu den Trilaminatanzügen leicht und schnell wie ein Fahrradschlauch flicken. Sie sind in ihrer HD-Ausführung („heavy duty“) sehr robust und werden gegenwärtig überwiegend von Berufstauchern eingesetzt.

Neoprentauchanzüge werden entsprechend ihrer Bezeichnung aus geschäumten Neoprene hergestellt. Sie unterscheiden sich deutlich in Dicke und Qualität sowie in der verwendeten Kaschierung. Die Reparatur erfolgt wie bei den Nasstauchanzügen. Damit die Anzüge wasserdicht sind, sollten alle Nähte mehrfach und innen verschweißt sein. Um ihr Auftriebsverhalten konstanter zu halten, werden sie häufig aus komprimierten Neopren gefertigt. Die Hersteller versprechen beispielsweise für 4 mm dickes, komprimiertes Neopren dieselbe Isolationswirkung wie für 6 mm normalem Neopren. Komprimiertes Neopren wird von den Herstellern unter den unterschiedlichsten Bezeichnungen angeboten: *Crash Neopren, Crushed Neoprene, Compressed Neoprene, Small Cell Neoprene, Hypalon* und *CF 200*.

Trockentauchanzüge aus Neopren verfügen über eine gute Wärmeisolation, dies ist bei

Membranzügen nicht oder nur in geringem Maße der Falle. Der Wärmeschutz erfolgt bei Membranzügen durch die Verwendung von dickem Unterziehzeug. Bei Neoprenanzügen wird der Tragekomfort durch das Unterziehen von T-Shirts, langen Unterhosen und Strümpfen erhöht. Bei Tauchgängen in kalten Gewässern unter/oder sehr langen Tauchgängen ist auch bei Neoprentrockentauchanzügen dickeres Unterziehzeug notwendig.

Dicken Neoprentauchanzügen isolieren den Körper auch noch nach einem Wassereintrich gegen das kalte Wasser. Bei Membranzügen erfolgt dagegen in diesen Fällen sehr schnell eine Auskühlung des Tauchers, wobei gutes Unterziehzeug dem entgegen wirkt.

Wird der Trockentauchanzug mit Argon befüllt, wird die Wärmeabgabe aufgrund der geringeren Wärmeleitung von Argon (im Vergleich zu Luft) vermindert. Insbesondere beim Tauchen mit Nitrox- und Trimixgemischen darf der Anzug wegen der erhöhten Brandgefahr nicht mit dem verwendeten Atemgas gefüllt werden.

Unterzieher werden aus verschiedenen Materialien angeboten. Gute Unterzieher bestehen z. B. aus einer Mikrofaser-Außenhaut und einem Fleecefutter im Inneren.

Bei den Dichtungen am Hals und an den Händen wird ebenfalls zwischen zwei Materialien unterschieden.

- Latex
- Glatzneopren

Dichtungen am Hals aus Glatzneopren müssen umgeklappt werden, um dicht zu sein. An den Händen (Armen) ist dies nicht zwingend notwendig; einige Taucher verwenden hier zusätzliche „Spannbänder“ bzw. „Spanngummis“. Vorteilhaft bei diesen Neopren-Dichtungen ist die höhere Lebensdauer. Nachteile sind die Schwierigkeiten beim Anziehen und die geringe Dehnbarkeit (max. 100%) des Materials. Der Anschluss von Trockentauchhandschuhen mit Ringsystem ist wegen der geringen Elastizität des Neoprens nicht zweckmäßig. Folge wäre ein starkes Ausleiern der Manschetten.

Mit Doppelmanschetten an den Händen können die Handschuhe zwischen den Manschetten gedichtet werden. Dadurch wird auch an „nassen“ Handschuhe ein sehr guter Anschluss erreicht.

Dichtungen aus Latex schmiegen sich besser an die Haut an und können damit besser abdichten als die etwas steiferen Neoprendichtmanschetten. Latex ist gut dehnbar (bis 400%) und lässt sich deshalb auch leicht überziehen. Der Anschluss von Trockentauchhandschuhen mit Ringsystem ist normalerweise problemlos. Von Nachteil ist die größere Empfindlichkeit und die kürzere Lebensdauer des Materials. Da Reparaturen kaum möglich sind, ist meistens ein kompletter Austausch der Manschetten durch eine fachkundige Person notwendig. Die notwendige Technik kann man sich aber auch selber aneignen.

Bei beiden Arten von Dichtmanschetten kann das Anziehen durch Zugabe eines Gleitmittels (z. B. Talkum oder Spülmittel) deutlich erleichtert werden.

Der gasdichte Reißverschluss ist sehr empfindlich und mit etwa 400 € das teuerste Teil am Trockentauchanzug. Eine geschützte Anordnung und eine gute Pflege (mit Bienenwachs oder Trockenschmiermittel) sind deshalb unabdingbar. Die Positionierung des Reißverschlusses ist je nach Anzugsmodell unterschiedlich. Der Verlauf entscheidet darüber, ob man den Anzug alleine bequem an- und ausziehen kann.

Mögliche Reißverschlussführungen sind:

- Durch den Schritt verlaufend
- Quer über den Rücken von Schulter zu Schulter verlaufend
- Von der Hüfte u-förmig über den Nacken zur Brust
- Quer über die Brust (selten)

Beim Kauf von Trockentauchanzügen ist streng darauf zu achten, dass der Anzug eine sehr gute Passform besitzt. Zusätzlicher Auftrieb aufgrund der Luftpolster in schlecht sitzenden Anzügen muss durch die Mitnahme zusätzlicher Tauchergewichte (Blei) ausgeglichen werden. Die Mitnahme zusätzlicher Gewichte erfordert eine Steigerung der Arbeitsleistung unter Wasser und daraus folgt ein erhöhtes Unfallrisiko. Andererseits ist auch auf genügend Bewegungsfreiheit zu achten, insbesondere unter Verwendung dicker Unterzieher. Ohne das der Anzug spannt, sollte man mit den Händen an die gegenüberliegenden Schultern fassen können. Ebenfalls muss man problemlos imstande sein, in die Hocke zu gehen. Das Hinhocken ist gleichzeitig ein guter Test für die Dichtigkeit des Anzuges.

Trockentauchanzüge haben festangesetzte Stiefel bzw. Füßlinge. Die Sohle sollte nicht zu dünn sein, sonst ist ein schneller Verschleiß vorprogrammiert. Gut zum Gehen über unebenen, rauen Boden (z. B. Geröll, Fels, Lavagestein) sind feste Füßlinge mit profilierter Sohle. Wenn die Füßlinge bzw. die Stiefel nicht gut passen, besteht die Gefahr, dass man mit den Füßen rutscht, die Flossen einbüßt und dadurch die Kontrolle über den Anzug verliert. Für Stiefel großer Schuhgröße kann es unter Umständen schwierig sein, entsprechend große Flossen zu bekommen. Dies sollte man demzufolge bereits beim Kauf des Trockentauchanzuges mitberücksichtigen.

Kopfhauben sind fast immer aus Neopren. Es gibt sie als separate Ausführung oder am Anzug angesetzt. Separate Kopfhauben erlauben eine bessere Zugänglichkeit zur Halsmanschette. Vorwiegend in der Berufstaucherei werden auch separate Trockentauchhauben mit integrierter Vollgesichtsmaske eingesetzt, die über ein Ringsystem mit dem Anzug verbunden werden. In diesen Hauben ist der Einbau eines Tauchertelefons möglich.

In kalten Gewässern ist die Verwendung von Dreifingerhandschuhe aus Neopren oder von Trockentauchhandschuhen mit oder ohne Ringsystem zweckmäßig. Für Trockentauchhandschuhe gibt es bei einigen Modellen wollene Innenhandschuhe oder ein Innenfutter (fest oder herausnehmbar).

Konstantvolumenanzüge sind mit mindestens je einem Einlass- und Auslassventil ausgestat-

tet. Alle Ventile müssen gut erreichbar sein und dürfen nicht durch andere Ausrüstungsgegenstände (z. B. Weste/Jacket) verdeckt sein. Im Notfall müssen sie auch vom Tauchpartner bzw. vom Reservetaucher leicht erreichbar sein.

Das Einlassventil ist meist mittig auf der Brust platziert. Es sollte mit einer Lage Neopren unterlegt sein, um Druckstellen zu vermeiden und den kalten Luftstrom nicht direkt auf den Körper zu leiten. Das Einlassventil ist über einen Füllschlauch (Mitteldruckschlauch) mit dem Druckminderer des Atemreglers oder einer kleinen separaten Gasflasche verbunden. Der Füllschlauch selber ist mit einer nicht genormten Schnellkupplung am Ventil angeschlossen. Beim Tauchen mit Atemgasen, deren Sauerstoffanteil mehr als 21% beträgt, darf der Anzug wegen der Brandgefahr nicht mit diesem Atemgas befüllt werden. In diesen Fällen erfolgt die Versorgung aus einem separaten Gasbehälter.

Auslassventile gibt es als manuell zu betätigende Ventile und als Automatikventile. Manuelle Ventile können relativ frei am Anzug platziert werden, sie müssen aber immer gut erreichbar sein. Ein unbeabsichtigtes Abströmen der Luft ist bei ihnen nicht möglich. Einstellbare Automatikventile sind meist auf dem (linken) Oberarm gut erreichbar angebracht. Sie können sowohl über als auch unter Wasser nach eigenen Wünschen eingestellt und verstellt werden. Bei korrekter Einstellung strömt die Luft beim Auftauchen aus dem Anzug selbsttätig ab, bisweilen muss durch Anheben des Armes oder durch eine leichte Körperdrehung nachgeholfen werden. Eine manuelle Bedienung ist aber auch immer möglich.

Sinnvoll bei Trocken- und Nasstauchanzügen sind aufgesetzte Taschen am Bein zur Unterbringung von Ausrüstungsteilen wie beispielsweise Schreibtafel, Werkzeug und Tauchermesser.

Beim Tauchen mit Trockentauchanzügen kann sich zuviel Luft in den Beinen verfangen und den Taucher dann wie mit einem sehr schnellen Fahrstuhl fußwärts an die Wasseroberfläche aufsteigen lassen. Dabei besteht die Gefahr einer Lungenüberdehnung und/oder eines Dekompressionsunfalls.

Bei einer Fehlfunktion des Einlassventils (z. B. Vereisung) kann der Anzug ebenfalls zuviel Auftrieb erhalten und der Taucher „schießt“ zu schnell und zu früh an die Oberfläche. Bleibt das Auslassventil offen stehen und ist der Taucher gleichzeitig überbleibt, besteht die Gefahr, dass er in die Tiefe abstürzt („Tauchersturz“).

Deshalb:

Eine gründliche Einweisung und Einübung in den Umgang mit Trockentauchanzügen ist unbedingt notwendig!

Der Umgang mit dem Trockentauchanzug muss in geringen Tiefen bzw. zuerst im Schwimmbad geübt werden!

Der Taucher soll folgende Übungen sicher beherrschen:

- Rolle rückwärts und vorwärts inklusive „Luft in den Beinen“ mit Entlüftung
- Verfahren bei beschädigtem Ein- und Auslassventil
- Anzug über Hals- oder Armmanschetten entlüften

Um ein „Verfangen von Luft“ in den Beinen zu vermeiden, empfiehlt sich die Verwendung von Trimm-Blei für die Füße und/oder die Verwendung von „schweren“ Flossen. In einigen Fällen kann man sich auch ein zusätzliches Ablassventil einbauen lassen, z. B. ein Schnellablassventil mit Schnur. Derartige Ventile gibt es im Handel für Taucherrettungswesten und Jackets.

Pflege des Trocken-Tauchanzuges

- Nach Tauchgängen im Seewasser von außen gut mit Süßwasser spülen (alle Salzkristalle entfernen).
- Manschetten mit Seife fettfrei machen.
- Gut trocknen lassen, aber nicht in der Sonne (UV-Strahlung schädigt das Material).
- Aufbewahrung in einem kühlen und trockenen Raum auf einem breiten Bügel oder über eine Rolle (z. B. Rohr mit einem Durchmesser > 5 cm) gelegt.
- Bei längerer Lagerung Manschetten mit Talkum einreiben.
- Am Ende der Saison oder nach längerem Einsatz Hals und Arme abdichten (Plastikflasche o. ä.) und den Anzug dann in der Badewanne mit Feinwaschmittel reinigen.

Für Forschungstaucher gilt die GUV-R 2112:

„4.3 Weiterhin sind Trockentauchanzüge aus Zellkautschuk geeignet, die so viel Auftriebaufweisen, dass sie – auch wenn sie nach einer Beschädigung mit Wasser gefüllt sind – den Taucher nach Abwerfen des Gewichtssystems an die Wasseroberfläche bringen (diese Anforderung ist für den einzelnen Taucher in Abhängigkeit mit der von ihm verwendeten Ausrüstung sicherzustellen).

5.12.3 **Vor dem Abtauchen muss der Signalmann Anzug und Ausrüstung des Tauchers auf Dichtigkeit kontrollieren."**

3.13. Tauchzubehör

3.13.1. Halbmasken, Vollmasken, Taucherhelme

Man unterscheidet zwischen folgenden Maskentypen:

- Halbmaske
- Vollmaske
- Taucherhelm

Im Bereich des Sporttauchens werden überwiegend Halbmasken benutzt, beim Berufstauchen nur Vollmasken oder Taucherhelme. Forschungstaucher benutzen überwiegend Vollmasken, in warmen, sauberen Gewässern dürfen sie im Gegensatz zu Berufstauchern auch mit Halbmasken tauchen.

Kurz- und weitsichtige Taucher können ihre Fehlsichtigkeit durch Einkleben/Einschleifen entsprechender Korrekturen im Maskenglas oder durch Halteeinrichtungen für optische Gläser innerhalb der Vollmaske/des Taucherhelms ausgleichen.

Gute Masken zeichnen sich durch ein geringes inneres Luftvolumen, doppelte Dichtlippen, einen Nasenerker zur Erleichterung des Druckausgleiches und ein gutes, verzerrungsfreies Sichtfeld aus. Die Maske muss gut sitzen. Zur Prüfung der Dichtigkeit wird die Maske ohne die Maskenbänder aufs Gesicht gedrückt. Der Taucher atmet dann tief durch die Nase ein und hält den Atem an. Wenn die Maske dann ohne Festhalten gut, dicht und angenehm sitzt, ist sie für den Taucher gut geeignet. Halbmasken werden häufig mit einer Maskenbox verkauft. Diese Maskenbox muss gut belüftet ein, um einer Pilzbildung vorzubeugen.

Gegen ein Beschlagen der Maskengläser sollte man neue Masken innen mit Zahnpasta einreiben, dann trocknen lassen und vorsichtig wieder ausreiben, dies ist mehrmals zu wiederholen. Vor jedem Tauchgang die Gläser innen mit Speichel oder Spezialmittel einreiben und ausspülen.





Auf dem Markt ist eine Vielzahl unterschiedlicher Vollmasken erhältlich. Hersteller sind u. a. die Firmen Dräger, Cressi, Interspiro, Kirby Morgan, Technisub und OceanReef. Im Bereich des Forschungstauchens wird meist mit der Vollmaske P04020 der Firma Poseidon (siehe Abbildung oben) getaucht. Diese Maske ist baugleich mit der Vollmaske Cressi M37, allerdings etwas preiswerter. Sie zeichnet sich gegenüber anderen Voll-

masken durch einen ausgeprägten Nasenerker aus.



Taucherhelme werden beim Forschungstauchen **nicht** eingesetzt. Die Richtlinien für den Einsatz von Forschungstauchern lassen die Benutzung von Helmtauchgeräten nicht zu!

3.13.2. Flossen

Für Trainingszwecke werden im Schwimmbad/Freibad meist Schuhflossen verwendet.

Im Freigewässer werden dagegen Fersenbandflossen benutzt. Diese Flossen müssen gut zum Trockentauchanzug bzw. zu den Füßlingen passen!

Von beiden Flossen sind unterschiedlichste Typen auf dem Markt. Vor dem Kauf sollte man die Flossen möglichst einmal ausprobieren. Am besten leiht man sich dazu unterschiedliche Flossentypen von Freunden/Kollegen aus.

3.13.3. Tauchermesser, Rettungsschere

Bei Tauchgängen besteht die Gefahr, dass sich der Taucher in einem Fischernetz, einer Bogenleine, einer Angelschnur oder sonstigem Tauwerk verfängt. Deshalb muss bei jedem Tauchgang ein Tauchermesser oder alternativ/zusätzlich eine Rettungsschere mitgeführt werden! Zum Tauchermesser gehört eine solide Scheide, die das Messer sicher und unverlierbar hält und gleichzeitig erlaubt, es mit einem Griff einsatzbereit zu machen.



Tiefenmesser

Beim Kauf eines mechanischen Tiefenmessers sollte man auf bestimmte Ausstattungsmerkmale achten:

- Weit gespreizte Anzeige (insbesondere im 0- bis 15-Meterbereich)
- Schleppzeiger (Anzeige der maximalen Tiefe)
- Null-Justierung für Luftdruck

3.13.5. Taucheruhr

Taucheruhren müssen bestimmte Merkmale erfüllen:

- Verschraubbare Krone
- Mineralglas
- DIN 8306 entsprechen.
- Verstellung des Stellrings darf nur gegen den Uhrzeigersinn möglich sein.

3.13.6. Tauchcomputer

Der Einsatz von Tauchcomputern ist derzeit für Forschungstaucher an Stelle der Verwendung der gültigen Austahtabellen nicht erlaubt. Als zusätzliche Ausrüstung aber durchaus erwünscht. Die Warnungen des Tauchcomputers sind dabei immer zu beachten!

Tauchcomputer sollten möglichst Wassertemperatur und Arbeitsleistung des Tauchers berücksichtigen.

3.13.7. Taucherschutzhelm

Bei Tauchereinsätzen in Höhlen ist häufig das Tragen eines Taucherschutzhelmes notwendig.

3.13.8. Taucherkompass

Beim Sporttauchen ist der Taucherkompass ein sicherheitsrelevantes Ausrüstungsteil.

Beim Forschungs- und Berufstauchen erfolgt dagegen die Orientierung in der Regel mit Hilfe der Signal- oder Telefonleine.



3.13.9. Unterwasserlampen

Lampen und Reflektoren unterscheiden sich in:

- Halogenlampe / Glühwendellampe / Sealed-Beam-Lampen / Xenon-Hochleistungslampe
- Spannung [Volt]
- Leistung [Watt]
- Lichtstärke [cd]
- Lichtaustrittswinkel (horizontal/vertikal)
- Abstrahlcharakteristik (-formen):
 - a. helles gebündeltes Licht (Punktstrahler, "Spot")
 - b. schwächeres, großflächiges Licht (Breitstrahler, "Flood")
- Lebensdauer

Es gibt Unterwasserlampen mit Kunststoffscheiben und solche mit Glasscheiben. Bei Kunststoffscheiben ist auf einen hohen Schmelzpunkt zu achten. Sie sollten nur unter Wasser betrieben werden, da sonst die Scheibe porös wird und früher oder später bricht. Bei Glasscheiben ist besonders wichtig, dass sie hohe Temperaturdifferenzen aushalten können (Sprung ins kalte Wasser). Die Temperaturdifferenz ist geringer, wenn auf ein Einschalten der Lampe vor dem Tauchgang (an Bord/Land) verzichtet wird. Entsprechende Hinweise in den Betriebsanleitungen sollten stets beachtet werden.

Lampen mit einer Einrichtung zur stufenweisen Schaltung der Leistung ermöglichen eine Schonung von Halogenlampen (eine Mindestspannung ist für Halogenlampen aber notwendig, ansonsten verkürzt man ihre Lebensdauer). Mit diesem Leistungsbegrenzer lässt sich außerdem der Energieverbrauch sparsam den jeweiligen Einsatzbedingungen anpassen. Lampen mit NiCd-Akkus verfügen teilweise über eine sinnvolle elektronische Spannungskontrolle: durch Blinken (An/Aus) wird angezeigt, dass die Akkuspannung ihren Sollwert unterschritten hat. Bei einigen Lampen wird der Ladezustand/Betriebszustand durch eine grün/rot Leuchtdiode angezeigt.

Die Bedienung der Lampe muss bei Taucheinsätze in kühleren Gewässern auch noch mit Drei-Finger-Handschuhen aus 7 mm dicken Zellkautschuk möglich sein.

Die Lampe sollte mit einer Transportsicherung ausgerüstet sein, die ein versehentliches Einschalten verhindert (Gefahr von Bränden). Alternativ und beim Transport auf Flugreisen ist auch das Herausnehmen der Batterien/Akkus/Lampen möglich.

Zur Sicherung gegen Verlust muss die Lampe an der Ausrüstung (z. B. Flaschenbegurtung) befestigt werden. Nur Lampen mit positivem Auftrieb können nach Verlust möglicherweise an der Wasseroberfläche wieder gefunden werden.

Eine Ersatzbirne sollte ständig mitgeführt werden, möglichst im Lampengehäuse.

Die Lampe nach Tauchgängen im Meer immer mit Süßwasser spülen.

Runddichtringe ("O-Ringe") gelegentlich fetten, dabei auf Sauberkeit achten.

Für die Energieversorgung von Unterwasserlampen werden elektrochemische Stromquellen verschiedener Art eingesetzt:

- Zink-Kohle-Batterie
- Alkaline Batterie
- Alkali-Mangan-Batterie
- Lithium Batterie

- Nickel-Cadmium-Akku
- Nickel-Cadmium-Akku "AccuPlus" (Varta)
- Nickel-Metall-Hydrid-Akku (Nickel-Hydrid-Akku)
- "AccuCell" (Alkali-Mangan-Akku)
- Blei-Gel-Akku

Batterien mit Quecksilberanteilen sollten aus Umweltschutzgründen nicht mehr verwendet werden.

Der Begriff "Akku" ist das Kurzwort für Akkumulator. Unter einem Akkumulator versteht man einen wiederaufladbaren Sammler zum Speichern elektrischer Energie in chemischer Form.

Die Begriffe "Batterie" und "Akku" sind bei sauberem Sprachgebrauch nicht austauschbar. Batterien werden auch als Primärzellen (-elementen) bezeichnet, Akkumulatoren dagegen als Sekundärzellen (-elemente).

Beim unsachgemäßen Laden (z. B. Überladung, Kurzschluss) kann es insbesondere bei Bleigel-Akkus zur Gasbildung (Ausgasen) kommen. Es entsteht dabei Knallgas, ein Gemisch aus Wasserstoff (oder anderen brennbaren Gasen) und Sauerstoff, das nach Zündung explosionsartig verbrennt. Blei-Gel-Akkus sollten deshalb grundsätzlich nur mit geöffnetem (belüftetem) Lampengehäuse geladen werden.

Zur Bildung von Gasen und damit zu einem Überdruck im geschlossenen Lampengehäuse kann es auch nach Salzwassereinbruch kommen. Es findet eine Elektrolyse statt. Immer, wenn Gleichstrom durch eine Elektrolytlösung (hier: Salzwasser) fließt, laufen physikalisch-chemische Vorgänge ab, die zur stofflichen Umsetzung führen. Beispielsweise kann ein Akku oder eine Batterie mit einer Kapazität von 5 Amperestunden und einer Spannung größer 4 Volt durch Elektrolyse bis zu 4 Liter Gas produzieren. Beim Austauschen und der damit verbundenen Abnahme des Umgebungsdruckes kommt es u. U. zum Bersten des Lampengehäuses. Beim Öffnen von Unterwasserlampen ist das Gehäuse so zu halten, dass bei einer möglichen explosionsartigen Gasfreisetzung weder Lampendeckel noch die Säure jemanden verletzen kann.

Die maximale Brenndauer einer Unterwasserlampe lässt sich nach folgender Formel be-

rechnen:

$$\text{Brenndauer} = (\text{Kapazität [Ah]} \times \text{Spannung [Volt]}) / \text{Leistung [Watt]}$$

Beispiel:

Wie lange brennt eine Unterwasser-Lampe folgenden Typs?

Akku: Spannung = 6 Volt
Kapazität = 5 Amperestunden

Lampe: Spannung = 6 Volt
Leistung = 50 Watt

Brenndauer = (Kapazität [Ah] x Spannung [Volt]) / Leistung [Watt]

$$\begin{aligned} &= (5 \text{ [Ah]} \times 6 \text{ [Volt]}) / 50 \text{ [Watt]} \\ &= 30 / 50 \text{ [h]} \\ &= 0,6 \text{ [h]} \end{aligned}$$

d.h. die Lampe brennt ca. 36 Minuten

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen eine Unterwasserlampe des Herstellers „Kowalski“. Diese Lampe zeichnet sich dadurch aus, dass ein Laden ohne Öffnen des Gehäuses möglich ist. Dadurch wird die Gefahr eines Wassereintriches deutlich reduziert.



Das Luftfahrt-Bundesamt informiert.....

Aus aktuellem Anlass weist das LBA besonders auf die Beachtung der folgenden Vorschriften hin:

BATTERIEBETRIEBENE GERÄTE (insbesondere **Taucherlampen / Videolampen**) sind **GEFAHRGUT** und dürfen sich als solches **generell nicht** im Passagiergepäck befinden. Ausgenommen sind solche Geräte, bei denen die **Leuchtquelle** (meist Halogenbirnen) oder die **Energiequelle** (Batterie/n) **entnommen** ist. In diesem Falle ist die Mitnahme - mit Zustimmung des Luftfahrtunternehmens - im Handgepäck zulässig (siehe IATA - DGR 2.3.3.2) .

3.13.10. Taucherbleigewichte, Gewichtsgürtel

Bleigürtel und Bleisorten gibt es in unterschiedlichen Formen und Gewichten. Der Taucher sollte soviel Bleigewichte mitführen, das er in 3 m Tiefe gut austariert ist.



Von der Firma DRÄGER werden Klemm-Bleigewichte angeboten (siehe drei Photos unten). Diese Bleigewichte lassen sich schnell zusätzlich montieren bzw. auch demontieren.



Die Bleigewichte sollten mit **Gewichtsstopperschnallen** auf dem Gurt fixiert werden um ein Verrutschen und/oder Verlieren zu verhindern.

Die **Anordnung erfolgt symmetrisch der Körperlängsachse**, wobei der Bereich auf der Wirbelsäule (unter der Druckluftflasche) möglichst frei bleiben sollte.

3.13.11. Signalmittel



Diese Abbildung zeigt einen Unterwasserblitz und einen Unterwasserleuchtstab.

Beide Zubehörteile sind bei Nachttauchgängen wichtige Ausrüstungsgegenstände.

3.13.12. Taucherhandschuhe

Taucherhandschuhe werden unterschieden in:

- 3-Fingerhandschuhe
- 5-Fingerhandschuhe
- Fäustlinge

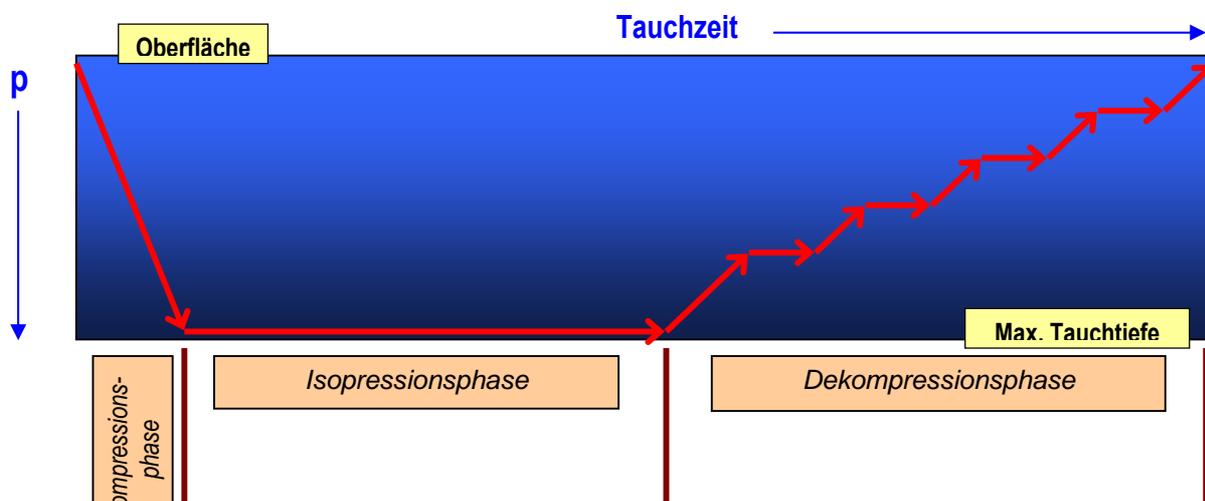
Fäustlinge bieten bei gleicher Materialstärke den größten Wärmeschutz, 5-Fingerhandschuhe dagegen den geringsten. Wie bei den Taucheranzügen gibt es die Ausführungen nass, halbtrocken und trocken.



4. Die Auswirkungen des Druckes beim Tauchen

Tauchgänge von Berufs- und Forschungstaucher lassen sich bei den meisten Einsätzen in drei aufeinander folgende Abschnitte (Phasen) einteilen:

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| beim Abtauchen | - | Kompressionsphase
(Druckzunahme) |
| während des Aufenthaltes unter Wasser | - | Isopressionsphase
(Phase konstanten Drucks) |
| beim Austauchen | - | Dekompressionsphase
(Druckabnahme)
ggf. mit Haltezeiten auf Austauchstufen |



Für Sporttaucher und teilweise auch für Forschungstaucher ist diese Einteilung nicht mehr zeitgemäß, da während der UW-Erkundung die Tiefe häufig gewechselt wird. Statt von einer Isopressionsphase sollte man daher von einer **Variophase** (*Phase wechselnden Druckes, 'multi-level-diving'*) sprechen.

Beim Tauchen ist der Mensch unterschiedlichen Umgebungsdrücken ausgesetzt. Eine Schädigung, die durch die Wirkung einer Druckdifferenz (*eines mangelnden Druckausgleiches*) zustande kommt, wird als **"Barotrauma"** bezeichnet (*Plural: Barotraumata oder Barotraumen*). ("baro" [grch.] ≙ 'Gewicht' (fig. 'Schwere'; "trauma" [grch.] ≙ 'Verletzung' (Wunde))

Druckdifferenzen gegenüber abgeschlossenen Gasmengen (z. B. in starren und/oder variablen Hohlräumen des menschlichen Körpers) entstehen, wenn Druckänderungen (der Umgebung) nicht durch entsprechende Änderungen des Volumens (Gesetz von Boyle-Mariotte) ausgeglichen werden. Bei elastischen Hohlräumen (z. B. der Lunge) sind Volumenänderungen bis zu einer gewissen Grenze möglich. In verschlossenen Hohlräumen mit starren Wandungen kann eine negative Druckdifferenz (relativer Unterdruck) nur durch Schwellung der Schleimhaut und durch Einstrom von Flüssigkeit (Blut, Gewebsflüssigkeit) reduziert werden.

4.1. Kompressionsphase, Unterdruckbarotraumata

Beim Abtauchen (Zunahme des Umgebungsdrucks) kann es zu negativen Druckdifferenzen (Unterdruck) in gasgefüllten Hohlräumen des menschlichen Körpers kommen, wenn aufgrund verschlossener/verlegter Verbindungswege ein Druckausgleich nicht erfolgen kann.

Zu diesen Hohlräumen gehören:

Elastischer Hohlraum:	Lungen
Hohlräume mit starren Wandungen:	Ohr (Außenohr, Mittelohr) Nasennebenhöhlen Zähne
Künstliche Hohlräume:	Tauchermaske Trockentauchanzug Trockentauchhandschuhe

4.1.1. Unterdruckbarotrauma der Lungen

Pulmonales Barotrauma
Hypobares Barotrauma der Lunge
Thoracic (Lung) squeeze' (engl.)
npPB = Negative Pressure Pulmonary Barotrauma
Alte Bezeichnung: "Inneres Blaukommen"

Ursache:

Relativer Unterdruck der Atemluft im Atmungssystem (*negative Druckdifferenz*), verursacht durch:

- ① Zu große Druckdifferenz zur Wasseroberfläche beim Tauchen mit Schnorchellängen größer 38cm (30-40 cm).
(DIN 7878: Erwachsene: maximale Länge 35 cm, Durchmesser: 18 mm bis 25 mm).
- ② Überschreiten der 'individuellen Freitauch-Grenztiefe'
(Etwa in 30 m Wassertiefe).
(Tiefe, in der die Totalkapazität auf das Volumen der Restkapazität komprimiert ist.)
[Beispiel: Totalkapazität = 6 Liter ⇒ in 30 m Wassertiefe: Lungenvolumen = 1,5 Liter = Restkapazität]

In der Praxis aber am besten 1/3 von dieser berechneten Tiefe abziehen, da meist nicht voll eingatmet wird und Luft für den Totraum (Maske, etc.) benötigt wird.
- ③ Lungenautomat mit zu großem Einatemwiderstand (> 0,03 bar, bzw. > 30 cm Wassersäule)
- ④ "Tauchersturz" (nur Helmtaucher in historischer Ausrüstung)

Folge:

Der relative Unterdruck in der Lunge wirkt sich nach Ausschöpfung aller Kompensationsmöglichkeiten des Organs (z. B. starkes Hochwölben des Zwerchfelles, vermehrte Füllung der Lungengefäße) mechanisch wie ein **Sog** aus:

- Ansaugen von Blut in den großen Hohlvenen des Brustkorbes, im Lungenkreislauf und im rechten Herzen.
- Venöser Rückstau im Lungenkreislauf mit massiver Rechtsherzüberlastung (Möglich: Überdehnung und Versagen des Herzmuskels)
 - Hirndurchblutung (Sauerstoffversorgung) nicht mehr ausreichend (→ Kollaps, Bewusstlosigkeit)
- Blut und/oder Gewebsflüssigkeit tritt in die Lunge (Behinderung der Atmung, Ersticken)

Aufgrund des ausgeübten Soges kommt es zum Ausschwitzen von Gewebsflüssigkeit in die Alveolen (**Lungenödem**) und/oder zu Einblutungen durch Reißen von Alveolargefäßen.

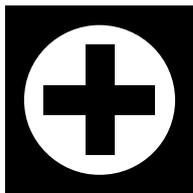
Symptome:

- Atemnot
- Brustschmerzen
- Husten mit (blutig-) schaumigem Auswurf
- "Brodeldes" Atemgeräusch
- Schocksymptomatik

Vorkommen:

Freitaucher

(Selten: Gerätetaucher, Helmtaucher)

Sofortmaßnahmen:

- **Sauerstoffgabe** (normobar)
- Lagerung: möglichst sitzend
- Überwachung der Vitalfunktionen
- Ausatmung mit 'Lippenbremse'
- Ausatmung gegen CPAP-Ventil
(*Continuous Positive Airway Pressure, kontinuierlicher positiver Atemwegdruck*)

**In schweren Fällen:**

Schockbehandlung

O₂-Beatmung mit PEEP (*'positive endexpiratory pressure'*, positiver endexpiratorischer Druck)

ggf. HLW

Behandlung:

Mindestens 24 Stunden intensivmedizinische Überwachung

Röntgen-Thoraxaufnahme und regelmäßige Blutgasanalysen zur Diagnosestellung

Anmerkung:

Zu einem "äußeren Blaukommen" (sichtbare Blaufärbung der Haut durch flächenhafte Blutungen in Haut und Schleimhäuten) kam es bei Helmtauchern (alte Ausrüstungen) nach einem Tauchersturz. Der Tauchersturz bewirkt eine plötzliche Druckzunahme (innerhalb weniger Sekunden), die durch den (z. B. an Deck des Taucherbootes) eingestellten Versorgungsdruck nicht ausgeglichen werden kann. Es kommt daher im Taucheranzug zu einem Unterdruck, der im starren Taucherhelm in einer Sogwirkung resultiert, da in diesem Bereich eine Änderung des Innenvolumen (des Taucherhelms) nicht möglich ist. Man spricht auch von einer "Schröpfkopfwirkung". Bei modernen Helmtauchgeräten ist die Gefahr bei einem Tauchersturz durch Zwischenschaltung eines Lungenautomaten und einer besseren Luftversorgungsleistung minimiert worden.

Neben dem äußeren Blaukommen kommt es beim Tauchersturz des Helmtauchers auch immer zu einem inneren Blaukommen (= Einblutung in die Lunge).

4.1.2. Unterdruckbarotrauma des Mittelohres und des Trommelfells

Hypobares Barotrauma des Mittelohres
 'middle-ear squeeze' (engl.)
 npBME = Negative Pressure Barotrauma of the Middle Ear

Das Unterdruckbarotrauma des Mittelohres ist die Taucherkrankheit, von der die Taucher am häufigsten betroffen werden.

Ursache:

Relativer Unterdruck im Mittelohr verursacht durch einen Verschluss der Eustachischen Röhre z. B. wg.:

- ① Erkältung, Heuschnupfen, Grippe → Schleimhautschwellung
- ② - zu schnelles Abtauchen
- mangelnde Druckausgleichstechnik, verpasster Druckausgleich

"Tubenblock"

Ab einer Druckdifferenz von etwa 100 mbar (= 1 m WS [Wassersäule]) werden die Tubenlippen so stark aufeinander gepresst, dass sie sich durch Muskelzug nicht mehr öffnen lassen.

Folge:

Verstärkte Wölbung des Trommelfells nach innen

- Druck auf Gehörknöchelchen
- stechender Schmerz (wg. der Trommelfelldehnung)

dabei gleichzeitig möglich:

- Füllung der Gefäße des Trommelfells und der Paukenhöhle mit Blut
- Schleimhautschwellung im Mittelohr
- Füllung des gesamten Mittelohres mit Blut und Gewebsflüssigkeit

Bei zu starker Wölbung
(bei $\Delta p > 0,15$ bar (= 1,5 m WS), meist ab $\Delta p > 0,3$ bar (= 3 m WS))
reißt das Trommelfell ein (Perforation, Ruptur)

und

der Schmerz lässt schlagartig nach
und Wasser dringt aus der Umgebung ins Mittelohr ein.

Bei älteren Tauchern reißt das Trommelfell schon bei geringeren Druckdifferenzen, da die Elastizität des Trommelfells mit dem Alter nachlässt.

Symptome:

Bei Überdehnung des Trommelfells:

- Ohrenscherzen (Trommelfelldehnung) (Stechender Schmerz, der nach Perforation des Trommelfelles schlagartig nachlässt.)
- Gefäßzeichnung auf dem Trommelfell
- Ohrgeräusche, Hörminderung
- dumpfes, watteartiges Gefühl im betroffenen Ohr

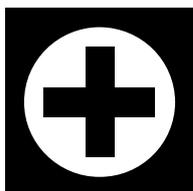
Bei Trommelfellriss (Perforation) (meist nur stecknadelgroß und schwer erkennbar):

- Nach Eindringen von kaltem Wasser ins Ohr
 - ⇒ **Kältereiz stört Gleichgewichtsorgan**
 - ⇒ **heftiger Drehschwindel (kaloriescher Drehschwindel) und Verlust der Orientierung**
(Der Drehschwindel verschwindet normalerweise in weniger als einer Minute; nach der Erwärmung des eingedrungenen kalten Wassers.)
 - ⇒ evtl.: **Panik!** ⇒⇒ **Gefahr: unkontrollierter Notaufstieg**
- Brechreiz, Übelkeit
- Ohrgeräusche
- evtl. Blut aus Nase, Mund und Ohren
- Hörverlust, Hörminderung (*normalisiert sich meist nach 3-5 Tagen*)

Vorkommen:

Freitaucher, Gerätetaucher, Helmtaucher, (*Landung mit Flugzeug*)

Sofortmaßnahmen:



Im Wasser: Langsamer Wiederaufstieg (Orientierung an den Luftblasen, langsam hochtreiben lassen)!

An Land: Evtl. Gabe von Schmerzmitteln.

Bei einem Riss des Trommelfells:
Wg. **Infektionsgefahr** (Mittelohrentzündung):
Arzt (HNO) aufsuchen!

Behandlung:



- Abschwellende Mittel (selten), steriler Verband
- Druckänderungen ausschließen!
(Nicht tauchen! Keine Valsalva-Manöver!)
 *"Valsalva-Manöver" = Pressen
 bei geschlossener Nase und Mund.
 Keine Pressatmung!*
- Tauchverbot: ca. 2 Wochen.
- Bei Trommelfellriss: 1-2 Monate.
- Antibiotika bei Mittelohrentzündung.

Vorbeugen:

- Tauchverbot bei Erkältung!
- Funktionsprüfung der Eustachischen Röhre vor jedem Tauchgang!
- Früher Beginn des Druckausgleiches.
(Zeitfaktor: Der Schaden wird größer, wenn die schädliche Druckdifferenz länger aufrecht erhalten wird.)
- Druckausgleich nie erzwingen!
- Bei Druckausgleichproblemen den Tauchgang abbrechen.
- Fußwärts abtauchen.

Ergänzung:

Die luftgefüllten Warzenfortsatzzellen (Mastoidzellen) hinter der Ohrmuschel sind über ein dünnes Kanalsystem mit der Paukenhöhle verbunden. Wenn ihre Belüftung beispielsweise durch Schleimhautschwellungen unterbrochen wird, kann es zu Infektionen kommen.

4.1.3. **Unterdruckbarotrauma des Innenohres** (Inkl. "explosives" Innenohr-Barotrauma (*alte Bezeichnung*))

Hypobares Barotrauma des Innenohres
'alternobaric vertigo of descent' (*engl.*)
npBIE = negative Pressure Barotrauma of the Inner Ear

Wdh.: Innenohr ist mit Flüssigkeit gefüllt, Schallwelle wirkt via Gehörknöchelchen auf ovales Fenster, (Wanderwelle durch Schnecke), Druckwellenentlastung durch „rundes Fenster“, „Rundes Fenster“: 60-80 µm dick, Fläche etwa 6 mm².

Das Unterdruckbarotrauma des Innenohres offenbart sich in einer **Ruptur des runden Fensters**.

Ursache:

Unzureichender Druckausgleich in der Paukenhöhle (z. B. aufgrund einer Tubenfunktionsstörung, zu schneller Abstieg) **mit resultierendem Unterdruckbarotrauma des Mittelohres**, dabei wölbt sich die Membran des runden Fensters in Richtung Mittelohr. Der Taucher versucht den Druckausgleich durch Sprengung der blockierten Tube mit (forciertem) Valsalva-Manöver zu erzwingen. Das erfolgreiche Manöver resultiert in einem **abrupten (schlagartigen) Druckausgleich!**

Folge des Manövers (Hypothese 1, "Mechanische Welle")

Die Platte des Steigbügels wird in das „ovale Fenster“ hineingepresst, der Druck pflanzt sich über die Perilymphe in der Schnecke fort und führt damit zu einer Auslenkung der Membran des runden Fensters in Richtung Mittelohr. Nach dem plötzlichen Druckwechsel (Druckausgleich, s.o.) kann die resultierende starke Druckwelle zu einer Pendelbewegung (Schwingung) der Innenohrflüssigkeit führen (⇒ Funktionsbeeinträchtigungen).

Folge des Manövers (Hypothese 2)

Wird bei blockierter Tube ein forciertes Valsalva-Manöver versucht, so wird diese Druckerhöhung über die das Gehirn und das Rückenmark umgebenden Flüssigkeit (Liquor) auf die Perilymphe des Innenohrs übertragen. Diese Druckwelle kann dort zu einem Platzen der Membran des runden Fensters führen. Voraussetzung ist ein weiter Aquaeductus cochlea und/oder ein verletzliches rundes Fenster (Ehm, 1991).

Beide Hypothesen resultieren (setzen sich fort) in:

- ⇒ **Ruptur** (Einriss) **der runden Fenstermembran** durch explosionsartige Druckwelle ("*Explosives Innenohr-Barotrauma*").
- ⇒ **Innenohr läuft leer** (Auslaufen der Perilymphe) und Luftblasen dringen aus dem Mittelohr in das Innenohr.

- ⇒ Sauerstoff-Mangelversorgung sensibler Nervenzellen im Innenohr (da diese keine eigene Blutversorgung besitzen).
- ⇒ Irritationen der Bogengänge
- ⇒ Funktionsstörungen

Ein Einreißen der Membran des „ovalen Fensters“ tritt selten auf, da sie durch die Steigbügel Fußplatte und durch Bindegewebe verstärkt ist.

Symptome:

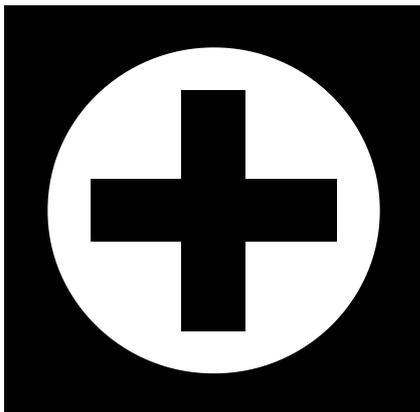
- Innenohr-**Schwerhörigkeit**, evtl. Hörverlust
- Schwindelgefühl (wg. Druckunterschied zwischen den beiden Paukenhöhlen, *alternobarer Drehschwindel*), Brechreiz, Gleichgewichtsprobleme, Orientierungsverlust mit der Gefahr eines unkontrollierten Notaufstieg
- evtl. Hörverlust, permanente Ohrgeräusche, bei Trommelfellriss: Blutungen
- permanente **Ohrgeräusche** [Tinnitus] (u.a. auch Blasengeräusche)
- Taucher hat das Gefühl "Wasser im Ohr"
- **anhaltender Drehschwindel**, dadurch Übelkeit

Teilweise treten die Symptome erst um Minuten **bis Stunden verzögert** auf (abhängig von der Größe des Membranrisses) und werden dann nicht mehr dem Tauchgang zugeordnet und folglich falsch behandelt!

Symptome sind sehr ernst zu nehmen!.

Innenohrschädigungen sind dringend behandlungsbedürftig!

Sofortmaßnahmen:



- Sofortiger Wiederaufstieg (= Abbruch des Tauchganges)!
- Hinsetzen und beruhigen.
- KEINE weiteren Druckausgleichsversuche
- Vermeiden (= verhindern!) von:
 - Anstrengung
 - Pressen beim Stuhlgang
 - Husten / Niesen / Schneuzen
 - Vor- und Zurücklehnen
- Keinem Lärm aussetzen.
- Absolute Bettruhe mit hochgelagertem Kopf.

Taucherarzt / HNO-Arzt sofort aufsuchen!

GEFAHR bleibender Schäden
(Schwerhörigkeit, Ertaubung)!

Bei Verdacht auf Ruptur des „Runden Fensters“:

- **Flachlagerung mit erhöhtem Kopf**
- **Fachkundigen HNO-Arzt sofort aufsuchen!**
- Jegliche Anstrengung, die zu einer Hirndrucksteigerung führt, ist zu vermeiden, (Insbesondere: schweres Heben, Husten, Valsalva-Manöver)!
- Beim Transport im Flugzeug: ausreichend abschwellendes Nasenspray zur Erleichterung des Druckausgleiches,

Behandlung:

Das „Runde Fenster“ muss so schnell wie möglich wieder verschlossen werden. Hierzu ist unter örtlicher Betäubung eine operative Eröffnung des Mittelohres notwendig. Der Verschluss des „Runden Fensters“ erfolgt durch Auflage von Fett- bzw. Bindegewebe.

Anschließend ist stationärer Aufenthalt mit strenger Bettruhe von etwa drei Tagen notwendig. Dabei ist ein Schnäuz- und Valsalva-Verbot einzuhalten (Vermeidung jeglicher Drucksteigerung).

Tauchverbot: mindestens 6 Wochen, eventuell lebenslang!

- **Keine Druckkammerbehandlung!**

Vorbeugen:**Druckausgleich niemals erzwingen!**

Der Druckausgleich sollte grundsätzlich besser mit Schluckbewegungen und nicht mit einem Valsalva-Manöver erfolgen.

4.1.4. Unterdruckbarotrauma des äußeren Gehörganges (Unterdruckbarotrauma des Außenohres)

Hypobares Barotrauma des äußeren Gehörganges
'external ear squeeze' (engl.)

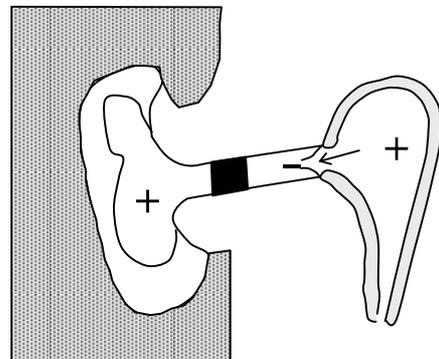
Ursache:

Relativer Unterdruck (ab ca. $\Delta p = 0,2$ bar) **im äußeren Gehörgang**

zwischen dem Trommelfell und einem hermetischen Verschluss(stück) (z. B.: Ohrenstöpsel, zu enge Kopfhaut, Maskenband über dem Ohr, Ohrenschmalzpfropfen [Ceruminalpfropf], Gehörgangsentzündung mit massiven Wucherungen [Exostosen])

Folge (Möglichkeit 1):

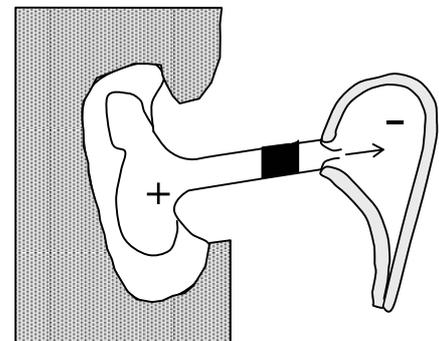
1. Ausgleich der Druckdifferenz durch Schwellungen und durch Blutung in den Gehörgang
2. Wölbung und evtl. Perforation (Riss) des Trommelfelles nach außen (ab $\Delta p = 0,3$ bar bis 0,9 bar).



Folge (Möglichkeit 2):

Bei gleichzeitigem Verschluss der Eustachischen Röhre

1. Beim Abtauchen Unterdruck im Mittelohr.
2. Ohrenstöpsel kann sich gegen Trommelfell pressen
3. Trommelfellriss nach innen

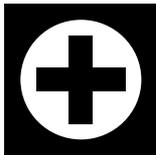


Symptome:

- (stechender) Schmerz (mit dem Druck zunehmend)
- Blutaustritt aus dem betroffenen Ohr
- Taubheitsgefühl (Schalleitungsschwerhörigkeit)
- Bei Trommelfell-Riss wie UB-Mittelohr.

Vorkommen:

Freitaucher, Gerätetaucher, Helmtaucher

Sofortmaßnahmen:

wie Unterdruckbarotrauma des Mittelohres

Behandlung:

Tauch- und Badeverbot (wie Unterdruckbarotrauma des Mittelohres)

Vorbeugen:

- **Keine Ohrenstöpsel verwenden!**
- **Ohrspülung gegen Ceruminalpfropf**

Bei sehr eng anliegenden Kopfhauben: In Höhe beider Ohren kleine Löcher in der Kopfhaube anbringen oder die Kopfhaube nach dem Abtauchen kurz etwas anheben, damit die Luft entweicht und durch das inkompressible Wasser ersetzt wird.

4.1.5. Unterdruckbarotrauma der Nasennebenhöhlen (NNH)

Hypobares Barotrauma der Nasennebenhöhlen
'sinus squeeze' (engl.)
npBNS = Negative Pressure Barotrauma of the Nasal

Wdh.: Die Nasennebenhöhlen sind luftgefüllte Räume mit knöchernen Wandungen, die mit Schleimhaut ausgekleidet sind. Die Schleimhaut ist stark mit schleimbildenden Drüsen, Blutgefäßen und Schwellkörpern ausgestattet.

Zu diesen Höhlen gehören: Stirnhöhle, (Ober-)Kiefernhöhlen, Siebbeinzellen und Keilbeinhöhlen. Sie stehen durch jeweils einen Kanal mit der Nasenhöhle in Verbindung. Die Warzenfortsatzzellen gehören ebenfalls zu den Nasennebenhöhlen. Sie werden vom Mittelohr aus belüftet.

Ursache:

Relativer Unterdruck in den betroffenen Nasennebenhöhlen verursacht durch **Verlegung (Verschluss) der Zugangswege** (Verbindungskanäle) durch angeschwollene Schleimhäute, Polypen, anatomische Missbildungen. Das Anschwellen dieser Schleimhäute wird meist verursacht durch Erkältungen (Schnupfen) oder durch Entzündungen in den Nasennebenhöhlen.

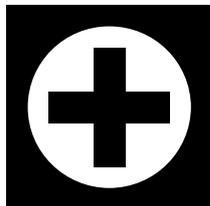
In Folge von Rauchen, Allergie oder Reizungen kann es ebenfalls zu einem Anschwellen der Schleimhäute kommen.

Folge:

Relativer Unterdruck	
25 cm WS (mbar)	Schleimhautschwellung und Ausschwitzen von Gewebsflüssigkeit
70 cm WS (mbar)	Hyperämie (Blutüberfüllung)
350-500 cm WS (mbar) [50% p↑]	Schwellungen der Schleimhaut und Blutungen in NNH. (Beim Auftauchen Austritt von blutiger Flüssigkeit über Rachen und Nase.)

Symptome:

- Als erste Anzeichen treten häufig in Tiefen von 2 bis 5 m Schmerzen im betroffenen Bereich (stark stechend, gut lokalisierbar) auf.
(Schmerz nimmt mit der Tiefe zu; wird dann aber bei gleichbleibender Tiefe geringer.)
- Je nach betroffener Nasennebenhöhle:
 - Stirnhöhle: Schmerzen im Augenbereich
 - Kiefernhöhle: stechender Schmerz vom Oberkiefer zu den Augen und in die Zahnreihe
 - Nasenhöhle: Nasenbluten, Zerreißen feinsten Blutgefäße (meist harmlos)
 - Keilbeinhöhle (selten): stechender Schmerz im Hinterkopf
 - Warzenfortsatzzellen: Schmerzen hinter dem Ohr
- Serös-blutiger Ausfluss beim Auftauchen, Röntgen: Verschattungen, (Blutspur in der Maske)
- Eine Schädigung der Schleimhäute kann auch ohne Schmerzen erfolgen. In diesen Fällen fand ein Druckausgleich durch Füllung des Hohlraumes mit Blut und Gewebsflüssigkeit statt. Kurz vor Erreichen der Wasseroberfläche kommt es dann zu einem Erguss der Flüssigkeiten in den Maskenraum.

Maßnahmen:

- Arzt aufsuchen wegen **Infektionsgefahr!**
- Schleimhautabschwellende Tropfen (Nasivin®).
- Evtl. Rotlicht.
- Ggf. Schmerzmittel.
- Ggf. Antibiotika (Neomycin/Bykomycin®).
- Tauchverbot bis Beschwerdefreiheit.

Vorbeugen:

Bei Erkältung nicht tauchen!

Die Wirkung von schleimhautabschwellenden Mitteln vor dem Tauchgang hält nur kurzzeitig an und führt in der Regel bereits während des Tauchganges wieder zu einem verstärkten Anschwellen der Schleimhäute und damit zu Barotraumen (insbesondere beim Austauchen).

4.1.6 Mikro-Unterdruckbarotrauma der Zähne (Dentales Barotrauma)

Hypobares Barotrauma der Zähne
'tooth squeeze' (engl.)
npDB = Negative Pressure Dental Barotrauma

Ursache:

Relativer Unterdruck in kleinen luftgefüllten Hohlräumen (Lufteinschlüssen) unter schadhafte Zahnfüllungen (Plomben, Inlays, Kronen) und bei Entzündungsherden an Zahnwurzeln mit haarfeinen Gängen nach außen.

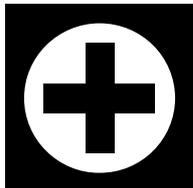
(Der Druckausgleich ist nur sehr langsam möglich – relativer Unterdruck.)

*Beim Aufstieg kann es entsprechend zu einer positiven Druckdifferenz kommen.
Siehe hierzu auch unter 4.3.2.1 Überdruckbarotrauma der Zähne.*

Symptome:

- (massive) Zahnschmerzen (ziehend, bohrend und lokalisiert)
Der Schmerz lässt nach erfolgtem Druckausgleich langsam nach.
- Blutungen
- beschädigter Zahn

Sofortmaßnahmen:



- Abbruch des Tauchganges
- ganz langsamer Aufstieg
- ggf. Schmerzmittel
- Zahnarzt aufsuchen
(ggf. Röntgen-Darstellung)



Behandlung:

Zahnärztliche Behandlung (ggf. Gebissanierung)

Vorkommen:

Freitaucher, Gerätetaucher, Helmtaucher

Hinweise:

Der Schmerz tritt nicht zwangsläufig am betroffenen Zahn, sondern kann auch in eine andere Stelle des Kiefers ausstrahlen.

Schmerzen in der oberen Zahnreihe sind oft Symptom eines Barotraumas der Kiefernhöhle.

4.1.7. Unterdruckbarotrauma der Haut

Hypobares Barotrauma der Haut
npBS = Negative Pressure Barotrauma of the Skin
'body squeeze' (engl.)
Alte Bezeichnung: "Äußeres Blaukommen"

Ursache:

Relativer Unterdruck in den Falten eines Trockentauchanzuges aus starrem Gewebe (bei unzureichender Belüftung).

Entsprechend kann auch ein Unterdruck in Trockentauchhandschuhen auftreten (Barotrauma der Hände).

Folge:

Reißen von Blutgefäßen in der Haut mit Einblutungen in das Gewebe

- Bluterguss (Hämatom)

Symptome:

- Schmerzen im betroffenen Bereich
- Linienförmige Hämatome (Blutergüsse)

Sofortmaßnahme:

keine

Behandlung:

keine

Vorbeugen:

Wollzeug unter dem Anzug und in den Handschuhen.

4.1.8. **Unterdruckbarotrauma des Gesichtes** **Unterdruckbarotrauma des Auges**

Hypobares Barotrauma des Gesichtes
Hypobares Barotrauma des Auges
'face squeeze' (*engl.*)
npOB = Negative Pressure Ocular Barotrauma

Ursache:

Relativer Unterdruck in der Tauchermaske verursacht durch fehlenden Druckausgleich (z. B. wg. Nasenklemme, Erkältung, *Verwendung einer Schwimmbrille*)

Folge:

Reißen von Blutgefäßen im betroffenen Bereich der Gesichtshaut mit Einblutungen in das Gewebe

- Bluterguß (Hämatom)

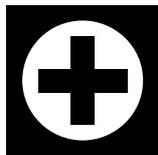
Falls das Auge betroffen ist:

- Einblutung in die Skleren
- Platzen von Augengefäßen zwischen Hornhaut und Iris
- Einblutung in die vordere Augenkammer

Symptome:

- Schmerzen aufgrund der Dehnung des Halteapparates des Auges (bleiben beim Auftauchen bestehen), Sauggefühl
- Hämatom in der Augengegend ("*Veilchen*", *Brillenhämatom*)
- Blutungen unter der Augenbindehaut – Schädigung des Augenninneren (Sehstörungen)
- Nasenbluten

Sofortmaßnahme:



Kalte Umschläge.
Sofortiges Auflegen von Eis.

Behandlung:

Empfohlen: keine Tauchgänge bis zum Abklingen der Symptome.
Bei Sehstörungen: Augenarzt aufsuchen.

Vorbeugen:

Druckausgleich in der Maske rechtzeitig herstellen!
Nasenklemmen nur in Vollmasken verwenden!
Tauchverbot bei Erkältung!
Nicht mit Schwimmmasken tauchen!

4.2 Isopressionsphase, atemgasbedingte Taucherkrankheiten (Intoxikationen)

Jedes Gas „i“ eines Atemgasgemisches wirkt ab einem bestimmten **Partialdruck p_i** und einer definierten **Einwirkdauer t_i** auf den menschlichen Organismus **giftig (toxisch)**. Dieser Schwellenwert ist individuell gering veränderlich und hängt **stark** von der **aktuellen** persönlichen Toleranzgrenze ab. Die persönliche Toleranzgrenze ergibt sich aus Alter, Geschlecht, aktueller Arbeitsleistung unter Wasser und Tagesform (abhängig von Dehydratation, Alkohol- und Nikotinmissbrauch, Kondition, Klimaanpassung, etc.).

Das Auftreten der atemgasbedingten Taucherkrankheiten hängt nicht von den Druckänderungen beim Ab- oder Auftauchen ab, sondern ist direkt abhängig vom Umgebungsdruck. Man ordnet diese Vergiftungen daher allgemein der Isopressionsphase zu.

Atemgasbedingten Taucherkrankheiten unter Überdruck:

Sauerstoffvergiftung	(Hyperoxie)
Sauerstoffmangel	(Hypoxie)
Kohlendioxidvergiftung	(Hyperkapnie)
Kohlenmonoxidvergiftung	
Stickstoffvergiftung	(Stickstoffnarkose, „Tiefenrausch“)

HPNS (high pressure neurological syndrome)
[Beim Tauchen mit Helium in Tiefen > 200 m.]

4.2.1. Sauerstoff [O₂] - Vergiftung, Hyperoxie

Ein Taucher ist während des Tauchgangs mit Druckluft immer einem erhöhten Sauerstoffpartialdruck (pO_2) ausgesetzt. Die Erhöhung des pO_2 wird als **Hyperoxie** (*Sauerstoffübersättigung*) bezeichnet.

Bei $pO_2 > 1$ bar im Atemgas wird hyperbarer Sauerstoff geatmet.

Historisches:

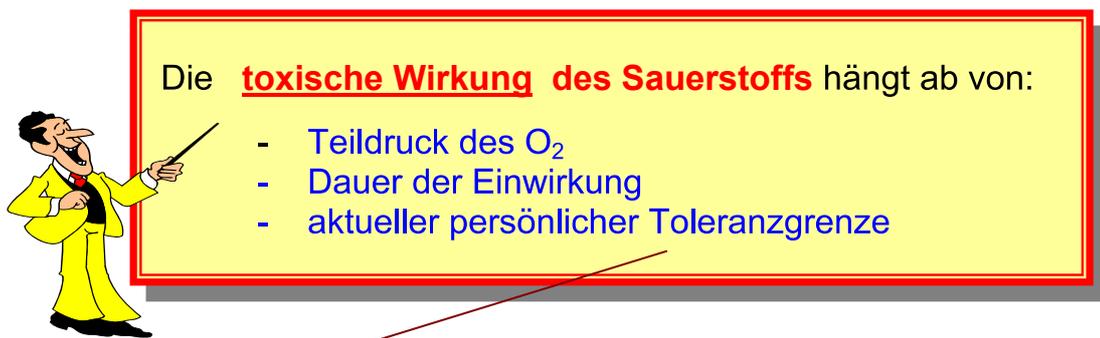
Paul Bert (frz. Forscher) beschrieb 1878 die toxische Wirkung des Sauerstoffs an Versuchstieren. Er beobachtete bei stark erhöhten pO_2 das Auftreten von Krämpfen. Diese Wirkung des Sauerstoffes auf das Zentralnervensystem (ZNS) wird deshalb als "Paul-Bert-Effekt" bezeichnet.

Der Pathologe **J. Lorrain Smith** beschrieb 1899 Lungenschädigungen bei Versuchstieren nach längerer Atmung von fast reinem Sauerstoff ($pO_2 = 0,75$ bar für vier Tage). Die beobachteten Veränderungen an der Lunge werden nach ihm als "Lorrain-Smith-Effekt" bezeichnet.

In Abhängigkeit von der Dauer der Einwirkung und vom Teildruck wirkt Sauerstoff giftig (toxisch).

Während ein $pO_2 \leq 0,5$ bar zeitlich unbegrenzt vertragen wird, kommt es beispielsweise bei einem $pO_2 \geq 1,4$ bar in nasser Umgebung (d.h. beim Tauchen) bereits nach etwa zwei Stunden zu Schädigungen der Atemwege (**pulmonale O₂-Giftigkeit**). In trockener Umgebung (z. B. in Taucherdruckkammer) wird ein pO_2 von 2,8 bar etwa 30 Minuten lang vertragen.

Bei stark erhöhten pO_2 kommt es nach kürzester Zeit zu Auswirkungen auf das ZNS (**neurologische O₂-Giftigkeit**) mit Symptomen wie Zuckungen um Mund und Augenlider, Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerzen und Sehstörungen bis hin zu tonischen Krämpfen (kontinuierliche Muskelkontraktion).



Die **Sauerstofftoleranz** ist abhängig:

- vom Individuum (Alter, Geschlecht, Kondition, Konstitution)
- **ändert sich von Tag zu Tag**
- ist verkürzt bei Arbeitsleistung
- ist unter Wasser geringer als in einer Druckkammer
- ist geringer bei erhöhtem CO₂-Gehalt im Blut
- ist geringer bei kalter oder sehr warmer Umgebung.

Pulmonale O₂-Giftigkeit

Die **pulmonale O₂-Giftigkeit** kann in Einheiten **UPTD** ("unit of pulmonary toxic dose", Lungentoxizitätsdosis) konkretisiert werden. Als Einheit 1 UPTD ist die Wirkung definiert, die bei 100% O₂-Atmung (bei 1 bar Umgebungsdruck) nach 1 Minute auftritt.

Es gilt die Formel:

$$\text{UPTD} = k_p \times t$$

$$k_p = -1,2 \sqrt{\frac{0,5}{p-0,5}}$$

wobei t = Einwirkungsdauer in Minuten und k_p = Korrekturfaktor (abhängig vom Partialdruck, korreliert mit der Abnahme der Vitalkapazität).

Bei Behandlungen in der Taucherdruckkammer werden die einzelnen UPTD entsprechend den verschiedenen Sauerstoffbehandlungsstufen bestimmt und addiert.

Ab 300 UPTD/Tag wird es ungesund, bei 615/1425 UPTD/Tag wird die Vitalkapazität um

4% / 10% reduziert. Bei der Behandlung einer Dekompressionskrankheit (s. Kapitel 4.3.3.) vom Typ I soll die Gesamtdosis < 600 UPTD und bei Behandlung einer Dekompressionskrankheit vom Typ II < 1400 UPTD sein. Bei einer UPTD > 1425 kommt es zu nicht reversiblen Schädigungen des Verunfallten.

Kritische Grenze für pO₂
(bei einer Einwirkungsdauer von 45 Minuten^{*}):

1,6 bar

Kritische Tiefengrenze beim Tauchen mit
(bei einer Einwirkungsdauer von 45 Minuten^{*}):

Druckluft (21% O₂) ≈ 66 m
Sauerstoff (100% O₂) ≈ 6 m
Mischgas abhängig vom O₂- Anteil

Aber: Immer die persönliche Toleranzgrenze beachten!

Forschungstaucher dürfen schlauchversorgt mit Druckluft bis maximal 50 m Tiefe tauchen. Sie sind damit ausreichend von der kritischen Grenze für O₂ entfernt!

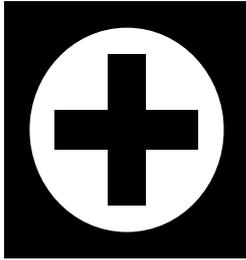
Diese Grenze gilt für Forschungstaucher bei leichter bis mittlerer Arbeitsleistung.
Quelle: NOAA (1991, 2001)

* Tauchgänge in großer Tiefe über 45 Minuten Dauer mit Druckluft als Atemgas sind aufgrund der dann notwendigen extrem langen Austauschpausen in der Praxis sehr unwahrscheinlich!

Beim Tauchen mit dem Atemgasgemisch NITROX werden von den Tauchsportverbänden als Grenzwert angegeben:

	Maximal zulässiger Sauerstoffpartialdruck
In warmem Wasser ohne Anstrengung und ohne Stressfaktoren	1,6 bar
In kaltem Wasser , bei Anstrengung und weiteren Stressfaktoren	1,4 bar

Sauerstoffvergiftung		
	Pulmonale O₂-Giftigkeit	Neurologische O₂-Giftigkeit
Formen der Vergiftung	<p>langsam (subakut, chronisch)</p> <p>bei geringer Erhöhung des O₂-Partialdruckes und langer Einwirkdauer (z.B. 0,8 bar und T > 12- 48 Stunden)</p>	<p>schnell (akut)</p> <p>O₂-Partialdruck > 2-3 bar</p> <p>ohne Vorwarnzeichen (möglich ab pO₂ = 1,5 bar)</p> <p>gefährlicher, da schneller Verlauf</p>
Auftreten	Druckkammer , Langzeitaufenthalte in UW-Labors, Sättigungstauchen, (Beatmung)	insbesondere bei Kreislaufgeräten mit 100% Sauerstoff
Symptome	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trockenheitsgefühl in den Atemwegen ("Kratzen im Hals"), Hustenreiz ▪ atemabhängiger Schmerz hinter dem Brustbein ▪ Atemnot <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schüttelfrost, Fieber ▪ Lungenschädigungen, Ödembildung und Kollaps der Alveolen <ul style="list-style-type: none"> → Luftnot → O₂-Mangel (Hypoxie) → Bewusstlosigkeit → Tod ☠ ▪ Lungenentzündung <hr/> <p>☠ Bei Bewusstlosigkeit: Gefahr des Ertrinkens!</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muskelzuckungen im Mundbereich, (Lippenzittern) ▪ Übelkeit, Schwindel ▪ Schüttelkrämpfe ▪ Störung der Atmung <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hände zittern, Kribbeln in Fingern und Zehen ▪ allgemeine Unruhe, Verwirrung, Angstgefühl ▪ Sehstörungen ("Tunnelblick") ▪ Hörstörungen (z. B. Geräusche: Musik, Glocken, Klopfen) ▪ Zungenbiß, Blutungen ▪ Krämpfe an Armen und Beinen <ul style="list-style-type: none"> → Bewusstlosigkeit → nach 15 Min. Tod ☠ <hr/> <p>☠ Bei Bewusstlosigkeit: Gefahr des Ertrinkens!</p>
	Zwischen beiden Formen gibt es fließende Übergänge!	

Sofortmaßnahmen:

Verunfallten aus dem Sauerstoffmilieu holen: $pO_2 \downarrow$

Tauchgang abbrechen, austauchen, Wasser verlassen!

An der Wasseroberfläche möglichst nicht mehr aus dem Gerät atmen.
Die Symptome verschwinden dann meist innerhalb von Sekunden bis Minuten.

Bei Krampfanfällen unter Wasser:

- Taucher gegen Absinken sichern (festhalten).
- Kontrolliert austauchen!
- Verunfallter soll sein Mundstück wg. Ertrinkungsgefahr im Mund behalten!

Bei Krampfanfällen über Wasser (z. B. in einer Druckkammer):

- Atemmaske abnehmen!
- Kammerdruck während des Krampfanfalls nicht ändern (Gefahr einer Lungenüberdehnung).
- Verunfallten vor Verletzungen schützen (Kopf und Extremitäten polstern, Beißkeil gegen Zungenbiss (*schwierig!*))
- Unterkühlung vermeiden (in Decken hüllen)

Vorbeugung:

Erlaubte Einsatztiefen und -zeiten sowie Warnzeichen strikt beachten!

Bei Einsatz von Sauerstoff-Kreislaufgeräten:

- *Nicht tiefer als 5-6 m tauchen.*
- *Maximal 2 Stunden pro Tag tauchen.*

Beim Tauchen mit Atemgasgemisch Nitrox (Grenzwerte der Bundesmarine):

- | | | | |
|------------|--------------------------------|-------------|------|
| ❖ Nitrox B | (60,0 % O_2 / 40,0 % N_2) | Max. Tiefe: | 24 m |
| ❖ Nitrox C | (40,0 % O_2 / 60,0 % N_2) | Max. Tiefe: | 42 m |
| ❖ Nitrox D | (32,5 % O_2 / 67,5 % N_2) | Max. Tiefe: | 54 m |

4.2.2. Sauerstoff [O₂] - Mangel, Hypoxie

Der normale Anteil von Sauerstoff in der Atemluft liegt bei 21%. Sinkt dieser Anteil (bei normalem Umgebungsdruck von 1 bar) auf unter 16%, kommt es zu den ersten Erscheinungen von Sauerstoffmangel.

Über und unter Wasser gilt:

$pO_2 < 0,16 \text{ bar} \rightarrow \text{Sauerstoffmangel}$

Ursachen:

- ① Fehlender Luftvorrat.
- ② Zustand nach Hyperventilation
Beispiele:
 - Beim Streckentauchen: Schwimmbad-Blackout = Hypoxie im Gehirn.
 - Beim Freitaucher/Schnorcheltaucher (insbes. bei Hyperventilation).
- ③ Bei vermehrter Anstrengung (*zu viel Blei, Strömung, mangelnde Kondition, Gerätedefekt*)
 - höherer O₂-Bedarf, höhere CO₂-Produktion
 - Lufthunger, beschleunigte Atmung, Gefühl der Kurzatmigkeit
 - Essoufflement (*s. a. 2.7 und 4.2.3*)
 - O₂-Mangel und CO₂-Anstieg
- ④ Angst (*insbesondere bei Anfängern*)
 - Essoufflement mit fließendem Übergang zur CO₂-Vergiftung
- ⑤ Lungenschädigung (Lungenunterdruckbarotrauma, Lorain-Smith-Effekt)
- ⑥ CO in Atemluft → Blockade des Sauerstofftransportes im Blut (*s. a. 4.2.4*)
- ⑦ Beim Tauchen mit Mischgas: falsch gemischtes Atemgas (*hypoxisches Gasgemisch*)
- ⑧ Helmtaucher / Druckkammer: CO₂-Anstieg aufgrund unzureichender Spülung (*s.a. 4.2.3*)
(*Die Kohlendioxidvergiftung tritt als erstes Problem auf!*)
- ⑨ *Nur bei Kreislaufgeräten: falsches Gemisch im Atembeutel (d.h. O₂-Gehalt im Atembeutel zu gering, z. B. wegen unvollständigem Leeratmen vor dem Tauchen).*

Symptom:**Bewusstlosigkeit**

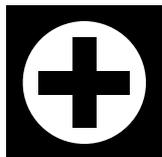
Sauerstoffmangel [Hypoxie]	
pO ₂ : 0,10 - 0,12 bar [10-12 % bei 1 bar Umgebungsdruck] (langsamer ↓ O ₂ -Atemgasanteil)	Hebung der Stimmung (falsches Wohlbefinden); Denk- und Konzentrationsschwäche, Verlust jeglicher Initiative, falsche Reaktion auf Notfälle, mangelhafte Arbeitsleistung
pO ₂ : < 0,10 bar [10% bei 1 bar Umgebungsdruck] (schnell eintretender O ₂ -Mangel)	Gedächtnislücke, Kreislauf- und Atemstörung, <u>Bewusstlosigkeit</u> , Tod †

Weiteres mögliches Symptom:

Leichte Zyanose = blau-rote Färbung von Haut und Schleimhäuten (Nagelbett, Lippen, Ohrplättchen, später: gesamte Haut) *(Dies wird unter Wasser meist nicht bemerkt.)*

Besondere Gefahr:

Es gibt keine vom Taucher deutlich registrierbaren Warnzeichen der drohenden Bewußtlosigkeit!

Sofortmaßnahme:

- **O₂-Atmung (möglichst 100%)**
- Anstrengungen vermeiden.
- Schnelles Atmen vermeiden.
- Falls notwendig: Atemspende (**sofort**)
- **Arzt** aufsuchen, bzw. Transport ins Krankenhaus

**Vorbeugung:**

- Gasgemisch vor dem Tauchgang analysieren.
- Richtig atmen!

4.2.3. Kohlendioxid [CO₂]-Vergiftung, Hyperkapnie

Wdh.: CO₂-Gehalt in atm. Luft: 0,03 bis 0,04 Vol.-%, in der Ausatemluft: ~ 4,5 Vol.-%.

CO₂ im Körper ist der stärkste Atemreiz.

CO₂-Produktion im menschlichen Körper ist von der körperlichen Aktivität abhängig.

→ Bei gleicher Aktivität keine Zunahme des pCO₂ im Blut mit der Tiefe, aber Abnahme des prozentualen Anteils am Gesamtvolumen des Atemgases in den Alveolen!

Atemgasverunreinigungen mit CO₂ wirken sich dagegen in größeren Tiefen stärker aus, da ein Anstieg von CO₂ in den Alveolen die Abgabe von CO₂ aus dem Blut erschwert.

Vergiftungserscheinungen,
wenn Kohlendioxid Anteil in atmosphärischer Luft (p = 1 bar)

> 0,5 Vol.-% (5000 ppm)

(MAK-Wert lt. Gewerbeverordnung)

[MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration]

Def.: 1 ppm (parts per million) = 0,0001 Vol.-% → 1 Molekül auf 10⁶ Gasmoleküle

Die DIN 3188 (Druckluft für Atemgeräte) erlaubt **nur 800 ml CO₂ pro m³** (entspricht **0,08 Vol.-%**).

Ursachen für erhöhte CO₂-Konzentrationen:

- ① Durch CO₂ verunreinigte Druckluft (CO₂-Kontamination des Atemgases)
(durch nicht richtig betriebenen Kompressor,
unzureichender Abfuhr des CO₂ (zu geringe Spülluftrate) aus Taucherdruckkammer,
in U-Booten oder bei Helmtauchern;
Atmen aus Rettungsweste, die mit CO₂ aus Patrone gefüllt wurde;
Atmen aus CO₂-Gasblasen in Höhlen oder in UW-Iglus)
- ② Pendelatmung
beim Atmen aus Rettungsweste (*nicht zulässig*)
bei Benutzung veralteter Zweischlauchautomaten (*nicht mehr im Handel*)
zu langer/dicker Schnorchel
- ③ Ungenügende Ventilation aufgrund einer vermehrten Arbeitsleistung mit Ermüdung der Atemmuskulatur
Aufgrund von: erhöhter Gasdichte in der Tiefe (*), starke Strömung, Kälte, Atemregler mit hohem Atemwiderstand, Taucher überbleit, enger Taucheranzug
Folge: Atmung nur noch im Bereich der inspiratorischen Reserve (Essoufflement (*s. a. 2.7*))

* Die Dichte des Atemgases nimmt mit der Tiefe zu und führt zu einem erhöhten Widerstand im Luftstrom sowohl im Atemregler als auch in den Atemwegen des Tauchers. Dieser Effekt kann durch enge Anzüge, Begurtung und/oder zu engsitzende aufgeblasene Auftriebsrettungsmittel verstärkt werden. Als Folge ist eine höhere Arbeitsleistung der Atemmuskulatur notwendig. Bei einigen Tauchen kann es deshalb zu einem Anstieg des alveolaren pCO₂ kommen (CO₂-Stau in der Lunge).

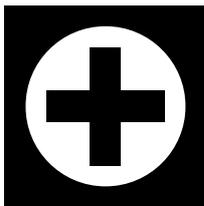
- ④ Fehlerhafte CO₂-Absorption wg. defekter Atemkalkpatrone bei O₂-Kreislaufgeräten, in U-Booten oder UW-Habitaten.

Symptome:

- Schnelles, tiefes Atmen
- Bei Essoufflement: schnelles, flaches Atmen
- Kopfschmerzen (massiv, pochend)
- Übelkeit, Schwindel

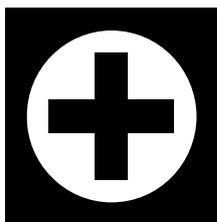
Kohlendioxidpartialdruck [pCO ₂]	Symptome
pCO ₂ ≥ 0,025 bar [2,5 % in atm. Luft]	Atemnot (Lufthunger) Kurzatmigkeit
pCO ₂ ≥ 0,05 bar [5 % in atm. Luft]	- erhebliche Beeinträchtigung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit - Schweißausbruch, Übelkeit, Angstgefühl, Ohrensausen, starke Kopfschmerzen, Müdigkeit - Atmung stark vertieft und mühevoll - möglich: Erbrechen, Bewusstlosigkeit (ab > 20% durch O ₂ -Mangel)
pCO ₂ ≥ 0,20 bar [20 % in atm. Luft]	Tod ☠ durch <u>O₂-Mangel</u> [<u>Hypoxie</u>] (Erstickung)

Sofortmaßnahmen:



Aufstieg zur 1.Austauchstufe [*p* ↓]
Bei Essoufflement: tiefe, kräftige Atmung
Körperliche Anstrengungen vermeiden
(z.B. nicht gegen Strömung anschwimmen)
Verzicht auf Wechselatmung

Sofortmaßnahmen an der Oberfläche:



Falls **ansprechbar** (bei Bewußtsein):

- Frischluft
- Beruhigen!

Bei Bewusstlosigkeit:

- **Sauerstoffatmung**

Vorbeugung zu ③:

- Konditionstraining zur Verbesserung der Lungenfunktion (Erhöhung des maximal zu leistenden AMV)
- Vermeidung körperlichen Anstrengungen in größeren Tiefen (> 20 m)
- Atemregler mit geringem Atemwiderstand und hoher Luftlieferleistung verwenden.

Hinweise:

- CO₂-Anreicherung im Körper erhöht die Giftigkeit von O₂ und N₂. (Beispiel: Der Tiefenrausch tritt bereits in geringerer Tiefe auf!)
- CO₂-Anreicherung im Körper erhöht das Risiko einer Dekompressionserkrankung!

4.2.4. Kohlenmonoxid [CO] - Vergiftung

Kohlenmonoxid: Farb-, geschmack- und geruchloses Gas, das vom Menschen mit seinen Sinnesorganen nicht wahrgenommen werden kann, es entsteht bei unvollständiger Verbrennung organischen Materials, ein wenig leichter als Luft, Affinität zum Hämoglobin 200-300 mal größer als bei Sauerstoff → Sauerstofftransportstörung, keine Reizung der Schleimhäute

Vergiftungserscheinungen,
wenn Kohlenmonoxid Anteil in atmosphärischer Luft (p = 1 bar)
> 0,003 Vol.-% (30 ppm)
(MAK-Wert lt. Gewerbeverordnung)

Die DIN EN 12021 (Druckluft für Atemgeräte, Tauchtiefen bis 50 m) erlaubt **nur 15 ml CO pro m³** (entspricht **0,0015 Vol.-%**).

Ursache:

- **CO - Verunreinigung der** (bei der Flaschenfüllung) **vom Kompressor angesaugten Luft** (Kompressor mit Verbrennungsmotor, stark befahrene Autostraße, Rauchen an der Ansaugöffnung), (CO-Anteil in Auspuffgasen: 4 - 7 %, in Kfz-Abgasen max. 1% erlaubt)
- Defekter Kompressor (**Heißblauen des Kompressors**, z. B. wg. Verwendung des falschen Öls)

Folge:

Akuter Sauerstoffmangel (*Sauerstoffverarmung im Körper*)

Symptome:**Häufig keine Symptome (Frühzeichen) vor dem Einsetzen der Bewusstlosigkeit!****Ansonsten:**

Gleiche Zeichen wie schwere Hypoxie ("O₂-Mangel"):

(Stirn-) Kopfschmerzen

Beeinträchtigung der Sehleistung ("Flimmern")

Benommenheit

Ohrensausen

Übelkeit, Erbrechen

Zustand der Berauschtigkeit, Urteils- und Entschlusskraft geht verloren

Verlangsamung der Atmung

bei starker Wirkung:

starke Beeinträchtigung der Sehleistung

Oberflächliche Atmung (Kurzatmigkeit)

Rosafarbene Haut, "knallrote" Lippen

Gesichtsfarbe: von normal über hellrot / rosarot bis kirschrot (je nach COHb-Anteil)

Kollaps, Bewusstlosigkeit

→ tetanische Krämpfe (schmerzhafte Wundstarrkrämpfe)

→ Tod ☠

CO-Konzentration in Vol % (ppm) der Atemluft bei 1 bar Umgebungsdruck	Symptome
0,003 (30)	MAK-Wert; Keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten.
0,01 (100)	Nach mehreren Stunden leichte Kopfschmerzen.
0,05 (500)	Nach mehreren Stunden heftige Kopfschmerzen, Schwindel, Ohnmachtsneigung.
0,1 - 0,2 (1000 - 2000)	Tod nach 30 Minuten
0,3 - 0,5 (3000 - 5000)	In wenigen Minuten Tod durch Atemlähmung und Herzversagen.

Tabelle (ähnlich) nach: Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, 256.Auflage, Berlin, 1990

Hämoglobinblockierung

Definition: CO-Hb: Kohlenstoffmonoxidhämoglobin, auch: Carboxi-Hb

Bereits geringe CO-Konzentrationen in der Atemluft (bei 1 bar) führen zu gefährlichen Blockaden des Hämoglobins:

0,03 Vol.-% → 20 % CO-Hb

0,07 Vol.-% → 50 % CO-Hb

(nach Plafki, 2001)

Symptome der Kohlenmonoxidvergiftung in Abhängigkeit vom Grad der Hämoglobinblockierung.

% CO-Hb	Symptome
bis 10 %	bei Rauchern und Großstädtern meist keine Probleme, sonst leichte Sehstörungen
bis 20 %	Erweiterung der Hautkapillaren bei Anstrengung
bis 30 %	Ohrensausen, Sehstörungen (Flimmern), Schwindel, rauschartige Zustände, Übelkeit, Erbrechen
bis 40 %	rosafarbene Haut, Bewusstseins Einschränkungen und -verlust, Erregungs- und Angstzustände, oberflächliche Atmung, Kreislaufdepression, abdominelle Symptomatik
40 - 50 %	Cheyne-Stokes-Atmung (= rhythmisch wechselnder Atemtypus mit zu- und abnehmender Atemfrequenz und -amplitude sowie Atempausen) oder periodische Hyperventilation, positive Pyramidenbahnzeichen (= bestimmte Reflexe), gesteigerte Reflexe, tetanische Krämpfe, Pupillen eng oder weit oder ungleich groß, Schocksymptomatik, Körpertemperatur bis ca. 40 °C.
50 - 60 %	finale Hyperthermie, keine Reflexe mehr, kleinste punktförmige Einblutungen und Hautveränderungen.
60 - 80 %	Tod durch zentrale Atemlähmung nach ca. 10 min.

nach: Handbuch Tauch- und Hyperbarmedizin, Hrsg.: Almeling • Böhm • Welslau, 3. Erg.-L., Nov. 1998.

Hinweis:



Starkes Rauchen vor dem Tauchen erhöht den CO-Hb-Spiegel!

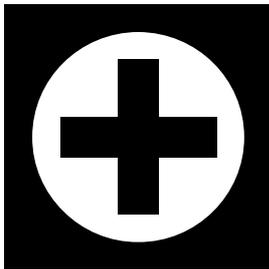
Der Normalwert liegt bei maximal 3 % CO-Hb.
Raucher mit 20 Zigaretten pro Tag ca. 5 % CO-Hb
Raucher mit mehr als 30 Zigaretten pro Tag bis 15 % CO-Hb.

Der Abbau des im Blut gebundenen CO einer Zigarette dauert etwa 12 Stunden!

Besonderheiten der CO-Wirkung bei Tauchern:

Die Giftigkeit von CO nimmt mit seinem Partialdruck zu.

Da bei normaler Atemluft aber auch gleichzeitig der Partialdruck des O₂ und damit seine **physikalische Löslichkeit** im Blut zunimmt, wird ein Teil der giftigen Wirkung (Reduzierung Versorgung der Zellen mit Sauerstoff) aufgehoben.

Sofortmaßnahmen:

- Frischluftatmung
 - **Sauerstoffatmung** (in schweren Fällen über PEEP-Ventil), falls möglich unter Beimischung von 4 % CO₂
 - (→ Atmung wird gesteigert)
 - CO-Abgabe erfolgt ca. vier mal so schnell)
 - **Ärztliche Hilfe anfordern!**
- Wenn der Verunfallte bei Bewusstsein ist:
45°-Oberkörper-Hochlagerung (Hirnödemprophylaxe)
 - Verwendetes Tauchgerät für Atemgasanalyse (z. B. mit Dräger-Prüfröhrchen) bereithalten bzw. mitgeben.

Behandlung in schweren Fällen:

- **Hyperbare O₂-Therapie (= Druckkammer) so schnell wie möglich,**
z.B. Notruf Bundesmarine Kiel, Druckkammer Hamburg

<u>Wirksamkeit der Druckkammerbehandlung bei CO-Vergiftung</u>		
Sauerstoffanteil	Tauchtiefendruck	Halbwertszeit zum Entfernen des CO
21 Vol % (normale Luft)	1 bar (Atmosphärendruck)	250 Minuten
100 Vol %	1 bar	60 Minuten
	2 bar	46 Minuten
	3 bar	23 Minuten

Vorbeugen:

- Kompressor (Verdichter) so aufstellen, dass die angesaugte Luft frei von Verunreinigungen ist.
- Prüfen der Grenzwerte der Luft mit Hilfe von Prüfröhrchen (Grenzwert: Max. 30 ml CO pro m³).
- Nur vom Kompressorhersteller freigegebenes Öl verwenden!
- Mindestens zwei Stunden (besser 12 Stunden) vor dem Tauchgang nicht rauchen.

4.2.5. Stickstoff [N₂] - Narkose ("Tiefenrausch")

IGN = Inergasnarkose Nitrogen narcosis (engl) Rapture of the deep (engl.)

<p>Definition: "Inertgase" sind Gase, die keine biochemischen Reaktionen im Körper eingehen. Beispiele: Stickstoff, Helium, Neon, Wasserstoff, Argon, Krypton, Xenon</p>

Alle Inertgase haben narkoseartige Wirkungen, die von ihrem Partialdruck abhängen!

Beispielsweise ist Helium gut geeignet für Tieftauchexperimente, während Xenon bereits bei normalem Umgebungsdruck Wirkungen zeigt!

Ursache:

- narkotisierende Wirkung des Stickstoffs (oder eines anderen Inertgases) unter erhöhten Druck, Zunahme mit steigendem Umgebungsdruck

Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit für eine N₂-Narkose erhöhen:

- Angst, Besorgnis, Unerfahrenheit
- Alkoholkonsum ("*Martini-Regel*")
- Medikamente/Drogen (z. B. Beruhigungsmittel)
- Ermüdung, Erschöpfung
- körperliche Anstrengung (z. B. Strömung), (CO₂-Überschuß)
- schnelles Abtauchen
- Psychische Anstrengung / Stress,
wg. - schlechter Sicht, Dunkelheit, Kälte

Erklärung des „Tiefenrausches“:

Es gibt derzeit unterschiedliche Erklärungsansätze, die jedoch alle noch nicht wissenschaftlich einwandfrei bewiesen werden konnten.

Folge:

Verminderte physische und psychische Leitungsfähigkeit

Symptome:**subjektiv:**

- **rauschartig** (individuell unterschiedlich in Intensität und Qualität.)
- Gefühl der Berauschtigkeit (ähnlich LSD-Wirkung)
- Trübung des Bewusstseins, Illusionen, Halluzinationen
- Gedächtnis- und Bewusstseinsbeschränkung
- metallischer Geschmack im Mund
- Röhrensehen

objektiv:

- Euphorie, Lustigkeit, Geschwätzigkeit
- Verlust der Kritikfähigkeit (*Zufriedenheit*)
- Verlangsamung der Reaktionszeit auf:
 - optische
 - akustisch
 - und Berührungsreize
- Schwächung der geistigen Aktivität
- Störung der Fähigkeit zu fein koordinierten Bewegungen
- Herabsetzung der Leistungsfähigkeit
- Verlust der eigenen Kontrolle
- Bewegungsverlust
- Bewusstseinsverlust
- Tod durch Ertrinken

Diese Symptome/Zeichen treten in der trockenen Druckkammer erst bei höheren Drücken auf!

Auftreten der Erscheinungen ab 30 m Wassertiefe!

Aber bei jedem Taucher **individuell unterschiedlich**
und insbesondere auch **von Tagesschwankungen abhängig**.

Bei einigen Tauchern treten Erscheinungen auch schon ab 25 m Wassertiefe auf.

deshalb:

Tauche nie allein!

Ausnahme:
Forschungstaucher unter Einhaltung der *GUV-R 2112*



Meistens treten die Erscheinungen in Tiefen ab 40 m auf.

Ab 50 m Tiefe sind bei jedem Taucher Symptome bemerkbar, ab 60 - 70 m kommt es zu deutlichen Zeichen!

Vorsicht: Bei Angst,
Alkoholgenuss oder/und
 Medikamentengebrauch
 kommt es eher und heftiger zum Tiefenrausch!

Sofortmaßnahme:



- Sofortiges Aufsuchen einer geringeren Tauchtiefe (p↓)
(Die Symptome verschwinden dann wieder völlig!)

Vorbeugen:

- **Nicht tiefer als 40 m tauchen!**
 (Dies entspricht der heute übliche Tauchgrenze für Sporttaucher.
 Sporttauchgänge in Tiefen > 30 m werden als "Tieftauchgänge" qualifiziert.)
- **Ständig auf den Tauchpartner achten!**
- **Selbstkritisch** das eigene Befinden kontrollieren.
(Z. B. Rechenaufgabe lösen, auf metallischen Geschmack im Mund achten)
Beim Auftreten erster Symptome niemals tiefer tauchen, Partner bzw. Signalmann unterrichten und sofort geringere Tauchtiefe aufsuchen.
- Langsam (über Tage) an größere Tiefen gewöhnen.
- Jeglichen Genuss von Alkohol und Aufputzmitteln vermeiden.
 Übermüdung und Überarbeitung vermeiden.
 Fit sein!

- Insbesondere beim **Forschungstauchen:**
**Überwachung von Zustand und Verhalten des Tauchers über
 Telefonverbindung; im Notfall mit der Signalleine an die Oberfläche holen!**

- Bei Tieftaucheinsätzen längere Gewöhnungsphase an der Tauchtiefe!
 (Achtung: Die Gewöhnung an die subjektiven Symptome verleitet zu der Fehleinschätzung, dass Selbstkritik und -kontrolle vorhanden seien. Dadurch wird die Gefahr schwerer Tauchunfälle erhöht!)

4.3. Dekompressionsphase, Druckabfall (p↓)

4.3.0. Der „**Tauchunfall**“ (Dekompressionsunfall, Dekompressionserkrankung, DCI)

Decompression Illness	(DCI)	<i>(engl.)</i>
Decompression Incident	(DCI)	<i>(engl.)</i>
Decompression Injury	(DCI)	<i>(engl.)</i>

Die **Leitlinie** „**Tauchunfall**“ vom 02.10.2005 (gültig bis Oktober 2008) wurde von einer Expertenrunde unter der Leitung von Dr. med. Wilhelm Welslau erstellt. Verantwortlich ist die Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e. V. (GTÜM), vertreten durch ihren Vorstand. Unter dem Begriff „**Tauchunfall**“ wird im Sinne der Leitlinie ein potentiell lebensbedrohendes Ereignis verstanden, welches beim Tauchen durch den Druckabfall in der Dekompressionsphase hervorgerufen wird.

Hervorgerufen wird ein **Tauchunfall** durch die **Bildung freier Gasblasen in Blut und Gewebe.**

In Abhängigkeit vom Entstehungsmechanismus kann der Tauchunfall unterschieden werden in:

AGE
Arterielle Gasembolie
'Arterial Gas Embolism' *(engl.)*

DCS
Dekompressionskrankheit
'Decompression sickness' *(engl.)*

Zu einer **arteriellen Gasembolie (AGE)** kommt nach einer Überdehnung der Alveolen mit Einriss im Lungengewebe (Überdruckbarotrauma der Lunge). Folge ist ein ‚Einschwemmen‘ von Gasblasen in die umgebenden Blutgefäße. Diese Gasblasen werden dann im Blutsystem über das Herz in alle Bereiche des Körpers transportiert. Irgendwann bleiben diese Gasblasen stecken („**Gefäßverschluss**“), da sich die arteriellen Blutgefäßen ständig verzweigen und ihr Durchmesser dabei abnimmt. Die Sauerstoffversorgung nachfolgender Körperbereiche wird unterbrochen.

Zu einer **Dekompressionskrankheit (DCS)** kann es nach einem längeren Aufenthalt in Tauchtiefen größer 6 Meter mit einer entsprechenden Stickstoffaufsättigung kommen. Kehrt der Taucher zu schnell an die Oberfläche zurück, kommt es zur Bildung von Stickstoffblasen in Blut und Gewebe. Die Folge können Schmerzen und/oder neurologische Ausfälle sein. Treten die Stickstoffblasen aufgrund von Shuntmechanismen in das arterielle System über, kommt es auch hier zu einer AGE.

4.3.1. Überdehnung der Lunge, Lungenüberdruckbarotrauma

(Mögliche Folgen: **Atemgasembolie, Lungenriss, AGE, CAGE**)

Pulmonales Barotrauma (PBT)

Hyperbares Barotrauma der Lunge

Überdehnung der Lunge

Überblähung der Lunge

'pulmonary barotrauma (PBT) of ascent (engl.)

Positive Differenzdruckschäden der Lunge

ppPB = Positive Pressure Pulmonary Barotrauma

Wenn die Luft beim Auf- bzw. Austausch nicht ausreichend aus allen Bereichen der Lunge abströmen kann, kommt es zu einer Überdehnung der Alveolen, bei größeren Druckdifferenzen zum Einriss eines Lungenabschnittes.

Je nach Ursachenstärke und betroffenem Bereich zeigen sich die unterschiedlichsten Manifestationen:

a) **Einriss im zentralen Lungenbereich**

(*Luftbläschen gelangen in die Blutbahn, „intravasal“*):

Behinderungen im Kreislauf und damit verbundenem Sauerstoffmangel in lebenswichtigen Körperbereichen mit entsprechenden Funktionsausfällen (z. B. Halbseitenlähmung)

b) **Einriss im peripheren Lungenbereich** (Mediastinum und/oder Lungenfell):

Behinderung der Atmung mit Atemnot, Schock.

Nach einer Statistik des NUADC

(*University of Rhode Island, vorwiegend Sporttaucher, C. Edmonds et. al., 1992*)

ist die **Überdehnung der Lunge**

nach dem Ertrinken (*ca. 75%, z.B. wg. Panik, Ermüdung, Selbstüberschätzung, Geräteversagen*)

mit etwa 25 % die **zweithäufigste Todesursache beim Tauchen!**

Ursache:

Die sich **beim Aufstieg** (*Abnahme des Umgebungsdruckes*) entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte **ausdehnende Luft kann nicht ausreichend aus der Lunge abströmen.**

Mögliche Gründe:

① **Schneller Aufstieg mit nicht ausreichender Ausatmung**

(z. B. geplanter oder ungeplanter Notaufstieg, Panikaufstieg).

Es kann nur eine begrenzte Luftmenge pro Zeiteinheit aus den Alveolarbereichen abströmen.

Beispiel 1:

Schnorcheltaucher atmet aus einem am Schwimmbadboden liegendem Leichttauchgerät und vergisst beim Austausch das Ausatmen.

Beispiel 2:

Folgender Unfall hat sich in den USA bei starkem Seegang (sehr hohe Wellen) zugetragen: Ein Taucher hielt sich beim Austauchen an einer fest an einer Kaimauer montierten Leiter fest. Er atmete in dem Augenblick tief ein, als sich über ihm ein Wellenberg befand. Wenig später sank der Tauchtiefendruck stark, da dem Wellenberg nun das Wellental folgte. Der resultierende Überdruck in der Lunge führte zu einer Überdehnung und dann zu einem Einriss beider Lungenflügel. Dieser Tauchunfall endete damit tödlich.

② Krankhafte Veränderungen der Lunge

Beispiele:

- Schleimablagerungen (z. B. bedingt durch Erkältung, Husten, Restzustände eines kurz vorher abgelaufenen Infektes)
- lokale Verengungen (z. B. Rauchen, Asthma, Allergien)
- intrabronchiale Strömungshindernisse
(Lungenabnormitäten, wie Pleuraverwachsungen, Vernarbungen, alte Tuberkuloseherde, Zysten, Tumore, Emphysem, größere Lymphknoten)

③ Verschluss des Kehlkopfes durch einen Stimmritzenkrampf (Kehlkopfkrampf), meist als Panikreaktion aufgrund von **Angst** (= auslösender Faktor) oder (recht selten) bei Tauchanfängern durch Einatmen von Wasser ('Wasseraspilation')

Bei Notaufstiegen kann das Gefühl "Luft reicht nicht bis zur Oberfläche" zu Angst und Panik führen. Nach einer amerikanischen Statistik für den Zeitraum von 1970 bis 1979(?) haben sich im Tauchsport etwa 11% aller Lungenüberdruckunfälle bei Prüfungen und beim Üben von Notaufstiegen ereignet.

Bei einem Stimmritzenkrampf kommt es nach einiger Zeit aufgrund von Sauerstoffmangel zur Bewusstlosigkeit. Nach Eintritt der Bewusstlosigkeit löst sich der Krampf meistens wieder.

Durch willkürliches Zusammenpressen der Lippen kann nur eine knappe Sekunde lang ein Pressdruck von 200 mbar aufrecht gehalten werden. Abströmende Luft sprengt Lippen auf, bevor eine Schädigung der Alveolen eintritt.

Folge:

Relativer Überdruck in der Lunge mit unterschiedlichen Schädigungen/Wirkungen:

Mögliche Schädigungen:

- ⇒ Überdehnung und Reißen von Lungenbläschen
- ⇒ Atemgasembolie (z. B.: Herz, Gehirn, andere Organe)
- ⇒ Mediastinalemphysem
- ⇒ Subkutanes Emphysem
- ⇒ Pneumothorax

Die Symptome einer Lungenüberdehnung treten innerhalb von Sekunden bis Minuten auf!

Symptome, die erst 30 Minuten nach Erreichen der Wasseroberfläche auftreten, lassen in der Regel auf eine Dekompressionskrankheit (DCS) schließen.

Überdehnung und Reißen von Lungenbläschen (Alveolen)

Beim Tauchen mit oder kurz nach Erkältung kommt es in kleineren Bereichen der Lungen durch verstärkte Schleimbildung zum Verkleben der Bronchiolen (*Bronchusverengung*). Der Zugang zu den Alveolen ist somit verlegt (verschlossen). Beim Auftauchen kann dann die eingeschlossene Luft nicht vollständig und ungehindert abströmen, es kommt also zu einer regionalen Lungenüberblähung. Die Luft wird praktisch "gefangen gehalten". Dieser Vorgang wird in der Fachsprache bezeichnet als:

„Air trapping“

Auch durch Rauchen wird das Auftreten von „Air trapping“ verursacht und gefördert.

Relativer Überdruck	Folgen
0,05 bar <i>50 cm WS</i>	Kreislaufstörungen und Schwindelanfälle, da der starke Pressdruck den Rückstrom des Blutes aus den Körpervenen zum Herzen behindert.
> 0,07 - 0,10 bar <i>70-100 cm WS</i>	<p>❶ Einige Alveolen und Blutgefäße platzen (viele kleine Mikrorisse).</p> <p>❷ Zentraler Lungenriss → Eindringen von Luftblasen in die Lungenvenen und über das Herz weiter in die Arterien des großen Kreislaufes (Transport bis in das Kapillarnetz). ☒ Beim Auf- /Austauchen nehmen die (Mikro-) Luftblasen in der Blutbahn an Volumen zu.</p> <p>❸ Atemgasembolie, insbesondere:</p> <p style="text-align: center;">'<i>arterial gas embolism</i>' (engl.) Arterielle Gasembolie AGE</p> <p style="text-align: center;"><u>Verstopfung der kleinen Arterien</u> durch Luftbläschen (25 µm bis 2 mm Durchmesser) <u>in lebenswichtigen Körperbereichen</u> mit entsprechenden Funktionsausfällen (Schädigung der Zellen durch Sauerstoffmangel).</p> <p style="text-align: center;">'<i>cerebral arterial gas embolism</i>' (engl.) Zerebrale Gasembolie CAGE</p> <p><u>Atemgasembolie des Gehirns</u> (Hirnfarkt)), überwiegend betroffen ist die rechte Hirnhälfte → komplette oder teilweiser Halbseitenlähmung auf der anderen Körperseite (linke Seite).</p> <p><u>Begriff „Embolie“</u> <i>Verstopfen eines Gefäßes durch ein mit dem Blutstrom verschleppten Fremdkörper („Embolus“)</i> (z. B. Blutgerinnsel, Fetttropfen, Luftblase, Gasblase)</p>

Merke:

Hustender Taucher darf nicht tauchen (bis Bronchitis abgeheilt ist)!

Symptome:

- Bei leichteren Fällen:
 - Müdigkeit, Schwäche, Verwirrtheit, Schwindel
 - Lähmung von Gliedern
 - Sehstörungen
- **Bewusstlosigkeit kurz nach Erreichen der Oberfläche** (typisch)
Auftreten:
 - 8,6% der Fälle: beim Aufstieg,
 - 83,6% der Fälle: innerhalb von 5 Minuten nach Erreichen der Oberfläche,
 - 7,8% der Fälle: 5-10 Minuten nach Erreichen der Oberfläche und
 - 0 % der Fälle: nach 10 Minuten.
- Ausfall von Sinnesqualitäten (*Seh-, Sprach-, Hör-, Geschmacks-, Geruchsstörungen*)
- **halbseitige Lähmungen** (meist linksseitig)
- Tod

Atemgasembolie des Herzens (koronare Atemgasembolie)
(Ursache: Zentraler Lungenriss)

Atemgasblasen in den Herzkranzgefäßen verstopfen Arterien, die den Herzmuskel versorgen
⇒ Auswirkungen und typische Zeichen wie **Herzinfarkt**

Symptome:

- Plötzlich einsetzender Herzschmerz (*Schmerz hinter dem Brustbein*). Der Schmerz kann in Arme, Schulter und/oder Oberbauch ausstrahlen.
- Herzrhythmusstörungen / unregelmäßiger Herzschlag
- Atemnot
- Unruhe
- Infarkt- und Schockzeichen
- Übelkeit, Erbrechen
- Blass-schweißige Haut
- Schwäche
- Tod

Mediastinalemphysem

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluss an das Mediastinum)

Nach dem Reißen von Alveolen (peripher oder zentral*) gelangt Luft in das Gebiet des Brustraums zwischen den beiden Lungenflügeln (Mediastinum, Mittelfellraum) und sammelt sich dort an. Es kommt dort also zu einer Aufweitung des Gewebes durch die Luftblasen (*Atemgasblasen*).

Dies wird als **Mediastinalemphysem** bezeichnet.

(Emphysem: = ungewöhnliche Luftansammlung im Gewebe, Luftgeschwulst)

**: Luft wandert entlang der Stammbronchien durch das lockere Bindegewebe zum Mediastinum.*

Durch die sich im Mediastinum ausdehnenden Luftblasen werden die dort angesiedelten Organe zusammengedrückt. Insbesondere sind betroffen die Luftröhre, die großen Blutgefäße zum Herzen und das Herz selbst. Der Kreislauf wird gestört und die Atmung erschwert.

Symptome:

- Stimmveränderung (Heiserkeit oder "blecherne Sprache" durch Nervenkompression)
- Schmerzen hinter dem Brustbein beim Einatmen
- Atemnot
- Völlegefühl des Halses
- Schockartige Symptome
- Bewusstlosigkeit

Auftreten der Symptome sofort oder auch einige Stunden verspätet.

Subkutanes Emphysem (Unterhaut-Emphysem)

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluß an das Mediastinum)

Nach dem Reißen von Alveolen (peripher oder zentral):

- ⇒ Luft bahnt sich einen Weg nach oben in die Schlüsselbeingruben
- ⇒ Luft in den Unterhautbereichen des Halses und der Schultern
- ⇒ kissenartige Hautaufwölbungen in diesen Körperstellen (die Gasblasen lassen sich im Gewebe verschieben), 'knistern' beim Betasten
- ⇒ Evtl.: Rückflussstörung in den Halsvenen

Symptome:

- Knisternde Haut (Luftansammlung), meist in Schlüsselbeingrube oder vorderem Halsbereich, selten im Nacken
- ("Blähhals" = Hautemphysem)
- Schluckbeschwerden
- Zunehmende Atemnot
- Heisere Stimme
- Raus Gefühl im Hals

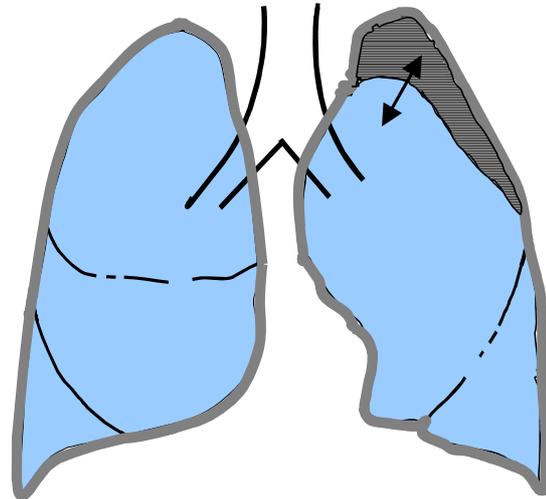
Auftreten der Symptome sofort oder auch einige Stunden verspätet.

Pneumothorax (Luftbrust)

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluß an den Pleuraspalt)

Riss im Bereich des Lungenfells

- ⇒ Luft dringt in den Pleuraspalt (*flüssigkeitsbenetzter Spalt zwischen Lungen- und Rippenfell*) ein.
- ⇒ Aufhebung des normalerweise negativen intrapleurales Druckes (Unterdruck).
Der betroffene Lungenflügel fällt aufgrund seiner natürlichen Spannung ganz oder teilweise zusammen. (Kollaps)
- ⇒ Behinderung des alveolaren Gasaustausches.



Erkennen:

- Keine oder abgeschwächte Atemgeräusche auf der verletzten Seite.
- Verletzter beugt sich nach der verletzten Seite (der andere Lungenflügel dehnt sich aus)
- Verletzter mag nicht liegen, er kann nur sitzen.

Symptome:

Bei leichter Ablösung kleiner Lungenpartien:

- Keine Symptome.

Bei stärkerer Ablösung größerer Lungenpartien:

- Atemnot, Kurzatmigkeit
- plötzlicher, stechender Brustschmerz auf betroffener Seite
- (in Schulter und Arm ausstrahlend)
- Hustenreiz
- Evtl. Abhusten von blutig-schaumigem Sekret
- oberflächliche, rasche Atmung
- Zyanose, blau-rote Färbung von Lippen/Haut
- (Wg. O₂-Mangel reduziertes Hämoglobin im Kapillarblut)
- Schockzeichen

Sofortmaßnahmen:

Lagerung auf der betroffenen Seite, damit sich die funktionsfähige Lunge voll entfalten kann.

Besondere Gefahr:

Mögliche Vorstufe für Spannungspneumothorax.

Spannungs-, Ventilpneumothorax

(extreme (schwere) Form des Pneumothorax)

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluß an den Pleuraspalt)

Rissstelle an der Lunge wirkt wie ein Flatterventil (Entenschnabelventil, Einwegventil)

- ⇒ Verdrängung der Lunge durch die Ausdehnung der Luft im Pleuraspalt.
- ⇒ Bei jedem Einatmen füllt sich die Brusthöhle mit mehr und mehr Luft. Diese Luft kann nicht entweichen. Es entsteht somit ein Überdruck im Pleuraspalt.
- ⇒ Ist die Rissstelle bereits unter Wasser beim Auftauchen aufgetreten, wird der Effekt (Überdruck) entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte durch die Abnahme des Umgebungsdruckes weiter verstärkt!
- ⇒ Herz, große Gefäße sowie der andere Lungenflügel werden verlagert (verdrängt).
- ⇒ Herz und intakter Lungenflügel werden lebensbedrohend zusammengedrückt.
- ⇒ Die zum Herzen hinführenden Gefäße werden abgeknickt (erschwerter venöser Rückfluss).
- ⇒ Herz schlägt leer (Pumpversagen!), kaum Überlebenschance, falls kein Arzt dabei!
- ⇒ Herzbedingter Schock
- ⇒ Tod nach kurzer Zeit (O₂-Mangel)

Symptome:

wie beim Pneumothorax, aber deutlicher und dramatisch ansteigend

Besondere Kennzeichen:

- "beängstigende" Atemnot
- Zyanose (insbesondere der unteren Körperhälfte)

Notwendige lebensrettende Sofortmaßnahme
bei Spannungspneumothorax durch Arzt / ausgebildeten Helfer:

**Sofortige Druckentlastung des betroffenen Pleuraraumes durch
Punktion mit großkalibriger Kanüle!**

Die Leitlinie Tauchunfall unterscheidet nicht zwischen AGE und DCS, deshalb gelten die nachfolgend aufgelisteten Maßnahmen der Erste Hilfe für beide Ereignisse.

Einteilung der Symptome bei Verdacht auf „Tauchunfall“ <i>(entspr. der Leitlinie Tauchunfall)</i>	
Milde Symptome	<ul style="list-style-type: none"> • Auffällige Müdigkeit • Hautjucken („Taucherflöhe“) <p>mit kompletter Rückbildung innerhalb von 30 Minuten nach Einleiten der spezifischen Erste-Hilfe-Maßnahmen.</p>
Schwere Symptome	<p>Bei Auftreten von Symptomen noch unter Wasser oder Vorliegen von anderen Symptomen wie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hautsymptome • Ameisenlaufen • Körperliche Schwäche • Taubheitsgefühl • Lähmungen • Atembeschwerden • Seh-, Hör-, Sprachstörungen • Schwindel • Übelkeit • Eingeschränktes Bewusstsein • Bewusstlosigkeit



Tauchunfall mit milden Symptomen

- 100% Sauerstoffatmung
- Flüssigkeitsgabe
- Bei Unterkühlung weiteren Wärmeverlust verhindern
- „5-Minuten-Neurocheck“
- Keine nasse Rekompensation
- Wenn symptomfrei innerhalb von 30 Minuten:
- Wenn noch Symptome nach 30 Minuten vorhanden



Tauchunfall mit schweren Symptomen

Lagerung

- Bei bewusstseinsklarem Taucher: **Rückenlagerung**

100% Sauerstoffatmung

Bei intakter Eigenatmung über dicht abschließende Maske mit

CO_2 -Absorber),

Bei unzureichender Eigenatmung Masken-Beatmung mit 100% O_2 -Zufuhr über:

b) CO_2 -Reservoir und O_2 -Konstantdosierung

CO_2 Demand-Ventil oder
 CO_2 -Absorber

Flüssigkeitsgabe

- Bei bewusstseinsklarem Taucher:

Rettungsleitstelle alarmieren:

Weitere Maßnahmen:

5-Minuten-Neurocheck, Wärmeverlust verhindern, Überwachung und Erhaltung der Vitalfunktionen, ggf. HLW, Dokumentation (Persönliche Daten, Tauchgangsdaten, Symptomsverlauf, Behandlungsmaßnahmen), Gerätesicherstellung (Computer, Tiefenmesser)

Vorbeugende Maßnahmen gegen ein Lungenüberdruckbarotrauma:

- Mit Schleimhautschwellung nicht tauchen.
- Langsamer Aufstieg mit stetigem Atmen.
- Luft nicht anhalten, keine Sparatmung!
- Aufstiegsgeschwindigkeit mit der Annäherung zur Oberfläche reduzieren:

Tauchtiefe [m]	Max. Aufstiegsgeschwindigkeit [m min ⁻¹] für Sporttaucher
< 9	7
9 - 16	15
16 - 32	21
> 32	27

- *Beim Austauchen Husten vermeiden!*

Verhalten des Helfers (Tauchpartner) bei einem Stimmritzenkrampf:

Ein Stimmritzenkrampf ist an den fehlenden Ausatemblasen erkennbar. Der Helfer (Tauchpartner) muss den Eintritt der Bewusstlosigkeit und das Lösen des Krampfes abwarten, bevor er mit der Rettung des Verunfallten (Aufstieg zur Wasseroberfläche) beginnen kann.

Verhalten des Helfers bei einem Panikaufstieg gegenüber dem Verunfallten:

Weiteren Aufstieg verhindern durch Verringern des eigenen Auftriebes (Entleeren von Weste/Jacket, Ausatmen) und herunterziehen des Partners. Dazu erfolgt die Annäherung von hinten um nicht selbst durch Panikattacken gefährdet zu werden. Es ist darauf zu achten, dass der Verunfallte seinen Lungenautomaten im Mund behält (insbes. nach Stimmritzenkrampf mit folgender Bewusstlosigkeit).

4.3.2. Weitere Überdruckbarotraumata

(Alte Bezeichnung: *Inverse Barotraumata*)

4.3.2.1. Mikro-Überdruckbarotrauma der Zähne

Hyperbares Barotrauma der Zähne
DB = Dental Barotrauma

Ursache:

Kleine luftgefüllte Hohlräume unter Einlagen, Kronen und bei Entzündungsherden an Zahnwurzeln mit haarfeinen Gängen nach außen. Diese Hohlräume haben sich während des Tauchganges langsam mit Luft *entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte* gefüllt.

Folge:

Die komprimierte Luft kann beim Auf-/Austauchen nicht schnell genug entweichen. Es entwickelt sich ein relativer Überdruck, der auf den Zahnerv wirkt.

In schweren Fällen wird die Füllung bzw. die kariöse Zahnwand weggesprengt.

Symptome:

- (Massive) Zahnschmerzen: ziehend, bohrend bis unerträglich.
(Die Schmerzen werden evtl. an eine andere Stelle des Kiefers projiziert.)
- Blutungen
- Beschädigter Zahn (ggf. Röntgen-Darstellung)

Sofortmaßnahmen:



- Langsam austauchen und Partner informieren, da im Extremfall Bewusstseinsverlust droht.
- Schmerzmittel
- Zahnarzt aufsuchen (ggf. Gebissanierung)



Vorbeugen:

Regelmäßige Zahnarztbesuche



4.3.2.2. Überdruckbarotrauma des Mittelohres

Ursache: Nachlassen der Wirkung von abschwellenden Arzneimitteln (aufgrund der Länge des Tauchganges)

Folge: Verschluss der Eustachischen Röhre (Tube), *Tubenfunktionsstörung*
⇒ Überdruck im Mittelohr
⇒ Verstärkte Wölbung des Trommelfells nach außen
⇒ Trommelfellriss

Symptome: Beim Auf-/Austauchen stechende Ohrenscherzen, die beim
⇒ Einreißen des Trommelfells schlagartig nachlassen.
⇒ Kältereiz ⇒ Störung des Gleichgewichtsorgans
⇒ **Drehschwindel und Verlust der Orientierung**
⇒ **Gefahr: Panik / unkontrollierter Notaufstieg**

Vorkommen, Sofortmaßnahmen, Behandlung:

Siehe Unterdruckbarotrauma des Mittelohres (4.1.2.)

4.3.2.3. Überdruckbarotrauma des Innenohres

(inkl. "implosives Innenohr-Barotrauma")

Ursache: Ventilverschluss der Eustachischen Röhre (Tube)

Folge: Luft kann nicht in den Nasenrachenraum entweichen
⇒ Überdruck im Mittelohr (s.a. 4.3.2.2)
⇒ Druck auf das Runde Fenster und auf das Ovale Fenster
⇒ Auslenkung der Membranen in Richtung Innenohr
⇒ selten: Ruptur der Membranen in Richtung Innenohr und nachfolgend Eintritt von Luft in das flüssigkeitsgefüllte Innenohr

Symptome: Schmerzhaftes Völlegefühl, Drehschwindel, Übelkeit und Erbrechen.
Sehr selten: Membranruptur (entspr. dem Unterdruckbarotrauma des Innenohres (s.a. 4.1.3.),
gelegentlich Schwerhörigkeit stärker ausgeprägt

Vorkommen, Sofortmaßnahmen, Behandlung:



Bei Ruptur wie Unterdruckbarotrauma des Innenohres (s. 4.1.3.)

4.3.2.4. Überdruckbarotrauma der Nasennebenhöhlen

Hyperbares Barotrauma der Nasennebenhöhlen
'sinus overpressure (reverse sinus squeeze)' (engl.)
ppBNS = Positive Pressure Barotrauma of the Nasal Sinus

Ursache:

Nachlassen abschwelliger Arzneimittel (aufgrund der zeitlichen Länge des Tauchganges)
oder

flottierender Polyp

(*'flottieren': sich hin- und herbewegen*)

(*'Polyp': Geschwulst, die sich aus Schleimhaut aufbaut.*)

Folge:

Relativer Überdruck in der betroffenen Nasennebenhöhle

Symptome:

Beim Auf-/Austauchen starke, stechende Schmerzen mit meist schlagartiger Entlastung

⇒ serös-blutiger Ausfluss (meist aus dem Nasenloch der betroffenen Seite)

Sofortmaßnahmen:

Aufstieg verlangsamen, ggf. Tauchgang abbrechen.

Behandlung:

HNO-Arzt, evtl.: Tauchverbot!

Polyp(en) entfernen lassen

Vorbeugen:

Tauchverbot bei Erkältung

(⇔ Schwellung der Schleimhäute ⇔ Entzündungen der Nase und Nebenhöhlen)

4.3.2.5. Überdruckbarotrauma des Magen-Darm-Traktes

Hyperbares Barotrauma des Magen-Darm-Trakts
'over expansion of the stomach and intestine' (engl.)
ppGIB = Positive Pressure Gastrointestinal Barotrauma

Ursache:

Gasansammlung im Magen-Darm-Trakt
durch Verschlucken der Atemluft

(z. B. panikartig in Notsituationen oder wiederholt in kleinen Mengen bei Durchführung des Druckausgleiches)

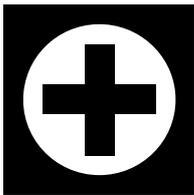
oder

aufgrund des Genusses blähender Speisen/Getränke (→ Darmgase)

Symptome:

- Völlegefühl
- Aufstoßen
- Blähungen
- Magenschmerzen, Magenkrämpfe
- Möglich: Behinderung der Atmung → Luftnot
- Extrem selten: Magen- oder Darmruptur (= akuter Notfall).

Sofortmaßnahmen:



- Auf-/Austauchen stoppen, Leibmassage von rechts nach links dem Dickdarmverlauf folgend.
- Entspannen und beruhigen, Darmgase auf natürlichem Wege entweichen lassen, anschließend Austauchen fortsetzen.
- Bei Magen-/Darmruptur mit Notarztwagen (NAW) ins Krankenhaus.

Behandlung:

Normalerweise ist eine Behandlung nicht notwendig.

Bei Magen-/Darmruptur: Operativer Eingriff.

Vorbeugen:

Vor dem Tauchgang keine blähenden Speisen essen und kohlenensäurehaltige Getränke meiden.

4.3.3. Dekompressionskrankheit(en) (DCS)

(Typ: (0), I, II)

Druckfallkrankheit
Stickstoffkrankheit
decompression sickness (DCS) (engl.)
Alte Bez.: Caissonkrankheit

decompression sickness

a condition caused by the formation of nitrogen bubbles in the blood or body tissues as the result of a sudden lowering of atmosphere pressure, as in deep-sea divers returning to the surface too quickly: it is characterised by tightness in the chest, by pains in the joints, and by convulsion and collapse in severe cases.

(aus: Webster's New World Dictionary, second college edition, 1980, New York: Simon & Schuster)

Überblick über die Dekompressionskrankheit

Beim Tauchen ändern sich entsprechend dem aktuellen Tauchtiefendruck (Umgebungsdruck) die Partialdrücke der einzelnen Atemgase. Als Verursacher einer typischen Taucherkrankheit ist das Inertgas Stickstoff (N₂) dabei besonders zu beachten. Entsprechend seinem Partialdruck (pN₂) wird es vom menschlichen Körper aufgenommen und in den unterschiedlichen Geweben (z.B. Blut, Lymphe, Fett) in Abhängigkeit vom jeweiligen Löslichkeitskoeffizienten gelöst (*Gesetz von Henry, 1.5.6*). Bei verdoppeltem Partialdruck (z. B. Abtauchen von der Oberfläche auf 10 m Wassertiefe) wird sich nach Ablauf einer bestimmten Sättigungszeit die doppelte Menge Stickstoff im Körper des Tauchers befinden. Die Dauer bis zum Erreichen der vollständigen Sättigung hängt ab von der Durchblutung der jeweiligen Gewebeart. Eine vollständige N₂-Sättigung des langsamsten Gewebes dauert etwa vier Tage. Fett oder fett-haltige Gewebe nehmen etwa fünfmal mehr Stickstoff auf als wässrige Gewebe.

Gewebe lassen sich entsprechend ihrer "Sättigungsbereitschaft" einteilen:

- l a n g s a m e Gewebe (z. B. Nervengewebe (Rückenmark, ZNS))
- m i t t l e r e Gewebe (z. B. Knorpel, Sehnen, Bänder)
- s c h n e l l e Gewebe (Gewebsflüssigkeit, Blut)

Beim Aus- bzw. Auftauchen muss unter physiologisch tolerierbaren Bedingungen der im Körper zusätzlich gelöste Stickstoff wieder abgeatmet werden. Durch die Senkung des Umgebungsdruckes bilden dabei sich im Gewebe immer Mikrogasblasen! Zirkulierende Blasen mit einem Radius > 40 µm lassen sich mit Ultraschall (Doppler-Effekt) nachweisen, falls mehrere Gasblasen vorhanden sind. Einzelne Gasblasen sind ab einem Radius > 150 µm erkennbar. Der Begriff "Mikrogasblasen" bezog sich ursprünglich auf die Blasen mit einem Radius < 40 µm, die mit dem Doppler-Verfahren nicht nachweisbar sind. Inzwischen wird der Begriff teilweise auch für etwas größere Blasen verwendet. Wenn es als Folge von Stickstoffblasen zu Schädigungen der Körpergewebe kommt, spricht man von einer **Dekompressionskrankheit**. Bei einem zu schnellen/großen Druckabfall kommt es in allen Gebieten des menschlichen Körpers zu einem regelrechten "Ausperlen" der Stickstoffblasen (ähnlich dem Geschehen beim Öffnen einer Sektflasche!). Diese Gasblasen "verstopfen" die Kapillaren und verursachen damit in den betroffenen Gebieten eine Sauerstoffunterversorgung (Hypoxie) mit entsprechenden Funktionsausfällen. Bevorzugte Regionen der Blasenbildung sind die Gelen-

ke (insbesondere: Knie-, Ellenbogen- und Oberarmgelenk) und das Rückenmark (\Rightarrow sensor-motorische Ausfälle). Durch eine Erhöhung der Körpertemperatur (z. B. heißes Duschen/-Baden oder Saunabesuch direkt nach dem Tauchgang) wird die N_2 -Löslichkeit weiter herabgesetzt und die Blasenbildung beschleunigt. Beim Tauchen kommt es außerdem zu einer verstärkten Harnproduktion und der damit verbundenen Dehydratation der Gewebe. Das eingedickte Blut fließt langsamer und die Abgabe des N_2 über die Lunge verzögert sich.

Aus dem Gewebe in die Blutbahnen eingeschwemmte Stickstoffblasen werden über das venöse Blut zur Lunge transportiert und dort herausgefiltert (Diffusion in die Alveolen). Bei einem erhöhten venösen Blasenanteil werden die Bronchien verengt und es kommt zu Lungenreizungen mit Hustenanfällen (engl. 'chokes'). Die Filterkapazität der Lungen wird überschritten und das Blut gelangt teilweise ohne Kontakt mit den Alveolargasen in den arteriellen Kreislauf (*arteriellen Schenkel*). Diese vermehrte venöse Zumischung verzögert die N_2 -Abgabe mit der Atmung. Sie wird als Rechts-Links-Shunt bezeichnet (A. A. Bühlmann, 1993). Ähnlich der arteriellen Gasembolie (AGE) infolge eines Lungenbarotraumas führen auch die Stickstoffbläschen zu einer Sauerstoff-Unterversorgung mit Schädigungen im zentralen Nervensystem (ZNS) und/oder anderen betroffenen Bereichen.

Auch unmittelbar nach einem Tauchgang kommt es noch zur Einschwemmung von Mikrogasblasen aus dem Gewebe in das venöse Blut. Infolge der Anhäufung von Mikrogasblasen in den Lungenkapillaren kommt es erst etwa 45-60 Minuten nach dem Tauchgang zur stärksten Ausprägung des Rechts-Links-Shunts. Ungefähr drei Stunden nach dem Tauchgang werden wieder normale Werte erreicht. Bei Wiederholungstauchgängen ist dieser Effekt zu berücksichtigen.

Im Anschluss an Tauchereinsätze darf der Umgebungsdruck nicht sofort zusätzlich gesenkt werden. Dies wäre beispielsweise bei einem Flug oder einer Fahrt über die Berge vom Tauchgebiet zum Wohnort der Fall. In Abhängigkeit von den durchgeführten Tauchgängen sind Wartezeiten bis über 48 Stunden notwendig!

Dekompressionskrankheit

(Zusammenfassung)

Bei Tauchgängen kommt es in Abhängigkeit von Tauchtiefe und Tauchzeit zu einer vermehrten Lösung von Stickstoff im Körper.

Erfolgt das Auftauchen bzw. das Austauchen des Tauchers zu schnell, kommt es zur **Dekompressionskrankheit**. Dies gilt insbesondere beim Nichteinhalten von notwendigen Austauschstufen. Der Stickstoff kann dann nicht langsam genug aus dem Gewebe entbinden. Er tritt (*nach Überschreiten der Toleranzwerte des N_2 -Überdruckes*) in Form von Gasblasen aus.

Diese Gasblasen schädigen das Gewebe. In den Blutgefäßen werden diese Gasblasen bis zu den Kapillaren transportieren. Dort bleiben sie in den Endverzweigungen stecken und unterbrechen den Blutstrom. Diese „Verstopfung eines Blutgefäßes“ wird als **„Embolie“** bezeichnet, in diesem Fall als Gasembolie oder Stickstoffembolie. (*Im Gegensatz hierzu handelt es sich bei dem Überdruckbarotrauma der Lunge um eine „Atemgasembolie“.*)

Durch die Unterbrechung des Blutstroms wird das nachfolgende Gewebe nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt und geht dadurch zugrunde. Je nach betroffenem Bereich kommt es dann zu Funktionsausfällen verschiedenster Ausprägung.

Will man nach einem Tauchgang ohne Einhaltung von Austauschpausen direkt zur Oberfläche auftauchen, dann darf man sich auf der maximal erreichten Tauchtiefe nur eine bestimmte Zeit aufgehalten haben. Diese maximal erlaubte Tauchzeit, die sogenannte **„Nullzeit“**, kann man den „Austachtabellen“ entnehmen.

Begriff: Nullzeit



"Nullzeit"

(für eine bestimmte Tiefe)

Tauchzeit, bis zu deren Erreichen keine Haltezeiten auf Austauschstufen notwendig sind.

Beachte:

Auch bei genauer Einhaltung der Nullzeit besteht immer ein Restrisiko eines Dekompressionsunfalls.

Maximale Tauchtiefe	Nullzeit	
	für Forschungstaucher (nach GUV-R 2112) Höchstzulässige Aufstiegs- geschwindigkeit 10 m/min	für Sporttaucher (nach DECO '2000) Aufstiegs- geschwindigkeit 10 m/min
10 m	Für Tauchtiefen bis 10,5 m sind in Abhängigkeit vom Oberflächenintervall (in Stunden) maximale Aufenthaltszeiten unter Wasser erlaubt (Tabelle 1 der GUV- 2112).	keine Angaben
12 m	165 min	140 min
15 m	80 min	72 min
18 m	50 min	45 min
21 m	35 min	31 min
30 m	15 min	15 min
42 m	7 min	7 min
50 m	5 min	51 m 5 min
63 m	-----	2 min

Geschichtliches zum Thema:

Dekompressionskrankheit / Austausch Tabellen:

- 332 v. Chr. *Aristoteles beschreibt Symptome der Dekompressionskrankheit bei Perlen- und Schwammtauchern.*
- 1654 *Otto von Guericke (eigentlich Gericke), Physiker, 1602-1686, erfindet Pumpe, die Luft aus einem Behälter absaugen kann.*
- 1670 *Robert Boyle, Physiker und Chemiker, 1627-1691, untersucht als Erster die Dekompressionskrankheit, er dekomprimiert eine Viper (Natter) und entdeckt dabei in einem der Augen der Viper eine sich bewegende Gasblase*
- 1717 *Edmond Halley, engl. Astronom, 1656-1742, erfindet die erste benutzbare "Taucherglocke"*
- um 1850 *Erstes Auftreten der Dekompressionskrankheit bei Arbeiten im "Caisson" (frz., Senkkasten), (Erfinder: frz. Ingenieur Triger), beobachtete Erscheinungen: meist "Gelenkschmerzen", aber immer erst nach Verlassen des Caissons.*
- 1870-1890 *Paul Bert, frz. Physiologe, verfasst Buch "La pression barométrique", entdeckt, dass die große Menge freigesetzten Gases die Dekompressionskrankheit verursacht und stellt fest, dass N₂ der Hauptbestandteil ist.*
- 1909 *Bau des East-River-Tunnels für die Pennsylvania Road in den USA, dabei 3692 Fälle der Caisson-Krankheit, davon 20 tödlich.*
- Marinen der Welt entdecken Unterwasser-Aktionen als notwendige Bestandteile der modernen Kriegsführung, bedeutendste Periode in der Entwicklung der Dekompressionstheorie.*
- 1906 **Prof. John Scott Haldane**, engl. Physiologe und philosoph. Schriftsteller, 1860-1936, erhält Forschungsauftrag von der Royal Navy, führt viele Tierversuche (insbesondere mit Ziegen) durch.
- 1908 Übernahme der Austausch Tabellen von Haldane durch die Royal Navy**
- 1915 *nach Überarbeitung durch French und Stillson (F&R) → Navy*
- 1972 *Prof. Dr. A. A. Bühlmann erstellt die erste Bergsee-Tabelle*

Die nachfolgende Tabelle gibt die "klassische" Einteilung der Dekompressionskrankheit wieder. Diese Tabelle stellt vielfach noch die Grundlage für die Behandlung von Tauchunfällen in der Druckkammer dar. Auch aus didaktischen Gründen und aufgrund ihrer starken Verankerung in der gegenwärtigen "taucherischen Begriffswelt" wird sie hier noch verwendet.

"Klassische" Einteilung ("Typen") der Dekompressionskrankheit	
DCS I (Decompression sickness, Type I)	DCS II (Decompression sickness, Type II)
Nur Schmerzen , leichte Symptome, nicht lebensbedrohend, aber evtl. Beginn von DCS II.	Gefährliche Erscheinungen (mit und ohne Schmerzen, anomale körperliche Symptome)
Schmerzen in oder nahe einem Gelenk und in den Extremitäten; Bewegungsstörungen, Juckreiz, Hautrötungen, Schwellungen	Störungen des ZNS (Zentralnervensystem), Herzstörungen, Störungen der Atmung, Innenohrschädigungen, Symptome vom Typ I, wenn sie unter Überdruck entstehen, andere Erscheinungen
außerdem als Spätwirkung :	
Chronische Dekompressionsschäden	

**Zeitraum des Auftretens der Erscheinungen (DCS I und II)
nach der Überdruckexposition:**

Die Symptome treten innerhalb von 24 Stunden auf.

Meist sind sie bereits nach wenigen Stunden erkennbar, wobei

60 % innerhalb von 30 Minuten,

10 % nach 30 - 60 Minuten,

1 - 4 % nach 13 - 24 Stunden

und

0,3 - 4 % nach 24 Stunden.

Beim DCS Typ I meist verzögertes Auftreten der Symptome (teilweise erst nach Stunden).

Tabelle der Dekompressionskrankheiten			
Form der Krankheit	Typ	Ursache	Symptome
	DCS 0	Mikrogasblasen	Kopfschmerzen leichte Müdigkeit
Juckreiz (" Taucherflöhe ") (Dekompressionskrankheit der Haut) von einigen Autoren auch als "skinbends" (Haut-Bends) bezeichnet)	DCS I	kleinste N ₂ -Bläschen in den Hautkapillaren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ starker Juckreiz ("Taucherflöhe") ▪ fleckenförmige (punktförmige) Rötungen ▪ Auftreten meist am Oberkörper ▪ Auftreten meist bei "Nicht-Wasser-Tauchgängen" (Druckkammer, Trockentauchanzug)
Bends (Gelenkschmerzen) (Vom engl.: "to bend" - beugen, wegen der gebeugten Haltung des Verletzten aufgrund von Schmerzen.)	DCS I	N ₂ -Bläschen in den Gelenkkapseln (Reizung der Schmerzrezeptoren in der Kapsel) (Gelenke sind schlechter durchblutet als andere Gewebe, langsamer N ₂ -Abbau.) Auftreten hauptsächlich in den großen, stark belasteten Gelenken, wie: Knie-, Sprung-, Schulter- und Ellenbogengelenke, teilweise: vorübergehende Funktionsstörungen von Muskeln.	<p>Muskel- und Gelenkerscheinungen (-Schmerzen) meist verbunden mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Allgem. Schwächegefühl ▪ Frösteln ▪ Schweißausbruch ▪ Fieber <p>Harmloseste Form: Schmerzhafes Gefühl im Gelenk, lässt nach kurzer Zeit nach.</p> <p>Extreme Form: Schmerzen halten über Tage an, Patient ist vor Schmerzen bewegungsunfähig.</p>
Hustenattacken ("Chokes") (vom engl.: "to choke" - ersticken) Lungenmanifestation (Luftnot, Embolie)	DCS II "kardiopulmonal"	N ₂ -Bläschen werden durch das Blut zur Lunge transportiert und blockieren dort den Gasaustausch. Auftreten bei extremer Nichtbeachtung von Austauchzeiten! Gelangen Gasblasen über den Blutkreislauf in die Herzkranzgefäße (Lungen-Shunt): Herzinfarkt (Rechtsherzversagen)	<p>Stechender Schmerz bei tiefer Atmung → flache Atmung, brennende Schmerzen hinter dem Brustbein, akute Atemnot mit Hustenreiz, Erstickungsgefühl,</p> <p>aschgraues Gesicht, Blaufärbung der Lippen, Zyanose, schwacher Puls (= Schockzeichen) blutiger Auswurf, Schock</p>

Tabelle der Dekompressionskrankheiten			
Form der Krankheit	Typ	Ursache	Symptome
<p>Lähmungser-scheinungen des ZNS</p> <p>(Gehirn [cerebral], Rückenmark [spinal], Innenohr)</p> <p><i>Innenohrmanifestationen werden auch als "staggers" bezeichnet.</i></p>	<p>DCS II</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">"neurologisch"</p>	<p>N₂-Bläschen im Rückenmark und/oder im Gehirn und/oder Innenohr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausfall bestimmter Nervenstränge und der von ihnen durchgezogenen Muskeln • Querschnittslähmungen, seltener Halbseitenlähmung • Innenohrschädigungen • Lähmung von Blase und Mastdarm 	<p>Querschnittslähmungen, seltener Halbseitenlähmung.</p> <p>Bei Innenohrschädigungen: Schwindel, Übelkeit, Erbrechen, evtl. Hörstörungen, Tinnitus, Ohrensausen</p> <p>Auffällige Wesensänderungen (Verhaltensänderungen), z. B. Unfähigkeit zur Durchführung einfacher Routine-Handgriffe wie Öffnen der Gürtelschnalle.</p> <p>Unbestimmte, gürtelförmige Schmerzen im Nieren- und Beckenbereich (<i>wie beim Arbeiten im Garten</i>), heimtückische Form des DCS II, da vom Taucher kaum beachtet (<i>Taucher denkt: "Beschwerden kommen vom Tragen des Bleigewichtsgurtes"</i>), Ursache: N₂-Blasen im unteren Rückenmark (zuständig für diesen Hautbereich).</p> <p>Fleckenförmig verstreute Taubheit (Kribbeln, Missempfindungen) in den Beinen.</p> <p>Sehstörungen (Doppel-, Röhren-Sehen), Gesichtsfeld-Ausfälle</p> <p>Störung wichtiger Hirnfunktionen (z.B. Atemzentrum)</p>
<p>Chronische Schäden</p> <p>(<i>"aseptische Knochennekrosen"</i>) (<i>bakterienfreies Absterben des Gewebes</i>)</p>	--	<p>"Stumme" N₂-Bläschen im Gelenkknorpel</p>	<p>Knochengewebszerfall in Gelenknähe</p> <p>Auftreten meist erst nach Monaten oder nach Jahren.</p>

„Offenes Foramen ovale“ und DCS

Das „offene Foramen ovale“ ist definiert als ein offenes ovales Loch (*Foramen*) zwischen dem rechten und dem linken Vorhof des Herzens.

[Alternative Bezeichnung: persistierendes Foramen ovale (**PFO**)]

Im embryonalen Kreislauf dient es als Kurzschlussweg zwischen venösem und arteriellen Kreislauf. Es schließt sich nach der Geburt (*bis zum 18. bis 30. Lebensjahr*) nicht immer oder nicht immer vollständig (*bei 15 bis 30 % der Bevölkerung*). Dies ist normalerweise kein Problem, da der Druck im linken Vorhof etwas höher als im rechten Vorhof ist und es deshalb zu keinem direkten Übertritt von Blut (oder Gasblasen) kommt.

Bei einer pulmonalen Hypertonie (*Erhöhung des Blutdrucks im Lungenkreislauf*) größer 120 % (z. B. *beim Husten, Druckausgleich, Pressatmung*) ist ein Übertritt der venösen Gasblasen in den arteriellen Kreislauf möglich. Dies ist eine denkbare Ursache für Dekompressionsunfälle.

Bei unklaren Dekompressionsunfällen (z. B. bei Tauchgängen innerhalb der Nullzeit) sollte immer an eine solche Möglichkeit gedacht und ggf. untersucht werden.



Tauchunfall mit milden Symptomen

- 100% Sauerstoffatmung
- Flüssigkeitsgabe
- Bei Unterkühlung weiteren Wärmeverlust verhindern
- „5-Minuten-Neurocheck“
- Keine nasse Rekompensation
- Wenn symptomfrei innerhalb von 30 Minuten:
- Wenn noch Symptome nach 30 Minuten vorhanden



Tauchunfall mit schweren Symptomen

Lagerung

- Bei bewusstseinsklarem Taucher: Rückenlagerung

100% Sauerstoffatmung

Bei intakter Eigenatmung über dicht abschließende Maske mit

CO_2 -Absorber),

Bei unzureichender Eigenatmung Masken-Beatmung mit 100% O_2 -Zufuhr über:

a) CO_2 -Reservoir und O_2 -Konstantdosierung

CO_2 Demand-Ventil oder
 CO_2 -Absorber

Flüssigkeitsgabe

- Bei bewusstseinsklarem Taucher:

Rettungsleitstelle alarmieren:

Weitere Maßnahmen:

5-Minuten-Neurocheck, Wärmeverlust verhindern, Überwachung und Erhaltung der Vitalfunktionen, ggf. HLW, Dokumentation (Persönliche Daten, Tauchgangsdaten, Symptomsverlauf, Behandlungsmaßnahmen), Gerätesicherstellung (Computer, Tiefenmesser)

Thromboseprophylaxe

Die Gabe von **Aspirin (ASS)** zur Thromboseprophylaxe ist unter Ärzten nach wie vor umstritten. Während in Frankreich die Gabe von ASS und Cortison zu den Standardsofortmaßnahmen bei DCS II gehört, wird sie in der "Leitlinie Tauchunfall" der GETUEM **nicht empfohlen**. Wenn ein Notarzt schnell da ist, sollte diesem in jedem Fall die Entscheidung vorbehalten sein.

Entscheidet man sich zur Durchführung einer Thromboseprophylaxe muß der Verunfallte bei Bewußtsein und seine Schluckfähigkeit erhalten sein. Es werden dann **500 mg Aspirin** [Acetylsalicylsäure (ASS)] gegeben. Das Medikament sollte möglichst gut in Wasser aufgelöst werden, am besten eignen sich Brausetabletten.

Anmerkungen zum Thema "Thromboseprophylaxe mit Aspirin":

("Aspirin inhibiert die Plättchenkoagulation (1 x 500 mg initial) mit einem maximalen Effektiv nach 30 Minuten. Nützlich ist es als Prophylaxe vor Exposition, aber nicht effektiv ist es therapeutisch nach Exposition.")

"Antikoagulantia sind bei der DCS des Innenohres contraindiziert, da bei Innenohr-DCS Blutungen gefunden worden waren. Hirnblutungen sind nach experimentellen Gasembolien beschrieben worden, genauso wie bei der spinalen DCS. Ein Einsatz von Antikoagulantia sollte deswegen unterbleiben."

*Zitate aus: Dr. N. K. I. McIver, North Sea Medical Center, UK,
Übersetzer: V. Warninghoff, in CAISSON Jg.7 /Nr. 3, Sept. 1992)*

Anmerkung zur Lagerung des Verunfallten:

Eine Kopf-Tief und Bein-Hochlagerung (nach Trendelenburg) begünstigt bei längerer Anwendung die Entwicklung eines Hirnödems (durch erhöhten arteriellen und venösen Blutdruck). Diese Lagerung wird deshalb heute nicht mehr empfohlen.

	Behandlung
Juckreiz ("Taucherflöhe")	Evtl. Druckkammerbehandlung zur Vermeidung von Spätschäden! Eigenatmung von 100% Sauerstoff (normobar) ist sehr wirkungsvoll!
Marmorierung der Haut	Druckkammerbehandlung
Lymphknotenschwellungen, evtl. zusätzlich eine ödematöse Schwellung der Haut	
DCS I wie: Bends	
DCS II wie: Chokes, Lungenmanifestation Lähmungserscheinungen des ZNS	SOFORTIGE DRUCKKAMMERBEHANDLUNG (Hyperbare Sauerstofftherapie - HBO)
Chronische Schäden wie: aseptische Knochennekrosen	ggf. orthopädische Maßnahmen (Gelenk-Prothesen), keine Druckkammerbehandlung

Tabelle: Erhöhtes DCS-Risiko aufgrund der augenblicklichen gesundheitlichen Einsatzfähigkeit des Tauchers, seines Tauchverhaltens und der Umfeldbedingungen.

Faktor	Erhöhung des DCS-Risikos durch:	Empfehlung
Dehydratation	Verminderung des Blutvolumens und Erhöhung der Blutviskosität (Fließeigenschaften) durch Flüssigkeitsverlust. N ₂ wird langsamer aus dem Körper abtransportiert.	Vor und nach Tauchgängen auf ausreichende Flüssigkeitsaufnahme achten. s.a. 2.5
Schwere körperliche Belastung vor und nach dem Tauchgang	Vermutete Ursache: Bildung von Blasenkernen durch kleinste Gewebeerkrankungen und nachfolgend von Mikroblasen wird verstärkt.	Körperliche Belastungen vermeiden oder auf das Notwendige reduzieren.
Kälte	Sauerstoffumsatz, Atmung und Stickstoffaufnahme werden gesteigert. Verengung der KapillargefäÙe der Haut und Minderdurchblutung der Muskeln mit der Folge, dass sich Blutvolumen verlagert. Die Löslichkeit von Gasen nimmt mit sinkender Temperatur zu. Es kommt zu einer Stickstoffanreicherung in der Peripherie, da dort die Körpertemperatur niedriger als im Körperkern ist. Im Laufe des Tauchganges verringert sich die Durchblutung, beim AUSTAUCHEN wird der N ₂ verzögert abgeführt. Folge ist das erhöhte Auftreten von subkutanen Embolien und Bends.	Guter Wärmeschutz gegen Auskühlung. Kurze Tauchgänge.
Fettleibigkeit	Die hohe Fettlöslichkeit des Stickstoffes führt bei Übergewichtigen zur vermehrten Stickstoffaufnahme. Ältere AUSTAUCHTABELLEN (ZH 1/540) beruhen auf den Erfahrungen mit Marinetauchern in bester körperlicher Verfassung.	Normalgewicht einhalten.
Körperliche Erschöpfung	Schlechte Kondition und/oder geschwächter körperlicher Zustand (z.B. nach Krankheit). Gefäßverengungen bei Stress, erhöhter Sauerstoffbedarf (gesteigerte Atmung und damit höhere Stickstoffaufnahme)	Fitnesstraining
Lebensalter	Im Alter schlechtere Durchblutung, mangelnde Fitness, Veränderungen der Lunge, schwächerer Kreislauf	Fitnesstraining
Alkohol	Alkohol verstärkt die Dehydratation (s.o.)	<u>Kein</u> (oder nur geringer) <u>Alkoholenuss</u> 24 Stunden vor dem Tauchgang.

Faktor	Erhöhung des DCS-Risikos durch:	Empfehlung
Offenes Foramen ovale	Direkter Übergang von Gasblasen von der venösen Seite des Kreislaufes auf die arterielle Seite unter Umgehung der Lunge.	In Verdachtsfällen ärztliche Untersuchung.
Rauchen (Nikotin)	Der CO-Gehalt reduziert die Sauerstofftransporteigenschaft des Blutes und der Tabakrauch vermindert die Leistungsfähigkeit der Lunge. Damit verlangsamt sich die N ₂ -Entsättigung.	Mindestens 1 Stunde vor einem Tauchgang nicht rauchen.
Alkohol, Drogen, Medikamente	Drogen wie Kokain und Amphetamine (Weckamine) führen direkt zu einer Gefäßverengung. Die psychische Wirkung des Alkohols führt zur Schwächung der Selbstkritik und steigert das Selbstwertgefühl. Gefahrensituationen werden nicht richtig/rechtzeitig erkannt. Falsches Verhalten beim Tauchgang. Medikamente gegen Seekrankheit, Schlafstörungen, Übelkeit und Allergien schränken in der Regel die Reaktionsfähigkeit deutlich ein.	Medikamente nur in Absprache mit dem Taucherarzt verwenden. Alkohol und Drogen vermeiden.
Akklimatisierung	Erhöhte Kreislaufbelastung durch Orts- und Klimawechsel.	Keine Tauchgänge am Anreisetag. Ausreichende Gewöhnung an die veränderte Umgebung und an das dortige Klima.
Sport	Die Erwärmung setzt die Löslichkeit von Gasen herab und fördert das Ausperlen von N ₂ .	Zwei Stunden nach dem Tauchgang auf Sport verzichten.
Sauna, heißes Duschen/baden, starkes Sonnenbaden	Die Hautdurchblutung wird erhöht, die Gaslöslichkeit reduziert und das Ausperlen von N ₂ gefördert.	Zwei Stunden nach dem Tauchgang solche Aktivitäten vermeiden.

Faktor	Erhöhung des DCS-Risikos durch:	Empfehlung
Tauchprofil	Erhöhte Gasblasenbildung durch folgendes Verhalten: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nichteinhalten von Haltezeiten auf Austauschstufen ➤ zu schnelle Aufstiegs geschwindigkeit, Notaufstiege ➤ Häufiges Ändern der Tauchtiefe, Pendeltauchgänge ("JoJo-Tauchgänge") ➤ Häufiges Aufsuchen der Oberfläche ➤ Maximale Tiefe am Ende des Tauchganges ➤ Starke körperliche Beanspruchung bei Tieftauchgängen ➤ Langer Aufenthalt in großer Tiefe ➤ Aufstiegsübungen (Notaufstieg/Aufstieg unter Wechselatmung) am Ende von Tauchgängen 	Gute Tauchgangsplanung und Einhaltung aller Austauschvorschriften.
Wiederholungstauchgänge	Ansammlung von N ₂ in langsamen Geweben bei Wiederholungstauchgängen	Nach drei Tagen einen Tag Pause einlegen. Keine Aufstiegsübungen durchführen.
Bergseetauchen Reisen über Berge	Die Senkung des Umgebungsdruckes erhöht den Druckgradienten zwischen den Geweben und der Umgebung und fördert das Ausperlen von N ₂ .	Ausreichende Wartezeit einhalten. Bergseetabelle (-modus) verwenden.
Fliegen	Die Senkung des Umgebungsdruckes erhöht den Druckgradienten zwischen den Geweben und der Umgebung und fördert das Ausperlen von N ₂ . (Normaler Kabinendruck: 0.73 bar; maximaler Einzelfehler: 0.55 bar)	Empfohlene Wartezeiten vor dem Flug einhalten. s.a. 4.4.1
Körperlage	Eine vertikale Lage erschwert die Abgabe von N ₂ (Druckdifferenzen zwischen den Körperpunkten).	Austauchen in horizontaler Lage bei leichter Bewegung.

Verhalten zur Vermeidung von Dekompressionsunfällen

- Tauchgänge nur innerhalb der Nullzeit durchführen!
(Tabellen und Tauchcomputer nicht ausreizen.)
- JoJo-Profile vermeiden!
Beim erneuten Abtauchen werden eventuell vorhandene Gasblasen (z. B. im Lungenfilter festsitzende) verkleinert und ihnen wird der Weg in den arteriellen Bereich ermöglicht, wo sie dann zu gefährlichen Schädigungen führen können.
- Keine Valsalva-Manöver und keine Pressatmung!

4.3.4. Dekompressionserkrankung (DCI)

Decompression Illness (engl.)

Der Begriff "**Dekompressionserkrankung**" (DCI) faßt die typischen Krankheitssymptome der Dekompressionsphase unter einem Sammelbegriff zusammen. Sowohl die Dekompressionskrankheit (DCS) als auch die Unfälle aufgrund einer Überdehnung der Lunge, insbesondere die arterielle Gasembolie (AGE), sind Dekompressionserkrankungen.

4.3.4.1 Beschreibende Klassifizierung der Dekompressionserkrankung

Die im folgenden dargestellte deskriptive Einteilung der Dekompressionserkrankung ist für medizinisches Personal ein sinnvolles Verfahren, da keine sofortige Unterscheidung zwischen DCS und Überdehnung der Lunge notwendig ist. Der medizinische Laie ist mit der Begriffswelt jedoch normalerweise überfordert. Alleine der Vollständigkeit wegen wird diese Klassifizierung hier dargestellt.

Die beschreibende Klassifizierung der Dekompressionserkrankung ist das Ergebnis des 42. Workshops der UHMS (9. -10.10.1990 am Institute of Naval Medicine in Alverstone, Gosport, UK), veröffentlicht als UHMS Publikation von **T. J. R. Francis und D. J. Smith**. Sie wurde wenig später in die deutsche Sprache übersetzt und erläutert (U. van Laak, 1992).

Die "klassische" Beschreibung von Tauchunfällen (anhand von klinischen Symptomen) versucht das betroffene Organ zu identifizieren. Bei der beschreibenden Klassifizierung werden die **Entwicklung der Erkrankung** (bis zum Beginn der Rekompresionstherapie) und die **betroffenen Organsysteme bzw. Körperteile** benannt.

" Akute '⊕' '★' Dekompressionserkrankung"

wobei

für ⊕ ein die Entwicklung der Symptome beschreibender Begriff

und

für ★ ein oder mehrere die Erscheinungsform(en) bezeichnende Begriffe

eingefügt werden.

Der Begriff "akut" dient hier zur Unterscheidung von Langzeitschäden.

Beispiel:**"Akute progressive muskulo-skeletale und neurologische Dekompressionserkrankung".**

(Akute, sich weiter verschlechternde Dekompressionserkrankung mit Muskel- und Gelenkschmerzen und Ausfällen im Nervensystem.)

Als Vokabular stehen u.a. zur Verfügung:

⊕		★
Entwicklung		Manifestation(en)
<ul style="list-style-type: none"> - progressive - statische - spontan remittierende - als Rückfall auftretende 		<ul style="list-style-type: none"> - muskulo-skeletale - neurologische - pulmonologische - dermatologische - lymphatische - audio-vestibuläre - körperlich bedingte - andere

Medizinische Fachbegriffe:

progressiv	-	sich weiter entwickelnde Symptome (Verschlechterung) (evtl. ergänzt mit "rasch" oder "langsam")
statisch	-	keine signifikanten Änderungen im Verlauf (gleichbleibend)
spontan remittierend	-	wesentliche Besserung
als Rückfall auftretend	-	nach einer vorübergehenden Besserung Rückfälle oder Auftreten neuer Symptome
muskulo-skeletal	-	Muskel- und Gelenkschmerzen
neurologisch	-	Ausfälle im Nervensystem
pulmonologisch	-	die Lunge betreffend
dermatologisch	-	Hautsymptome mit Ausnahme des Barotraumas der Haut
lymphatisch	-	schmerzhafte Schwellungen von Lymphknoten
audio-vestibulär	-	Beeinträchtigung von Hör- und Sehvermögen
körperlich bedingt	-	unspezif. Symptome wie Kopfschmerz, extreme Abgeschlagenheit, 'grippales' Krankheitsgefühl.

Literaturhinweis:

Van Laak, Ulrich, 1992. Deskriptive Klassifizierung von Tauchunfällen. Caisson, 7. Jg., März 1992, Nr. 1: 8-13

4.4. Weitere Auswirkungen

4.4.1. Tauchen und Fliegen

Beim Tauchen auf Meeresniveau wird die N₂-Entsättigung auf einen Umgebungsdruck von etwa 1 bar bezogen. Bei einer weiteren Absenkung des Umgebungsdruckes, z. B. durch Benutzung eines Flugzeuges oder bei der Überquerung eines Gebirges, findet aufgrund der Druckentlastung eine weitere N₂-Entsättigung statt. Der Innendruck in einem Flugzeug liegt aus technischen Gründen (Materialermüdung) bei etwa 0,75 bar (0,70 bis 0,80 bar). Dies entspricht in etwa dem Luftdruck in einer Höhe von 2500 m über dem Meeresniveau. Es müssen daher entsprechende Wartezeiten nach Tauchgängen (Tauchereinsätzen) eingehalten werden, um ein plötzliches Ausperlen von N₂-Blasen zu vermeiden. Werden diese Wartezeiten nicht beachtet, besteht die Gefahr einer Dekompressionskrankheit.

Durch die trockene Luft in Flugzeugen wird die Dehydratation (Austrocknung) des Körpers gesteigert. Um einen Flüssigkeitsmangel vorzubeugen, sollte deshalb reichlich alkohol- und koffeinfreie Flüssigkeit getrunken werden.

Forschungstaucher dürfen nach § 5.16.2 der GUV-R 2112 frühestens 24 Stunden nach dem Austausch ein Flug antreten. Diese Wartezeit kann aber im Einvernehmen mit einem fachkundigen Arzt verkürzt werden.

Die amerikanische „Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS)“ hat am 12. Januar 1989 hierzu folgende Empfehlung abgegeben:

Wartezeiten:

mindestens 12 Stunden,
wenn in den letzten 48 Stunden weniger als 2 Stunden dekompensationsfrei getaucht wurde,

mindestens 24 Stunden,
wenn über mehrere Tage nicht dekompensationspflichtige Mehrfachauchgänge durchgeführt wurden und

mindestens 24 Stunden, besser aber 48 Stunden,
grundsätzlich nach allen dekompensationspflichtigen Tauchgängen.

4.5. Diagnose und Differentialdiagnose von Taucherkrankheiten, dargestellt an einigen Beispielen

4.5.1. Neurologische Erstuntersuchung durch den Laien

Die Prüfung ist alle 30 bis 60 Minuten zu wiederholen!

4.5.1.1. Prüfung der psychischen Verfassung

Erkennen von auffälligen Wesens-(Verhaltens-)Änderungen):
(verzögertes Auftreten (z. B. auf dem Nachhauseweg, Passüberquerungen)

- Orientierung
("Welcher Tag ist heute?", "Wo bist du?", "Wie heißt du?")
- Gedächtnis
(Sofortig: Zahlenfolge;
Vor kurzem: Ereignisse der letzten 24 Std.; länger zurück liegend: Hintergrund)
- Geistesverfassung
(Test mit "7er"-Reihe: 7 von 100 abziehen, 7 von der Antwort, usw., falls Fehler wiederholt wird, z. B. 93, 90, 83, 80, 73, 70, Zeichen für "Geistesschwäche")
- Bewusstseinszustand (-lage)
(auf Schwankungen achten)
- plötzliche Anfälle

4.5.1.2. Diagnostik der Hirnnerven

I	Riechhirn	Testen z. B. mit Kaffee; kann vom Taucherarzt später vorgenommen werden.	
II	Sehnerv	Lesen einäugig, Erken- nen von Bewegungen	<i>Finger zum Zählen zeigen</i>
III,IV,VI	Augenmotorik (Augenbewegung)		<i>Patientenaugen (beidäugig) sollen Finger- bewegungen in allen Richtungen folgen</i>
V	Trigeminus (Sensibilität)		<i>Leichtes Streicheln am Kopf, Zähne zusammenbeißen, Kaumuskulatur beidseitig fühlen</i>
VII	Gesichtsnerv		<i>Kann der Patient lächeln? Schollmund</i>
VIII	Hörgleichge- wichtsnerv		<i>Ein Ohr zuhalten, dann Zahlen flüstern. Anzeichen von Übelkeit vorhanden?</i>
IX	Schlundnerv		<i>Schlucken lassen</i>
X	Vagus	nicht kontrollierbar	
XI	Schulterhebenerv		<i>Patient soll Schultern zucken, während der Beobachter sie niederdrückt und auf ein- seitige Schwächen achtet</i>
XII	Unterzungennerv		<i>Patient soll Zunge herausstrecken</i>

4.5.1.3. Sensorik (stechend ↔ dumpf)

Man nehme einen stechenden und einen scharfen Gegenstand und prüfe die Unterscheidungs-fähigkeit des Patienten:

- a) Handrückenseite*
- b) Daumenfläche*
- c) Fläche des kleinen Fingers*

4.5.1.4. Motorik

Muskelstärke

- Patient soll mit der Hand jeweils zwei Finger des Beobachters anfassen und ziehen, ist die Kraft in jeder Hand gleich?

Beweglichkeit

Die normale Beweglichkeit von Armen und Beinen prüfen.

Muskelzustand

Entspannt/verkrampft?

4.5.1.5. Koordination

- Kann der Patient den Finger des Beobachters vor seiner Nasenspitze berühren?*
- ... dann Finger zur eigenen Nasenspitze führen und berühren, wiederholen.*
- Balance: gerade stehen, Arme in Vorhalte, Augen zu.*
- Gangart: beobachten.*
- Grundreflexe: mit dumpfem Instrument beidseitig prüfen: Armmuskeln, Knie, Knöchel, Vorderarm.*

4.5.1.6. Reflexe

Mit stumpfem Gegenstand aufwärts der Fußsohle:

- keine Reaktion, keine exakten Schlussfolgerungen möglich*
- Reaktion, gutes Zeichen.*

4.5.1.7. Sprache

Auf Sprachprobleme achten: falsch angeordnete Worte, usw.

5. SICHERHEITSBELEHRUNG / GESETZLICHER UNFALLSCHUTZ

5.1. GUV-R 2112 "Regeln für den Einsatz von Forschungs- tauchern"

Bei Einsätzen von Forschungstauchern bis zu einer maximalen Wassertiefe von **50 m** unter Verwendung von Druckluft-Leichttauchgeräten sind diese Regeln anzuwenden.

Abweichungen sind zulässig, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Art und Weise gewährleistet ist. Der Unternehmer hat dies zu dokumentieren.

5.1.1. Allgemeine Übersicht über die GUV-R 2112 in Tabellenform

	GUV- R 2112
<p>Unternehmer (z.B. Institutsleiter, Leiter von Forschungseinrichtungen)</p>	<p>§ 2.1 § 5.1</p>
<p>bestellt <u>schriftlich</u> den</p> <p style="text-align: center;">Taucheinsatzleiter</p> <p>(Geprüfter, erfahrener Forschungstaucher, der <u>mindestens</u> 100 Tauchgänge mit einer Mindesttauchzeit von 60 Stunden unter Einsatzbedingungen nachweisen sollte und von einem Ausbildungsbetrieb für Forschungstaucher anerkannt ist. Beim Einsatz von Nitrox-Gasgemischen hat der Taucheinsatzleiter eine Zusatzausbildung nachzuweisen.)</p> <p>und ggf. einen geeigneten Vertreter.</p>	<p>§ 5.1</p>
<p>Unternehmer stellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Mindestausrüstung für jeden Taucher</u> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Leichttauchgerät mit Vollgesichtsmaske ❖ Signalleine oder Telefonleine ❖ Schwimmflossen ❖ Tauchermesser ❖ Schutzkleidung gegen Unterkühlung ❖ Gewichtssystem mit Schnellabwurfmöglichkeit ❖ Auftriebsmittel <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tariermittel (nach DIN EN 1809) ▪ Kombinierte Tarier- und Rettungsweste (nach DIN EN 12628) ▪ Trockentauchanzug aus Zellkautschuk (<u>nur unter bestimmten Bedingungen zulässig</u>) 	<p>§ 5.7.1</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Pro <u>Tauchergruppe</u>: eine Uhr und eine Austauschtablette • Bei Bedarf <u>weitere Ausrüstungsgegenstände</u> wie z.B. <ul style="list-style-type: none"> ❖ Sprechverbindung ❖ Tiefenmesser ❖ Beleuchtungseinrichtungen ❖ Boot (mit ausreichender Tragfähigkeit und Stabilität zum Aufnehmen eines Tauchers) ❖ Tauchcomputer ❖ Schlauchversorgtes Leichttauchgerät ❖ Beheizbarer Umkleideraum • Ausstattung der <u>Tauchstelle</u> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Notrufeinrichtung ❖ Unterlagen (<i>übersichtlich und einfach</i>) über <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erste-Hilfe-Maßnahmen ▪ Nächst gelegene Notrufeinrichtung ▪ nächster fachkundiger Arzt ▪ nächstgelegene einsatzbereite Behandlungskammer für Taucherkrankungen • <u>Einrichtungen für Einstieg, Ausstieg</u> und zum Erreichen der entsprechenden <u>Wassertiefe</u> und zur sicheren <u>Bergung</u> des Tauchers, wie z.B. <ul style="list-style-type: none"> ❖ Befestigte Leiter ❖ Grundtau mit 3 m-Markierungen für entsprechende Haltestufen ❖ Hilfskran an Deck eines Schiffes zum Bergen eines Tauchers • <u>Sauerstoff-Atemgerät</u> Dies muss das Atmen von reinem Sauerstoff für eine Dauer von mindestens <u>3 Stunden</u> ermöglichen. • <u>Taucherdruckkammer</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bei Tauchgängen mit <u>Austauschzeiten > 35 Minuten</u> ➤ Bei <u>Tauchtiefen über 10 m</u>, wenn ein Transport zum nächsten einsatzbereiten Behandlungszentrum für Taucherkrankungen <u>innerhalb von drei Stunden</u> nicht möglich ist. 	<p>§ 5.7.3</p> <p>§ 5.7.2</p> <p>§ 5.7.3</p> <p>§ 5.7.4</p> <p>§ 5.7.5</p> <p>§ 5.7.6</p>
--	---

Taucheinsatzleiter	§ 5.1
<ul style="list-style-type: none">• <u>Gefährdungsermittlung</u> (ArbSchG) und Veranlassung der <u>notwendigen Maßnahmen</u>, zu prüfende Einsatzbedingungen sind z. B.:<ul style="list-style-type: none">❖ Gezeiten❖ Strömung❖ Schiffsverkehr❖ Wassertemperatur❖ Sicht unter Wasser❖ Gesundheitsgefährdung durch (kontaminierte) Gewässer❖ Witterung❖ Tauchtiefe❖ Tauchzeit • <u>Beurteilung</u> von besonderen <u>Gefahren</u> und Erschwernissen im Bereich der Tauchstelle, wie z. B.<ul style="list-style-type: none">❖ <u>Starke Strömung</u>❖ Einsätze in geschlossenen Räumen❖ Ansaugöffnungen von Saugrohrleitungen❖ Einsturzgefährdete Strukturen❖ Bereiche mit Gefahr des Verhakens❖ Tauchen in <u>Tiefen über 30 m</u><p>In diesen Fällen <u>darf nur mit einer betriebsbereiten Sprechverbindung</u> getaucht werden!</p> • <u>Sicherung der Tauchstelle</u> In Gewässern mit Schiffsverkehr ist die Tauchstelle in Absprache mit den zuständigen Behörden zu kennzeichnen und Gefahrstellen sind zu beseitigen. • <u>Rettungseinsatz</u> Planung des Taucheinsatzes derart, dass der Sicherungstaucher <u>auch bei Wiederholungstauchgängen</u> einen Rettungseinsatz im Rahmen der Tabelle durchführen kann. • <u>Unterweisung</u> der Beteiligten <u>vor jedem Taucheinsatz</u> anhand der <u>Gefährdungsermittlung</u> über:<ul style="list-style-type: none">▪ getroffenen Maßnahmen▪ verwendete Ausrüstung▪ besondere Gefahren und Erschwernisse an der Tauchstelle▪ Verhalten bei Unfällen und Störungen • <u>Rettungskette</u> Einweisung aller Mitglieder der Tauchgruppe derart, dass sie alle Maßnahmen nach § 7 (Verhalten bei Taucherunfällen) durchführen können.	§ 5.2.1
	§ 5.2.2
	§ 5.2.3
	§ 5.2.4
	§ 5.3.1
	§ 5.3.2

<h2 style="color: blue;">Tauchgruppe</h2>	
<p><u>Mindestens</u> bestehend aus</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatztaucher ▪ Sicherungstaucher ▪ Signalmann 	§ 2.14
<h2 style="color: blue;">Forschungstaucher</h2>	
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Gültiges Gesundheitszeugnis</u> (Die gesundheitliche Eignung ist von einem hierzu ermächtigten Arzt nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen <u>G 31 "Überdruck"</u> (Taucherarbeiten) festzustellen.) • Ausbildung in einem von der Prüfungskommission für Forschungstaucher (PKF) anerkannten Ausbildungsbetrieb. Ausbildung umfasst mindestens 70 Tauchgänge. Dabei sollen 50 Tauchstunden geleistet werden, mindestens 30 Stunden im Freiwasser. Die Ausbildung soll nach 24 Monaten abgeschlossen sein. Zusätzlich wird verlangt: Nachgewiesene Ausbildung als Rettungsschwimmer entsprechend dem Deutschen Rettungsschwimmabzeichen "Silber". Anerkannte Ausbildung in Erster Hilfe mit Herz-Lungen-Wiederbelebung (HLW), die nicht länger als zwei Jahre zurückliegen darf. • Prüfung durch die PKF (= <i>Nachweis der Kenntnisse</i>) • Im Taucherdienstbuch bescheinigte <u>Pflichttauchgänge</u>: Innerhalb von jeweils 12 Monaten mindestens 12 Tauchgänge, hiervon 6 Tauchgänge unter Einsatzbedingungen, mit einer Gesamttauchzeit von mindestens 300 Minuten. Sind diese Pflichttauchgänge nicht geleistet worden, so sind die praktischen Fähigkeiten durch einen Ausbildungsbetrieb zu überprüfen. Die Überprüfung ist im Taucherdienstbuch zu bestätigen. 	§ 5.5.1 § 5.5.2 § 5.5.1 § 5.5.3 § 5.5.1 § 5.5.4

<p>Zusätzlich soll jeder Forschungstaucher jährlich eine Auffrischung in der Herz-Lungen-Wiederbelebung und den Umgang mit den erforderlichen Rettungseinrichtungen nachweisen.</p> <ul style="list-style-type: none">• <u>Ausländische wissenschaftliche Taucher</u> Einsatz erst nach Nachweis ihrer Qualifikation gegenüber dem Unternehmer und gegenüber dem Taucheinsatzleiter. Sie müssen sich innerhalb der Tauchgruppe sicher verständigen können.• Tauchen mit <u>Nitrox-Gasgemischen</u> Nur <u>erfahrene Taucher</u> mit einer <u>Zusatzausbildung</u> für dieses Gasgemisch. Die Ausbildung muss dokumentiert sein (s. a. BGI 897).	§5.5.5 § 5.5.6
<p style="text-align: center;">Signalmann</p> <ul style="list-style-type: none">• Ausgebildeter und geprüfter Forschungstaucher.• Auch Forschungstaucher, die z. Zt. keine gültige G31 haben oder ihre erforderlichen Tauchgänge innerhalb eines Jahres nicht absolviert haben, dürfen eingesetzt werden.• Tauchen mit <u>Nitrox-Gasgemischen</u>: Signalmann benötigt <u>Zusatzausbildung</u> für dieses Gasgemisch.	§ 5.6.1 § 5.6.2 § 5.6.3

<h2 style="text-align: center;">Prüfung der Ausrüstung</h2>	§ 6
<ul style="list-style-type: none">• <u>Unternehmer</u> lässt die Ausrüstung (Tauchausrüstung und andere Ausrüstung) <u>durch befähigte Personen prüfen</u>. Der Unternehmer legt dazu die notwendigen Prüfabstände fest. Druckgasbehälter sind nach den gesetzlichen vorgegebenen Bestimmungen prüfen zu lassen. <u>Das Ergebnis der Prüfungen ist schriftlich festzuhalten</u> (s. a. Betriebssicherheitsverordnung).	§ 6.3
<p>Die befähigte Person ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung der Arbeitsmittel verfügt.</p>	§ 6.4
<ul style="list-style-type: none">• <u>Taucheinsatzleiter prüft täglich</u> die jeweils erforderlichen Ausrüstungsgegenstände auf Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit.	§ 6.2
<ul style="list-style-type: none">• <u>Taucher prüft vor jedem Tauchgang</u> Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit des Tauchgerätes und betriebsbereiten Zustand der gesamten Ausrüstung.	§ 6.1
<ul style="list-style-type: none">• <u>Schadhafte und nicht betriebsbereite Ausrüstung ist deutlich zu kennzeichnen</u> und dem Gebrauch zu entziehen.	§ 6.5

Taucheinsatz / Tauchgang	
<u>Vorbereitung</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Taucheinsatzleiter prüft die Tauchfähigkeit</u> von Einsatz und Sicherungstaucher. Das allgemeine Befinden der Taucher darf nicht durch <u>Erkältung oder Unwohlsein</u> beeinträchtigt sein. Der <u>Druckausgleich</u> muss erreicht werden können. • Benutzung der Ausrüstung und Einrichtungen nach Abschnitt 5.7. • <u>Anweisungen</u> des Taucheinsatzleiters <u>sind zu befolgen</u>. • Signalleine und Tauchermesser (sowie ggf. Luftversorgungsschlauch) sind so am Taucher zu befestigen, dass der Taucher sie unter Wasser erreichen kann. Sie dürfen nicht am Gewichtssystem befestigt sein. • Das <u>Gewichtssystem</u> muss bei Gefahr <u>leicht abgeworfen</u> werden können. • <u>Signalleine</u> muss so angelegt werden, dass eine zur Rettung ausreichende Zugkraft sicher übertragen werden kann und die Leine sich nicht zuzieht. Möglichkeiten: <u>Palstek</u> oder <u>Haltegurtsystem</u> (Rettungsgeschirr) 	<p>§ 5.11.1</p> <p>§ 5.11.2</p> <p>§ 5.11.2</p> <p>§ 5.11.3</p> <p>§ 5.11.3</p> <p>§ 5.11.4</p>
<u>Abstieg</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Taucher muss alle vereinbarten <u>Signale aufsagen</u>. • <u>Nochmalige Prüfung</u> der Ausrüstung durch den Signalmann • Vor dem Abtauchen muss der Signalmann Anzug und Ausrüstung des Tauchers auf <u>Dichtigkeit prüfen</u>. • <u>Abstieg</u> des Tauchers unter Nutzung der geforderten Einrichtungen (z. B. Befestigte Leiter, Grundtau) • Signalmann hat darauf zu achten, dass <u>die Leinen ohne Seilschlaufen</u> gleichmäßig ablaufen und nicht über scharfe Kanten gezogen werden. 	<p>§ 5.12.1</p> <p>§ 5.12.2</p> <p>§ 5.12.3</p> <p>§ 5.12.4</p> <p>§ 5.12.5</p>

- Signalmann überwacht den Taucher während des gesamten Tauchganges, dabei insbesondere:
 - Beobachtet das Abtauchen.
 - Hält ständig Verbindung mit dem Taucher
 - Kontrolliert das Austauchen
 - Darf nichts tun, was ihn von seiner Überwachungsaufgabe ablenkt.

§ 5.12.6

Tauchgang

§ 5.13

- Nur bis in 50 m Tauchtiefe zulässig. Ausbildung und Erfahrung der einzelnen Taucher sind zu berücksichtigen, sie sind ggf. an die größeren Tiefen langsam heranzuführen. Zu beachten sind psychische Belastungen, wie:
 - Dunkelheit
 - Kälte
 - Dichte des Atemgases
 - Tiefenrauschprobleme
 - drastisch reduzierte Tauchzeiten

§ 5.13.1

- Keine Tauchgänge bei Gefährdung.
Eine Gefährdung liegt vor bei
 - Unterbrechung der Signalverbindung
 - Gewitter
 Eine Gefährdung kann vorliegen bei
 - Sichtverhältnissen, die dem Signalmann die Beobachtung des Tauchers nicht mehr ermöglichen
 - Windgeschwindigkeiten über 11 m/s
 - Strömungsgeschwindigkeiten über 1 m/s
 - Eisgang
 - Heben und Senken von Lasten
 - der Möglichkeit, dass sich die Signalleine verfangen kann.

§ 5.13.2

- Sicherungstaucher ist zum sofortigen Eingreifen bereit.
Er ist mit Vollmaske und mit zwei Lungenautomaten auszustatten.
Sofortiges Eingreifen = Sicherungstaucher muss nur noch Maske, Tauchgerät und Gewichtssystem anlegen (abhängig von den Einsatzbedingungen).

§ 5.13.3

- Tauchereinsatzleiter hat dafür zu sorgen, dass während des Tauchganges
 - Anlagen und Einrichtungen, von deren Betrieb der Taucher gefährdet werden kann, ausgeschaltet sind,
 - keine Lasten gehoben, gesenkt oder abgeworfen werden,
 - erforderliche Schrauben-, Ruder- oder Ankerbewegungen von Wasserfahrzeugen nicht ohne Wissen des Tauchers eingeleitet werden,
 - alle anderen Arbeiten unterbleiben, die den Ablauf des Tauchganges stören, behindern oder gefährden können. Ist dies nicht möglich, ist der Tauchgang abubrechen.

§ 5.13.4

<ul style="list-style-type: none"> Die <u>Tauchzeit</u> (auch für Wiederholungstauchgänge) ist so festzulegen, dass eine erforderliche <u>Reserve von 20 % des Nennfülldrucks</u> nicht in Anspruch genommen werden muss. Dabei sind Wassertiefe und Atemgasvorrat zu berücksichtigen. Der Atemgasvorrat ist mit einem <u>Manometer zu überwachen</u>. Bei eingeschränkten Sichtverhältnissen ist eine zweite, unabhängig davon wirksame, Sicherheitseinrichtung notwendig (<i>Ein zweites Manometer erfüllt dieses Kriterium nicht!</i>). 	§ 5.13.5
<ul style="list-style-type: none"> <u>Signalmann kontrolliert und überwacht die Tauchzeit</u> (gemäß Tauchzeitberechnung) mittels einer <u>Uhr</u>. Im Bedarfsfall hat er den Taucher zurückzuholen. 	§ 5.13.6
<ul style="list-style-type: none"> <u>Taucheinsätze in Bergseen</u> Umrechnung der tatsächlichen Tauchtiefe entsprechend Tabelle 3 im Anhang 1. <u>Extreme Wetterlagen</u> (mit geringem Luftdruck) können dazu führen, dass mit einem entsprechenden Bergsee-Niveau gerechnet werden muss. 	§ 5.13.7
<ul style="list-style-type: none"> Höchst zulässige <u>Auftauchgeschwindigkeit</u> beträgt 10 m /min. Warnungen von Tauchcomputern sind zu berücksichtigen. <u>Sicherheitsstopps</u> sind einzuhalten und der anschließende Aufstieg zur Wasseroberfläche sollte so langsam wie möglich erfolgen. 	§ 5.13.8
<p><u>Abbruch von Tauchgängen</u></p>	§ 5.14
<ul style="list-style-type: none"> Der <u>Taucheinsatzleiter hat Tauchgang abubrechen</u> <ul style="list-style-type: none"> - auf Verlangen des Tauchers - wenn Signale vom Taucher nicht beantwortet werden - wenn die Tauchgruppe nicht mehr vollständig ist - wenn eine vorhandene Sprech- und Signalverbindung ausfällt - bei Schäden an wichtigen Ausrüstungsgegenständen - bei Gewitter - bei anderen Veränderungen an der Tauchstelle, die den Tauchgang gefährden können. 	§ 5.14.1
<p><u>Maßnahmen nach Tauchgängen</u></p>	§ 5.16
<ul style="list-style-type: none"> Signalmann sichert Taucher beim Ablegen der Ausrüstung derart, dass dieser nicht ins Wasser fallen kann. 	§ 5.16.1

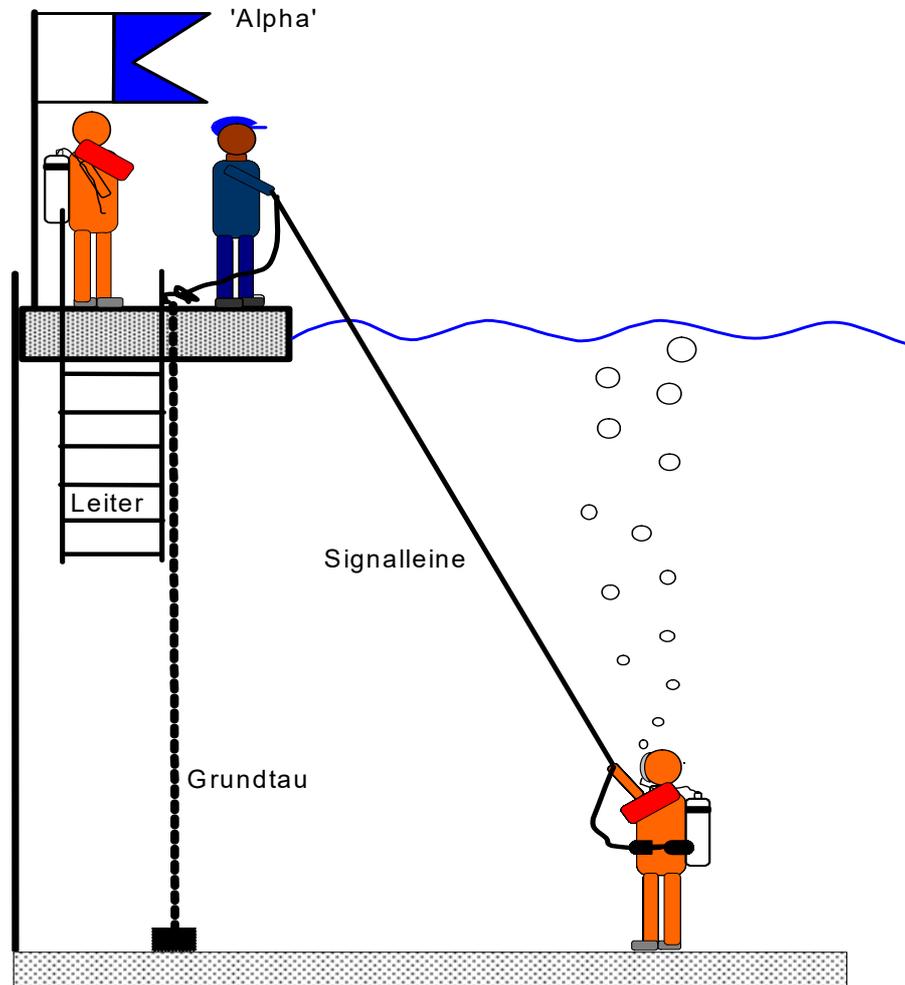
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Frühestens 24 Stunden</u> nach dem Austauchen dürfen Höhen von mehr als 500 m über der Tauchstelle aufgesucht oder <u>Flüge</u> angetreten werden. Abweichungen im Einvernehmen mit einem fachkundigen Arzt sind möglich. • Keine Wartezeit bei Hubschraubertransport mit einer Flughöhe bis 150 über der Tauchstelle. 	<p>§ 5.16.2</p> <p>§ 5.16.3</p>
<p style="text-align: center;">Tauchunfälle</p> 	<p>§ 7</p>
<p>Der <u>Taucheinsatzleiter</u> hat für die folgenden Maßnahmen zu sorgen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anzeichen von <u>Druckfallerkrankung</u> → umgehender Transport unter <u>100% Sauerstoffatmung</u> in ein Behandlungszentrum. • Bei Vorhandensein einer Taucherdruckkammer kann <u>die Rekompansionsbehandlung an der Tauchstelle</u> eingeleitet werden. Ein Tauchmediziner ist umgehend hinzuziehen. • Abbruch eines Tauchganges ohne Einhalten der Haltezeiten → <u>Not-Dekompression</u> zulässig, <u>wenn</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ die Gesamtaustauchzeit für den Tauchgang nicht über 35 Minuten beträgt, ▪ die Auftauchgeschwindigkeit 10 m/min nicht überschritten wurde, ▪ die Haltezeiten auf den Haltestufen bis einschließlich 9 m eingehalten sind, ▪ eine betriebsbereite Taucherdruckkammer mit einer unterwiesenen Person an der Tauchstelle zur Verfügung steht, ▪ keine Druckfall-Beschwerden aufgetreten sind. • Bei einer <u>Not-Dekompression</u> sind folgende <u>Forderungen</u> einzuhalten: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Dekompressionsdruck muss 1,2 bar Überdruck (= 12 m Ws) betragen. ▪ Vom Beginn des Austauchens bzw. Verlassen der 9 m-Haltestufe bis zum Rekomprimieren des Tauchers auf den Rekompressionsdruck dürfen nicht mehr als 3 Minuten vergehen. ▪ Der Taucher muss mit Sauerstoffatmung 30 Minuten auf Rekompressionsdruck gehalten werden und ▪ die anschließende Dekompression muss entsprechend einer Aufstiegschwindigkeit von 2 m/min erfolgen. • <u>Nach</u> einer Not-Dekompression muss der Taucher vor dem nächsten Tauchgang von einem Tauchmediziner untersucht werden. 	<p>§ 7.1</p> <p>§ 7.2</p> <p>§ 7.3</p> <p>§ 7.4</p> <p>§ 7.5</p>

Schriftliche Aufzeichnungen	§ 5.9
<ul style="list-style-type: none">• <u>Tauchplan</u> (vor jedem Tauchgang durch den Taucheinsatzleiter aufzustellen)<ul style="list-style-type: none">- Luftmengenberechnung- Größte Tauchtiefe- Zulässige Dauer des Tauchganges- Falls erforderlich, Haltestufen mit den zugehörigen Haltezeiten <p>Der Tauchplan muss für den Signalmann gut einsehbar vorliegen.</p> <p>Der Beginn des Tauchganges (Uhrzeit) ist <u>sofort</u> zu dokumentieren.</p>	§ 5.9.3
<ul style="list-style-type: none">• <u>Taucherdienstbuch</u> Arbeitstäglich ist jeder Tauchgang einzutragen mit:<ul style="list-style-type: none">- Datum- Tauchstelle- Tauchtiefe- Beginn, Ende und Gesamtzeit des Tauchganges- Austauschstufen- Ausgeführte Tätigkeiten- Verwendetes Tauchgerät- Besondere Vorkommnisse oder Erschwernisse- Name des Taucheinsatzleiters und dessen Unterschrift	§ 5.9.1
<ul style="list-style-type: none">• <u>Besondere Vorkommnisse</u> bei Tauchgängen Eintragung durch Taucheinsatzleiter in das jeweilige Taucherdienstbuch. Besondere Vorkommnisse sind:<ul style="list-style-type: none">- Notdekompression mit Begründung- Abbruch eines Tauchganges mit Begründung- Auftreten von Krankheitserscheinungen nach dem Tauchgang	§ 5.9.2

Verständigung	§ 5.10
<ul style="list-style-type: none"> Zur <u>Verständigung</u> zwischen Taucher und Signalmann muss eine <u>Signalleine</u> verwendet werden: <ul style="list-style-type: none"> - Notsignal: einmaliger Zug - Übrige Signale: frei wählbar <p>Die Funktion der Signalleine kann auch durch einen geeigneten Luftversorgungsschlauch oder eine Telefonleine mit entsprechender Festigkeit erfüllt werden.</p> 	§ 5.10.1
<ul style="list-style-type: none"> <u>Aushang der Signale an der Tauchstelle</u> (durch Taucheinsatzleiter) 	§ 5.10.2
<ul style="list-style-type: none"> <u>Signale werden durch Zug an der Leine gegeben.</u> Jedes gegebene Signal ist vom Taucher bzw. vom Signalmann als verstanden, <u>mit dem gleichen Zugzeichen, zu bestätigen.</u> 	§ 5.10.1
<ul style="list-style-type: none"> Bei <u>Sprecheinrichtungen</u> ist eine Signalleine weiterhin erforderlich. 	§ 5.10.3
<ul style="list-style-type: none"> Hält der <u>Signalmann von einem Boot</u> aus Verbindung zum Taucher, muss die Verständigung zwischen ihm und den übrigen Mitgliedern der Tauchgruppe sichergestellt sein. <p>Die Verständigung mit dem Taucher kann erfolgen durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eine Signalleine oder eine am Taucher befestigte Blub zur Übertragung der Signale - Bei Einsatz mehrerer Tauchgruppen durch zusätzliche drahtlose Sprechverbindung. <p>Der Abstand zwischen Boot und Blub darf 15 m nicht überschreiten.</p>	§ 5.10.3
<ul style="list-style-type: none"> Wenn die <u>wissenschaftliche Aufgabe</u> durch Verwendung einer Signalleine oder eines Blub <u>nicht durchgeführt</u> werden kann, darf darauf <u>verzichtet</u> werden, wenn: <ul style="list-style-type: none"> - Eine gegenseitige drahtlose Sprech- oder Signalverbindung zwischen den Tauchern und dem Signalmann besteht, - Mehrere Taucher bzw. Taucherpaare mit Sichtverbindung zueinander gleichzeitig unter Wasser eingesetzt sind, die sich ständig gegenseitig beobachten und einander Hilfe leisten können, - Signalmann Sichtverbindung zu den Tauchern hat und im Notfall unmittelbar eingreifen kann. <p>Die <u>Ausnahme</u> ist vor Beginn des Tauchganges <u>schriftlich zu begründen</u>. Die Begründung ist an der Tauchstelle vorzuhalten.</p>	§ 5.10.4
	§ 5.10.5

Begriff	Aufgabe	Anforderungen (Bau und Ausrüstung)
Signalleine	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherung des Tauchers • Verständigung Taucher ↔ Signalmann (Signalgebung) <p><i>Telefonkabel können zugentlastet eingeflochten sein.</i></p>	<p>Gut erkennbares Seil (z. B. zink-gelb oder orange-rot) Schwimmfähig * (*Ausnahme: Telefonleinen) Durchmesser 10-14 mm Seil-Höchstzugkraft: mind. 2000 N Länge maximal 80 m Empfehlung: geflochtenes Seil</p>
Telefonleine	= Signalleine + Telefonkabel (zugentlastet eingeflochten)	wie Signalleine
Laufleine	Orientierung Verwendung hauptsächlich für Sucharbeiten	Durchmesser mind. 8 mm Seil-Höchstzugkraft: mind. 2000 N Länge max. 40 m
Handleine	2 Taucher verbinden	ca. 1,5 m lang Schwimmfähig Durchmesser mind. 6 mm Seil-Höchstzugkraft: mind. 1000 N Nutzlänge entspr. Gefährdungsbeurteilung
Grundtau	Orientierung zwischen Arbeitsplatz unter Wasser und Wasseroberfläche	Durchmesser 24-28 mm
Blub	<ul style="list-style-type: none"> • Verständigung Taucher ↔ Signalmann • Markiert den Standort des Tauchers <p><u>Verwendung nur in Ausnahmefällen</u> (GUV-R § 5.10.4), dabei</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Signalmann im Boot, ➤ Boot maximal 15 m vom Taucher entfernt 	<p>Zylindrischer Signalkörper Schwimmfähig</p> <p>Die alte ZH1 /540 enthielt weitere Anforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seewasserfestes Material - Farbe: orangerot oder gelb - Länge mind. 0,80 m - Verhältnis Länge : Durchmesser 5:1 - Auftriebsvermögen mind. 150 N - Signalleine an der Stirnseite

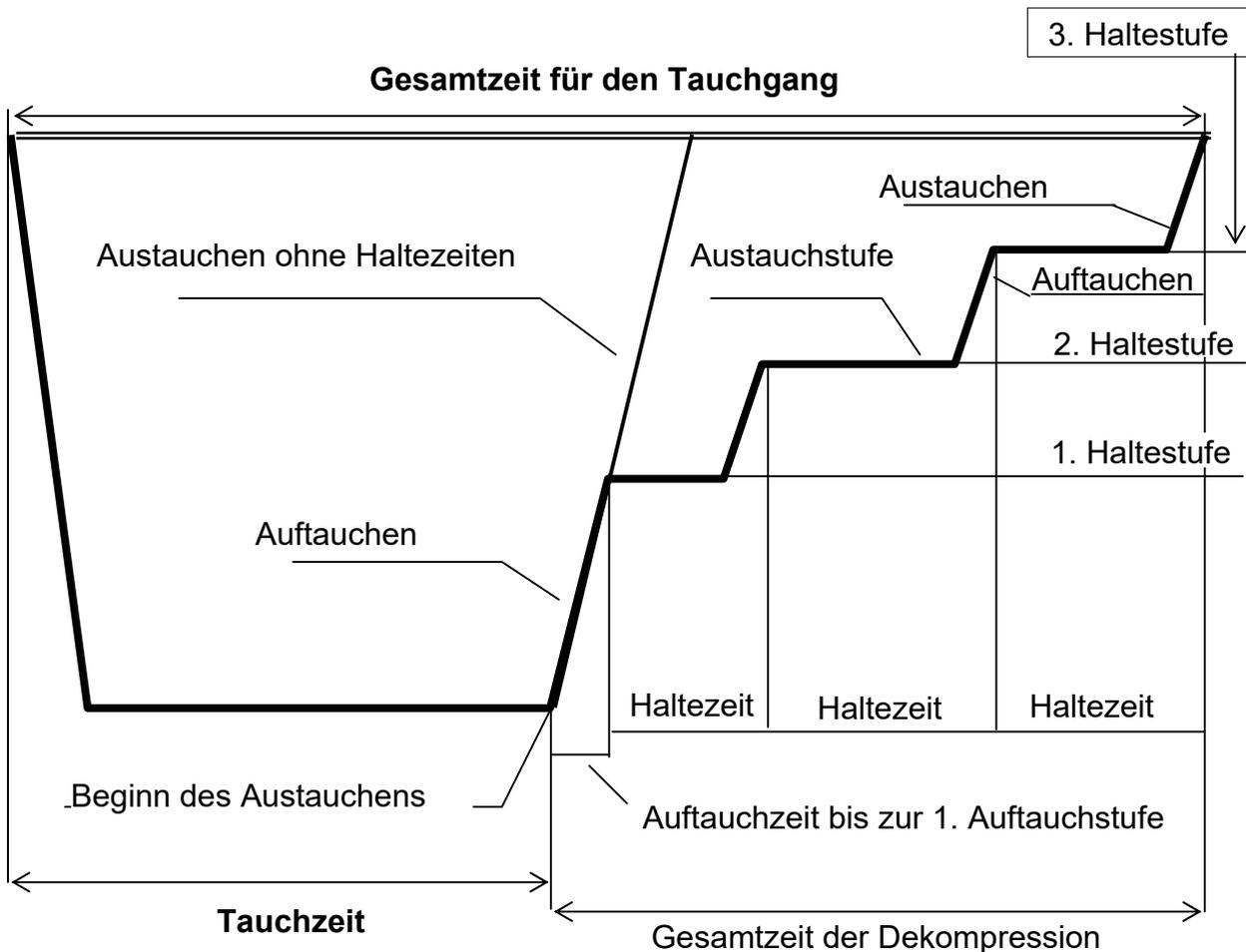
5.1.2 Betrieb (Taufeinsatz)



- Signalleine:
- Durchmesser 10 bis 14 mm
 - Seil-Höchstzugkraft mind. 2000 N
 - Länge: maximal 80 m
 - Geflochten, schwimmfähig, gut sichtbar
- Grundtau:
- Durchmesser 24 bis 28 mm
- Leiter:
- Geeignet und sicher befestigt
 - Reicht mindestens 1,80 m ins Wasser
 - Mindestens ein Holm reicht mindestens 1 m über Deck
 - Hält mindestens eine Last von 1500 N stand
- Flagge "A" des Internationalen Signalbuches:
- Tafel von mindestens 1 Meter Höhe
 - Rundumsichtbarkeit ist sicherzustellen

Begriffe zur Austauschabelle

[GUV-R 2112: Anhang 1 Erläuterungen zu den Austauschabellen]



Hinweis zu den Austauschabellen!

Tabelle 2 Drucklufttabelle

In der Spalte „Aufstieg bis zur ersten Austauschstufe“ werden die Zeiten mit einer Aufstiegs geschwindigkeit von 12 m / min angegeben. Leicht zu überprüfen am Beispiel 36 m. Tabellenwert 3 min.

Unabhängig davon beträgt die **einzuhaltende Aufstiegs geschwindigkeit** bei Tauchgängen ohne Haltezeiten

10 m / min

<p>Erläuterungen zu den Austauchtabeln Tabelle 1 Maximale Aufenthaltszeiten unter Wasser bei Tauchtiefen <u>bis 10,5 m</u></p>	<p>Anhang 1</p>
<ul style="list-style-type: none"> Die Gesamtzeit eines Tauchganges bis 10,5 m darf die in Tabelle 1 angegebenen Aufenthaltszeiten nicht überschreiten. 	<p>§ 2.1</p>

<p>Erläuterungen zu den Austauchtabeln Tabelle 2 Austauchen mit Druckluft bei Tauchtiefen <u>von mehr als 10,5 m</u></p>	<p>Anhang 1</p>
<ul style="list-style-type: none"> Die Tabellen gelten für Tauchtiefen <u>bis 50 m</u>. Die Tabellen für Tauchtiefen <u>> 50 m</u> sind nur für <u>Notfälle</u> gedacht. Die Tabelle 2 gilt für <u>einmalige Tauchgänge</u> und nicht für Wiederholungstauchgänge. <u>Wiederholungstauchgänge</u> sind Tauchgänge, die in weniger als 12 Stunden Abstand auf das Ende des vorangegangenen folgen. <i>Für Austauschzeiten bei Wiederholungstauchgängen sind die Hinweise in Abschnitt 8 zu beachten.</i> Die Tabellen sind für einen <u>Luftdruck</u> von 1000 hPa (= 1 bar) berechnet. Beim Absinken des Luftdruckes unter 970 hPa (Höhe <i>ca. 300 m ü. NN</i>), wetterbedingte Luftdruckschwankungen) sind die in Tabelle 3 angegebenen Korrekturen vorzunehmen. Die Gesamtzeit eines Tauchganges über 10,5 m darf die durch einen waagegerechten, roten Strich gekennzeichneten Werte <u>nicht überschreiten</u>. <i>Die unterhalb des Striches aufgeführten Werte sind ausschließlich für den Notfall gedacht.</i> Die Tabelle gilt für mittelschwere Arbeit. <p>Bei <u>schwerer körperlicher Arbeit</u> Werte <u>in der nächsthöheren Tauchzeitstufe</u> ablesen.</p>	<p>§ 2.2</p> <p>§ 2.4</p> <p>§ 2.4</p> <p>§ 2.3</p> <p>§ 2.1</p> <p>§ 4.1</p> <p>§ 4.1</p>

<p style="text-align: center;">Erläuterungen zu den Austauchtabellen Tabelle 2 Austauchen mit Druckluft bei Tauchtiefen <u>von mehr als 10,5 m</u></p>	<p style="text-align: center;">Anhang 1</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="178 459 1139 705"> <p>• Bei <u>Zwischenwerten</u> in Tiefe und/oder Zeit <input checked="" type="checkbox"/> Haltezeiten der <u>nächsthöheren Werte</u> einhalten.</p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Beispiel:</i> Maximale Tauchtiefe: 22 m, Tauchzeit: 32 min ablesen: 24 m / 35 min</p> <li data-bbox="178 728 1139 929"> <p>• Maximale Auftauchgeschwindigkeit beim Austauchen <u>ohne Haltezeiten</u>: 10 m min⁻¹</p> <p>Beim Austauchen <u>mit Haltezeiten</u> sind die in den <u>Tabellen</u> enthaltenen Vorgaben einzuhalten.</p> <li data-bbox="178 974 1139 1220"> <p>• Bei Arbeiten in unterschiedlichen Wassertiefen ist mit <u>der Arbeit in der größten Tiefe zu beginnen</u>. Die jeweils folgende Arbeitstelle hat in geringerer Wassertiefe zu liegen. Während der Arbeit darf der Taucher nicht höher als die erste Haltestufe aufsteigen. <u>Wiederholtes Aus- und Abtauchen</u> ("Yo-Yo-Tauchen") ist auch in Wassertiefen von weniger als 7 m <u>zu vermeiden</u>.</p> <li data-bbox="178 1265 1139 1467"> <p>• Wird ein Taucher <u>nach seinem Tauchgang als Sicherungstaucher</u> eingesetzt, dann darf er die maximal erlaubte Tauchzeit nicht ausschöpfen, sondern muss eine ausreichende Tauchzeitreserve behalten. Zudem muss nach dem planmäßigen Taucheinsatz ein Wiederholungstauchgang zulässig sein.</p> <li data-bbox="178 1512 1139 1713"> <p>• Falls versehentlich <u>Haltezeiten nicht eingehalten</u> wurden, muss sofort (<i>nach Erreichen der Wasseroberfläche</i>) erneut abgetaucht werden und zwar auf die Austauschstufe, die als Erste zu schnell verlassen wurde. Die neuen Haltezeiten ergeben sich aus der Summe der Tauchzeit und der Zeit, die zusätzlich vergangen ist.</p> <li data-bbox="178 1758 1139 1926"> <p>• <u>Innerhalb von zwei Stunden nach dem Tauchgang</u> dürfen keine schweren körperlichen Arbeiten ausgeführt werden. Der Taucher muss in den ersten 12 Stunden nach der Dekompression innerhalb von drei Stunden eine betriebsbereite Tauchdruckkammer erreichen können.</p> 	<p style="text-align: center;">§ 4.2</p> <p style="text-align: center;">§ 3.4</p> <p style="text-align: center;">§ 3.1</p> <p style="text-align: center;">§ 3.2</p> <p style="text-align: center;">§ 3.3</p> <p style="text-align: center;">§ 3.6</p> <p style="text-align: center;">§ 3.5</p> <p style="text-align: center;">§ 5.1</p> <p style="text-align: center;">§ 5.2</p>

<p style="text-align: center;">Erläuterungen zu den Austauchtabeln Tabelle 2 Austauchen mit Druckluft bei Tauchtiefen <u>von mehr als 10,5 m</u></p>	<p style="text-align: center;">Anhang 1</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ein weiterer Tauchgang ("Wiederholungstauchgang") ist nur zulässig, wenn in der entsprechenden Spalte der Austauchtabelle ein "Ja" angegeben ist. Bei Wiederholungstauchgängen in Tiefen > 7 m sollte nach Möglichkeit eine Haltezeit von 3 Minuten auf der 3-m-Stufe eingehalten werden. Dies gilt auch, wenn nach der Tabelle keine Haltezeit erforderlich ist. • <u>Bestimmung von Austauschzeit und –stufen bei Wiederholungstauchgängen:</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Verfahren A</u> Die tatsächliche Zeitdauer des Wiederholungstauchganges wird um einen Zeitzuschlag entsprechend der <u>Tabelle 4</u> verlängert. Dieser Zeitzuschlag ist abhängig vom Oberflächenintervall und der Tauchtiefe des Wiederholungstauchganges. <i><u>Berechnungsbeispiel:</u></i> 1. Tauchgang: Wiederholungstauchgang möglich = "Ja" Wiederholungstauchgang: 30 min auf 30 m Oberflächenpause: 90 min aus Tabelle 4: 25 min Zeitzuschlag = rechnerische Tauchzeit: 55 min aus Tabelle 2: Austauschzeit 54:45 min 2. <u>Verfahren B</u> Die beiden Tauchgänge werden in einem zusammen gefasst. Die <u>größte erreichte Tauchtiefe</u> beider Tauchgänge und die <u>Summe der beiden Tauchzeiten</u> werden für die Ermittlung der Austauschzeit angesetzt. Die Ermittlung der Austauschzeit erfolgt mit Hilfe der Tabelle 2. <i><u>Berechnungsbeispiel:</u></i> 1. Tauchgang: 35 min auf 33 m Wiederholungstauchgang möglich = "Ja" aus Tabelle 2: Austauschzeit 22:15 min Wiederholungstauchgang: 30 min auf 30 m = rechnerische Tauchzeit: 65 min = rechnerische Tauchtiefe: 33 m 	<p style="text-align: center;">§ 8.1</p> <p style="text-align: center;">§ 8</p> <p style="text-align: center;">§ 8.2</p> <p style="text-align: center;">§ 8.3</p>

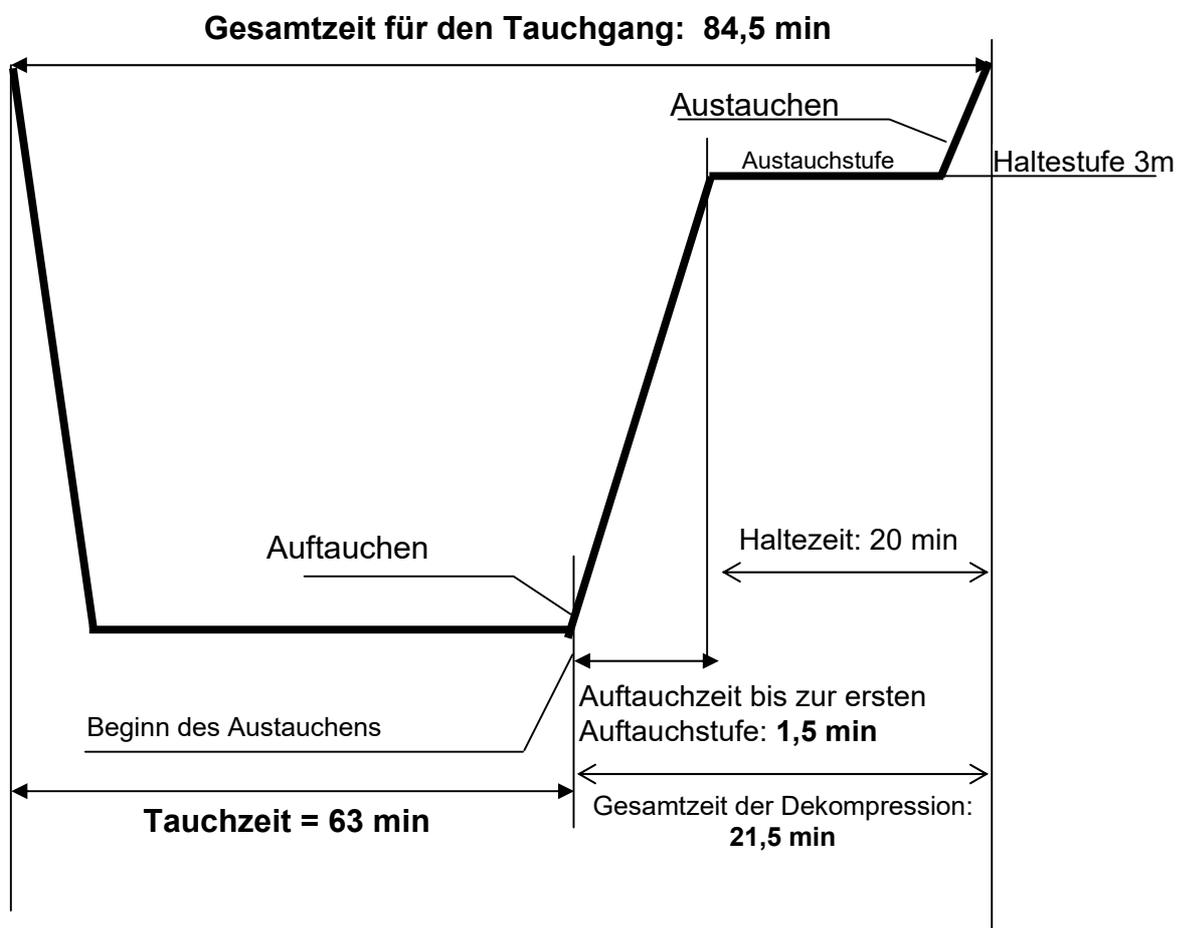
"Dekoprofil" (Tauchgangsprofil)

Das folgende Beispiel zeigt das Tauchgangsprofil für einen Tauchgang mit einer Dauer von 63 min (Arbeitszeit) auf einer maximalen Tauchtiefe von 20 Metern.

21 / 70

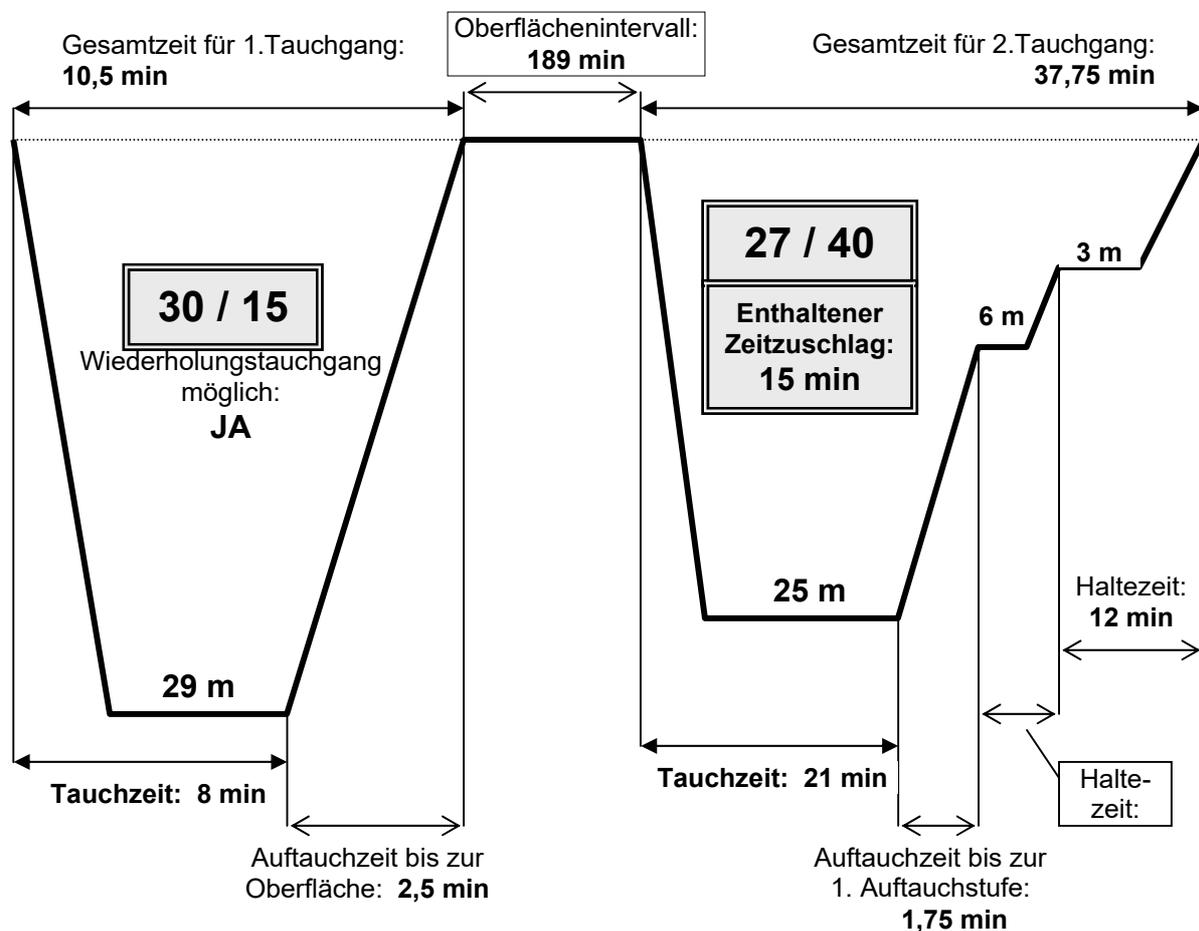
oder

Dekoprofil 21 / 70



Das nächste Beispiel enthält einen Wiederholungstauchgang.

1. Tauchgang: 29 m Wassertiefe, 8 min Tauchzeit, Austauchtabelle: 30 / 15
Oberflächenpause: 3 Std. 09 Min.
2. Tauchgang: 25 m Wassertiefe, 21 min Tauchzeit, Austauchtabelle: 27 / 40



Bei Tauchgängen (*Arbeitsaufgaben*), bei denen **Haltezeiten** erforderlich sind, muss mit

- **NITROX**

oder mit

- **Schlauchversorgten Leichttauchgeräten**

getaucht werden. (§ 5.8.3)

Die DIN Norm „Schlauchversorgte Leichttauchgeräte mit Druckluft“ existiert derzeit nur als Entwurf.

Schlauchversorgtes Tauchen	§§ 4.61, 5.8.3, 5.8.4, 5.15 und Anhang 2
• Betriebsbereite Sprecheinrichtung ist vorgeschrieben.	§ 5.15.1
• Der in Flaschen mitgeführte Atemgasvorrat muss <u>für das Austauschen</u> , einschließlich erforderlicher Haltezeiten, <u>ausreichen</u> .	§ 5.15.1
• Sind Haltezeiten erforderlich, muss das notwendige Reserveatemgas jederzeit zur Verfügung stehen.	§ 5.8.4
• Der Signalmann überwacht die Einhaltung der im Tauchplan festgelegten Haltezeiten durch den Taucher (beim Austauschen).	§ 5.15.2
• Der Taucher hat die <u>Haltezeiten einzuhalten</u> und dabei die geforderten Hilfsmittel oder Einrichtungen zu benutzen. Während der Haltezeit soll er sich <u>zwanglos ruhig verhalten</u> und darf keinen gymnastischen Übungen machen.	§ 5.15.3 (§ 5.7.4) § 5.15.4
• Hat ein Taucher versehentlich Haltezeiten nicht eingehalten , ist vom Signalmann zu veranlassen, dass der Taucher <u>sofort</u> nach Erreichen der Wasseroberfläche wieder auf die erste, von ihm vorzeitig verlassene Haltestufe, abtaucht. Die Haltezeiten müssen dann, aus der Summe der Tauchzeit und der Zeit, die bis zum Wiedererreichen der vorzeitig verlassenen Tiefe verstrichen ist, neu ermittelt werden.	§ 5.15.5
• Abweichend davon hat der Taucheinsatzleiter beim Taucher mit Krankheitserscheinungen umgehend die Rettungskette einzuleiten . Dies gilt auch, wenn äußere Umstände die Einhaltung von Haltezeiten nicht mehr zulassen.	§ 5.15.6
• Luftversorgungsanlagen müssen alle unter Wasser schlauchversorgt eingesetzten Taucher und die Sicherungstaucher mit Luft in ausreichender Menge und Qualität versorgen können.	§ 4.6.1

Berechnung der notwendigen Reserverluftmenge beim Einsatz von schlauchversorgten Leichttauchgeräten (s. a. § 15.5)	
Versorgung des Tauchers aus der Vorratsflasche	Versorgung des Tauchers über Verdichter
<p>(Annahme: Durch einen Zwischenfall wird der Taucher zu Ende der geplanten Tauchzeit für 20 min am Austauchen gehindert.)</p> <p>In Vorratsflaschen ist an der Tauchstelle vorzuhalten:</p> <ol style="list-style-type: none"> Luftmenge für den um 20 min verlängerten Tauchgang Luftmenge für das Austauchen nach einem entsprechend verlängerten Tauchgang. 	<p>(Annahme: Ausfall des Verdichters zu Ende der maximal vorgesehenen Tauchzeit.)</p> <p>Die für das Austauchen bei Erreichen der maximal vorgesehenen Tauchzeit <u>erforderliche Luftmenge</u> <u>muss</u> in Vorratsflaschen an der Tauchstelle vorgehalten werden.</p>
<p>Zusätzlich (in beiden Fällen):</p> <p>Reserverluft für den Sicherungstaucher um dem Taucher entsprechend dem Beispiel in der linken Spalte zu Hilfe zu kommen, d.h. für 20 min auf maximaler Tauchtiefe und für die Zeit des Austauchen.</p> <p>Dabei wird bei der Luftmengenberechnung für den Aufstieg bis zur tiefsten Haltestufe der Verbrauch auf der maximalen Tauchtiefe angesetzt.</p>	
<p><u>Beispiel (Vorratsflasche):</u></p> <p>Tauchtiefe: 36 m Geplante Grundzeit: 40 min Rechnerische Grundzeit: 60 (= 40 + 20) min Luftverbrauch: 30 l/min</p> <p><u>auf 36 m:</u> 20 min × 30 l/min × 4,6 bar = 2760 barl <u>36 m bis 9 m:</u> 3 min × 30 l/min × 4,6 bar = 414 barl <u>9 m bis 6 m:</u> 9 min × 30 l/min × 1,9 bar = 513 barl <u>6 m bis 3 m:</u> 13 min × 30 l/min × 1,6 bar = 624 barl <u>3 m bis 0 m:</u> 20 min × 30 l/min × 1,3 bar = 780 barl</p> <p style="text-align: right;">5091 barl</p> <p>Für das Austauchen des Tauchers nach Ausfall des Verdichters müssen somit 5091 Liter Atemluft in Vorratsflaschen vorgehalten werden.</p> <p>Und zusätzlich für den Sicherungstaucher:</p> <p><u>auf 36 m:</u> 20 min × 30 l/min × 4,6 bar = 2760 barl <u>36 m bis 3 m:</u> 3 min × 30 l/min × 4,6 bar = 414 barl <u>3 m bis 0 m:</u> 7 min × 30 l/min × 1,3 bar = 273 barl</p> <p style="text-align: right;">3447 barl</p> <p>Insgesamt muss also eine Menge von 8538 Liter in Vorratsflaschen vorgehalten werden.</p>	<p><u>Beispiel (Verdichter):</u></p> <p>Tauchtiefe: 36 m Geplante Grundzeit: 40 min Luftverbrauch: 30 l/min</p> <p><u>36 m bis 9 m:</u> 3 min × 30 l/min × 4,6 bar = 414 barl <u>9 m bis 6 m:</u> 3 min × 30 l/min × 1,9 bar = 171 barl <u>6 m bis 3 m:</u> 12 min × 30 l/min × 1,6 bar = 576 barl <u>3 m bis 0 m:</u> 25 min × 30 l/min × 1,3 bar = 975 barl</p> <p style="text-align: right;">2136 barl</p> <p>Für das Austauchen des Tauchers nach Ausfall des Verdichters müssen somit 2136 Liter Atemluft in Vorratsflaschen vorgehalten werden.</p> <p>Und zusätzlich für den Sicherungstaucher:</p> <p><u>auf 36 m:</u> 20 min × 30 l/min × 4,6 bar = 2760 barl <u>36 m bis 3 m:</u> 3 min × 30 l/min × 4,6 bar = 414 barl <u>3 m bis 0 m:</u> 7 min × 30 l/min × 1,3 bar = 273 barl</p> <p style="text-align: right;">3447 barl</p> <p>Insgesamt muss also eine Menge von 5583 Liter in Vorratsflaschen vorgehalten werden.</p>

<p>Tauchplan (bei Einsatz autonomer Leichttauchgeräte) Zu verwenden bei allen Tauchgängen ohne Haltezeiten auf Austauschstufen.</p> <p>Datum: _____</p> <p>Gerätenummern: Taucher: _____ Sicherungstaucher: _____</p> <p>Tauchstelle: _____ Seegang: _____ Wind: _____</p> <p>Taucher: _____ Sicherungstaucher: _____</p> <p>Signalmann: _____ Ausrüstung: _____</p> <p>Art der Arbeit: _____</p> <p>Schwere der Arbeit: <input type="checkbox"/> leicht <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> schwer</p> <p>Gegenseitige Sprechverbindung: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p>	<p><u>Besondere Vorkommnisse</u></p>	<p><u>Bemerkungen</u></p>
<p>Tauchtiefe: _____ m</p> <p>Tauchzeit: _____ min</p> <p>Gesamtauchzeit: _____ min (inkl. 1. Tauchgang)</p>	<p>Luftmengenberechnung: (ohne mitgeführte Reserveluft) Reserve 20% es Nennfülldrucks</p> <p>_____ min x _____ l/min x _____ = _____ l</p> <p>_____ min x _____ l/min x _____ = _____ l</p> <p>_____ min x _____ l/min x _____ = _____ l</p> <p>_____ min x _____ l/min x _____ = _____ l</p> <p>_____ min x _____ l/min x _____ = _____ l</p> <p>Σ _____ l</p>	<p>Taucheinsatzleiter</p>
<p>Austauschtabelle GUV R-225 Profil: _____ m / _____ min</p> <p>Wiederholungstauchgang: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p> <p>Oberflächenintervall: _____ min Zeitzuschlag: _____ min</p> <p>1. Tauchgang: Tauchtiefe: _____ m Tauchzeit: _____ min</p>		

5.2. Gesetzliche Unfallversicherung (SGB VII)

Die gesetzliche Unfallversicherung als Teil der Sozialversicherung (Kranken-, Renten-, Pflege- und Arbeitslosenversicherung) ist seit dem 1.1.1997 in dem Siebten Buch des Sozialgesetzbuches (SGB VII) geregelt. Es handelt sich um eine **Pflichtversicherung**. Träger sind die landwirtschaftlichen und die gewerblichen Berufsgenossenschaften sowie die Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand. Die gewerblichen Berufsgenossenschaften sind nach Gewerbebranchen gegliedert.

In Hamburg ist die Landesunfallkasse Freie und Hansestadt Hamburg (22083 Hamburg, Spohrstraße 2) der zuständige Unfallversicherungsträger für die Hamburger Hochschulen.

Für Angehörige des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie als Oberbehörde im Bereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen ist die 'Ausführungsbehörde für Unfallversicherung des Bundesministeriums für Verkehr' in 48147 Münster zuständig. Derzeit gibt es etwa 40 verschiedene Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand.

Unfallversicherungsträger für selbstständige Forschungstaucher (freiwillig Versicherte) ist in der Regel die Verwaltungsberufsgenossenschaft, für Berufstaucher die Tiefbau-Berufsgenossenschaft. Die Haupttätigkeit bestimmt den zuständigen Unfallversicherungsträger.

Versichert sind alle Beschäftigten kraft Gesetzes gegen die Folgen von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten. Zu dem Kreis der Versicherten gehören u.a. auch Studierende während der Aus- und Fortbildung an Hochschulen sowie Personen, die für Körperschaften des öffentlichen Rechts oder deren Verbände ehrenamtlich tätig sind.

Aufgaben der Unfallversicherungsträger sind

- ① **Prävention und Erste Hilfe:**
 - Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren sowie Erste Hilfe
- ② **Rehabilitation und Entschädigung:**
 - Heilbehandlung und Rehabilitation
 - Entschädigung durch Geldleistungen

Zur Erfüllung dieser Aufgaben dienen Maßnahmen wie:

- ⇒ Erlass von Unfallverhütungsvorschriften (UVVen) (= *Rechtsgrundlage*)
- ⇒ Besondere arbeitsmedizinische Vorsorge:
 - Forschungstaucher müssen entsprechend den Grundsätzen 'G31' regelmäßig durch einen zugelassenen Taucherarzt untersucht werden.
- ⇒ Besichtigung und Beratung der Unternehmen durch fachlich besonders ausgebildete Aufsichtspersonen (Technische Aufsichtsbeamte).
- ⇒ Schulung von Unternehmern, Versicherten, Betriebsärzten, Sicherheitsingenieuren und anderen Fachkräften für Arbeitssicherheit.
- ⇒ Ausbildung von Ersthelfern.

- ⇒ Untersuchung von Unfällen.
- ⇒ Heilbehandlung, insbesondere:
 - Erstversorgung, ärztliche und zahnärztliche Behandlung, Pflegeleistungen, Behandlung in Krankenhäusern und Rehabilitationseinrichtungen.
- ⇒ Berufliche Rehabilitation, insbesondere:
 - Hilfen zur Erhaltung und Erlangung eines Arbeitsplatzes.
 - Berufsvorbereitung einschließlich einer wegen der Behinderung erforderlichen Grundausbildung.
 - Berufliche Anpassung, Fortbildung Ausbildung und Umschulung.
- ⇒ Soziale Rehabilitation, insbesondere:
 - Haushaltshilfe, Kfz-Hilfe, Wohnungshilfe
- ⇒ Zahlung von Geldleistungen an die Versicherten, insbesondere:
 - Verletztengeld bei Arbeitsunfähigkeit und Übergangsgeld während der Berufshilfe.
 - Versichertenrente (Bedingung: Die Erwerbsfähigkeit ist länger als 26 Wochen gemindert und die Minderung der Erwerbsfähigkeit beträgt mindestens 20%.)
- ⇒ Zahlung von Geldleistungen an die Hinterbliebenen, insbesondere:
 - Sterbegeld, Hinterbliebenenrente, Witwen und Witwerrente, Waisenrente, Hinterbliebenenbeihilfe.

Höhe der Rentenzahlung (Beispiel)

Bei einer Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE) von 100% beträgt die Vollrente 2/3 des Jahresarbeitsverdienstes (JAV) [= *Lohnsumme*]. Der JAV errechnet sich aus dem Gesamtbetrag aller Arbeitsentgelte und Arbeitseinkommen des Versicherten in den zwölf Kalendermonaten vor dem Monat, in dem der Arbeitsunfall eingetreten ist. Der Höchstbetrag des JAV ist auf 84.000 € festgesetzt, der Mindestbetrag auf 29.400 € (Stand: 2006). Alle vom JAV abhängigen Geldleistungen werden regelmäßig der wirtschaftlichen Entwicklung angepasst.

Beispiel: Bei einem JAV von 45.000 € und einer MdE von 100% beträgt die Vollrente 2.500 € monatlich.
Bei einer MdE von 20% und gleichem JAV reduziert sich diese Vollrente auf eine Teilrente in Höhe von 500 €.

Zahlung von Beiträgen an die Unfallversicherung

Beitragspflichtig sind immer nur die Unternehmer und nicht die Versicherten selbst. Der Beitrag wird am Ende jedes abgelaufenen Kalenderjahres entsprechend den Ausgaben der jeweiligen Berufsgenossenschaft festgelegt. Die Verteilung des Finanzbedarfes auf die einzelnen Unternehmer richtet sich nach dem Jahresarbeitsverdienst der Versicherten [Gesamtentgelt] im einzelnen Unternehmen, der Höhe der Gefahrklasse, zu der das Unternehmen zugeordnet wurde und dem Beitragfuß.

Es gilt dazu folgende Berechnungsformel:

$$\text{Beitrag} = \frac{\text{Gesamtengelt} \times \text{Gefahrklasse} \times \text{Beitragsfuß}}{1.000}$$

Der berechnete Jahresbeitrag wird gerundet.

Mögliche Gefahrklassen für Forschungstaucher (Stand: 2003, *Änderung zum 01.01.2007 geplant*):

- | | | |
|--|---|------|
| 1. Institut für Wissenschaft und Forschung | = | 0,54 |
| 2. Gutachter und Sachverständige | = | 1,50 |
| <i>(In dieser Gefahrklasse bildet die gutachtliche Tätigkeit den Schwerpunkt und nicht die Forschung.)</i> | | |
| 3. Ingenieurbüro | = | 0,88 |

Beitragsfuß (Stand: 2004) = 4,30 €

Der Mindestbeitrag pro Jahr beträgt derzeit 81 €.

Beispiel:

Geologe mit angegebenem JAV von 55.000 €, der als Gutachter selbstständig ist und sich freiwillig in der Verwaltungsberufsgenossenschaft versichert hat.

$$\text{Beitrag} = \frac{55.000 \text{ €} \times 1,50 \times 4,30}{1.000} = 354,75 \text{ €} \approx 355 \text{ €}$$

Versicherung durch freiwilligen Beitritt

Im Gegensatz zu den Beschäftigten unterliegen die Unternehmer und ihre im Unternehmen mitarbeitenden Ehegatten normalerweise nicht der Versicherungspflicht. Sie haben aber das nicht ausschließbare Recht sich freiwillig zu versichern. Dies gilt auch für Personen, die selbstständig wie ein Unternehmer in Gesellschaften tätig sind. Die Unfallversicherung beginnt mit dem Tag nach Eingang der Beitrittserklärung bei der Berufsgenossenschaft. Sie erlischt - ohne vorherige Mahnung -, wenn der Beitrag nicht binnen zweier Monate nach Fälligkeit gezahlt wurde.

Anzeige von Unfällen

Der Unternehmer hat Unfälle innerhalb von drei Tagen nach Kenntnisnahme anzuzeigen. Die Unfallanzeige ist vom Betriebsrat mit zu unterzeichnen, sofern ein Betriebsrat vorhanden ist.

Verwaltungs-Berufsgenossenschaft

Die Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG) ist u.a. sachlich zuständig für 'Freie Berufe' und 'Besondere Unternehmen'. Hierzu zählen insbesondere auch Wissenschaftler und Sachverständige sowie Institute für Wissenschaft und Forschung.

Ausführliche Broschüre zur Thematik im Internet unter:

<http://www.vbg.de/imperia/md/content/produkte/broschueren/fl5.pdf>

Literatur:

Schieke, H. und Braunstetter, H., 1997: Kurzinformation über Arbeitsunfälle, Wegeunfälle, Berufskrankheiten: eine gedrängte Darstellung über Versicherungsschutz, Versicherungsfälle, Leistungen, Meldepflichten, Verfahren und Rechtsfolgen bei schuldhaft herbeigeführten Arbeitsunfällen mit Übersichten, Skizzen, Berechnungsbeispielen. 14. Aufl., Erich Schmidt Verlag, Berlin.

TBG, Tiefbau-Berufsgenossenschaft, 1997: Merkblatt über die gesetzliche Unfallversicherung. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 53754 Sankt Augustin, Alte Heerstraße 111.

VBG, Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, 1998: Satzung in der Neufassung von 1998 mit dem 4.Nachtrag. Verwaltungsberufsgenossenschaft, Deelbögenkamp 4, 22297 Hamburg.
<http://www.vbg.de/imperia/md/content/produkte/downloads/satzung.pdf>

Weitere Quelle:

Lojewski, Olaf (VBG, Prävention, Markgrafenstr. 18, 10969 Berlin, Tel 030 77003-708, Fax 030 77003-133, Email olaf.lojewski@vbg.de), *pers. Kommunikation*.

Veröffentlichungen der VBG unter: www.vbg.de, www.vbg.de/publikationen

Anschrift der VBG:

Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hauptverwaltung

Hausanschrift: Deelbögenkamp 4, 22297 Hamburg (Postanschrift: 22281 Hamburg)

Telefon: 040 / 51 46 – 0 (Durchwahl: -2940), Telefax: 040 / 51 46 – 28 85

Ausgewählte Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand

Hamburg:

Landesunfallkasse Freie und Hansestadt Hamburg, Spohrstraße 2, 22083 Hamburg

Tel.: (040) 271 53 – 0, Fax: (040) 271 53 – 1000, E-Mail: info@luk-hamburg.de

Bayern:

Bayrische Landesunfallkasse, Ungererstraße 71, 80805 München

Mecklenburg-Vorpommern:

Unfallkasse Mecklenburg-Vorpommern, Wismarsche Straße 199, 19053 Schwerin

Niedersachsen:

Landesunfallkasse Niedersachsen, Am Mittelfelde 169, 30519 Hannover

Schleswig-Holstein:

Unfallkasse Schleswig-Holstein, Seekoppelweg 5 a, 24113 Kiel

5.3 Sicherung der Tauchstelle

Bei der Durchführung von Unterwasserarbeiten (Tauchereinsatz) sind je nach Einsatzgebiet besonders zu beachten:

- Internationale Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See (Kollisionsverhütungsregeln - KVR)
- Seeschiffahrtsstraßen-Ordnung (SeeSchStrO)
- Binnenschiffahrtstraßen-Ordnung (BinSchStrO) vom 8. Oktober 1998
- Rheinschiffahrtspolizeiverordnung
- Moselschiffahrtspolizeiverordnung
- Donauschiffahrtspolizeiverordnung
- Hamburger Hafengesetz

Verkehrsrechtliche Bestimmungen auf Hoher See und auf Seeschiffahrtsstraßen (= von Seeschiffen befahrbare Gewässer)			
Zunahme des Vorrangs verschiedener Bestimmungen	Verkehrsrechtliche Bestimmung		Geltungsbereich
	KVR	Kollisionsverhütungsregeln [Internationale Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See] (<i>international</i>)	Hohe See + Seeschiffahrtsstraßen
	SeeSchStrO	Seeschiffahrtsstraßen-Ordnung (<i>national</i>)	Seeschiffahrtsstraßen ohne Emsmündung
		Schiffahrtsordnung Emsmündung	Emsmündung
		Hamburger Hafengesetz	Hamburger Hafen
		lokale Hafenordnungen	bestimmte Häfen

In den folgenden **Veröffentlichungen** können **Hinweise zur Bezeichnung von Tauchstellen** und Taucherfahrzeugen sowie zur Sicherheit auf dem Wasser nachgelesen werden:

ZH 1/532 Merkblatt "Einsatz und Kennzeichnung von Taucherfahrzeugen oder sonstigen Geräten für Unterwasserarbeiten". Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss "Tiefbau". Carl Heymanns Verlag KG, Köln.

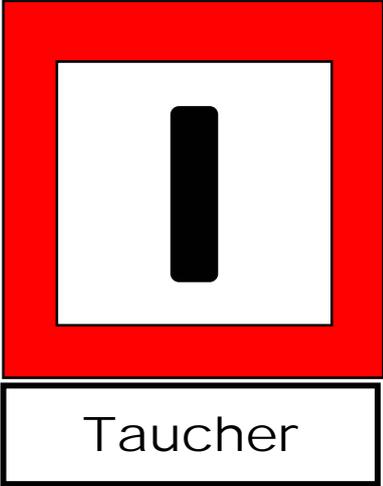
Sicherheit auf dem Wasser, Leitfaden für Wassersportler, Ausgabe: 1999. Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. *Broschüre wird kostenlos abgegeben, erscheint jährlich neu.*

Sicherheit im See- und Küstenbereich, Sorgfaltsregeln für Wassersportler. 3., überarbeitete Auflage 1999. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg und Rostock. *Broschüre wird kostenlos abgegeben.*

Sichtzeichen auf Binnenschiffahrtstraßen

Tauchen von Land

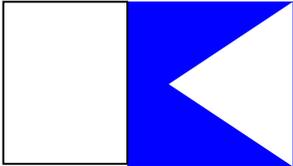
Am Ufer ist beiderseits der Tauchstelle in 50 m Entfernung das Tafelzeichen "Gebot, besondere Vorsicht walten zu lassen" mit dem Zusatzzeichen "Tauchen" aufzustellen. Der Tauchereinsatz und das Aufstellen der genannten Schifffahrtszeichen sind mit der zuständigen Wasser- und Schiffahrtsverwaltung abzusprechen.

	<p>Tafel:</p> <p>"Gebot, besondere Vorsicht walten zu lassen"</p> <p>entsprechend der Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) vom 8. Oktober 1998 § 6.08 Nr.2 und Anlage 3, Bild 8</p> <p>mit der Zusatztafel: "Taucher"</p>
--	--

Tauchen von Land oder von Fahrzeugen

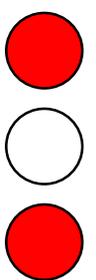
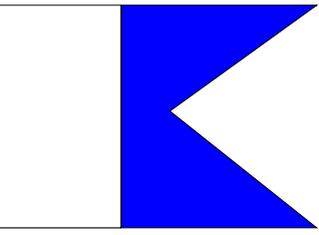
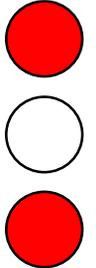
Begriffe: Unter dem Begriff "Kleinfahrzeug" werden (vereinfacht) alle Fahrzeuge mit einer Höchstlänge von weniger als 20 m und maximal zwölf Fahrgästen verstanden. Kleinfahrzeuge müssen auf beiden Außenseiten mit ihrem Namen oder ihrer Devise mit mindestens 10 cm hohen Schriftzeichen und an der Innen- oder Außenseite mit Namen und Anschrift des Eigentümers gekennzeichnet sein.

Flaggen und Tafeln müssen bei Kleinfahrzeugen mindestens 0,60 m hoch und 0,60 m breit sein.

<p>Stellen oder Fahrzeuge, von denen Taucherarbeiten durchgeführt werden, müssen bei Tag und Nacht eine weiß-blaue Tafel führen. Sie muss von allen Seiten sichtbar sein. Bei Nacht ist sie anzustrahlen. (Beachte: Eine Flagge ist lt. BinSchStrO nicht zulässig!)</p>	
	<p>Tafel zur Bezeichnung beim Einsatz von Tauchern entsprechend der Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) vom 8. Oktober 1998, § 8.12 und Anlage 3, Bild 64</p>

Sichtzeichen auf Seeschiffahrtstraßen und auf Hoher See

Im Bereich der Seeschiffahrtstraßen-Ordnung (SeeSchStrO) und auf Hoher See [Kollisionsverhütungsregeln (KVR)] sind folgende Sichtzeichen bei Unterwasserarbeiten zu verwenden:

<p>Taucherfahrzeuge, die gegen Sog oder Wellenschlag anderer Fahrzeuge geschützt werden müssen, ohne Regelung der Vorbeifahrt. Auf Seeschiffahrtsstraßen muss eine Regelung der Vorbeifahrt auch dann erfolgen, wenn an keiner Seite eine Behinderung besteht. Allgemein vorgeschriebene Sichtzeichen, wie Ankerball, Positionslaterne, etc., sind weiterhin zu führen.</p>	
<p>Tagbezeichnung</p>  <p>Ball Rhombus Ball</p>	<p>Nachtbezeichnung</p>  <p>Rot Weiß Rot</p>
<p>Für Kleinfahrzeuge, die aufgrund ihrer Größe die oben beschriebenen Sichtzeichen nicht führen können, gelten die folgenden Sichtzeichen:</p>	
<p>Tagbezeichnung</p> 	<p>Nachtbezeichnung</p> 
<p>Flagge "A" (Buchstabieralphabet: "Alpha") des Internationalen Signalbuches. Mindestens 1 Meter hoch und von allen Seiten gut sichtbar.</p>	<p>Drei Rundumlichter senkrecht übereinander.</p>

Wichtige Schallsignale:

- Achtung!
- Manövrierunfähiges oder manövrierbehindertes Fahrzeug

5.4 Prüfung der Ausrüstung durch eine befähigte Person und/oder durch Sachverständige

Im Bereich des Forschungstauchens sind praktisch alle verwendeten Geräte, wie z. B. Tauchgeräte, persönliche Schutzausrüstungen, Verdichter, Boote und Außenbordmotoren regelmäßig durch eine **befähigte Person** auf ihren arbeits- und betriebssicheren Zustand sorgfältig und objektiv zu prüfen. Das Ergebnis der Prüfung ist schriftlich festzuhalten und mindestens bis zur nächsten Prüfung aufzubewahren. Schadhafte und nicht betriebsbereite Geräte sind als solche deutlich zu kennzeichnen und dürfen bis zur Behebung des Fehlers nicht mehr eingesetzt werden. Das Ergebnis der Prüfung muß dem Unternehmer oder seinem Beauftragten zur Kenntnis gebracht werden.

Die befähigte Person ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung der Arbeitsmittel verfügt (§ 6.4, GUV-R 2112). Darüber hinaus sollte sie über eine gute Produktkenntnis verfügen, die Wartungsanleitung auswerten, und mit den für den Prüfungsgegenstand wichtigen Sicherheitsvorschriften vertraut sein. Tauchgerätehersteller bieten beispielsweise entsprechende Wartungskurse für ihre Produkte an. Absolventen solcher Kurse erhalten zum Abschluss entsprechende Zertifikate, die dies schriftlich belegen. Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, das die befähigte Person sich über technische Entwicklungen und Vorschriftenänderungen angemessen weiterbildet.

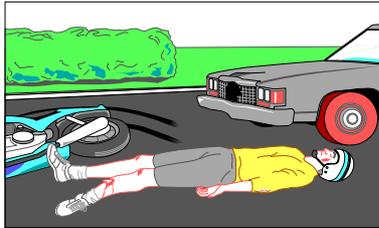
Bei vielen Geräten ist eine Prüfung durch eine befähigte Person alleine nicht ausreichend. Beispielsweise sind Druckbehälter zusätzlich regelmäßig auch durch **Sachverständige** zu prüfen. An Sachverständige werden wesentlich höhere Anforderungen als an Sachkundige gestellt. So wird die Prüfung von Druckbehälter in der Regel durch Sachverständige der Technischen Überwachung, z. B. durch Mitarbeiter vom TÜV, durchgeführt.

Weitergehende Informationen zur Thema finden sich in der Broschüre:

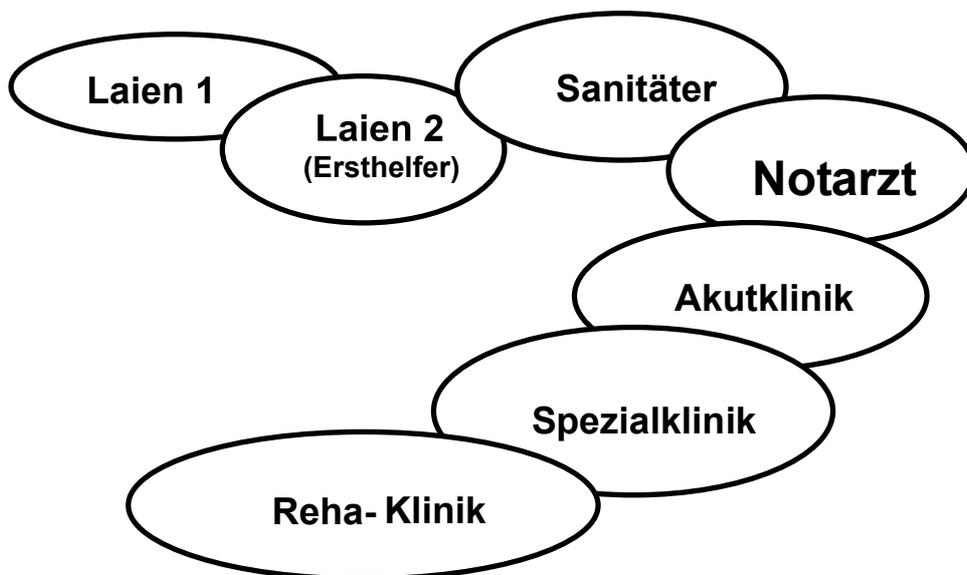
Die Sachkundigenprüfung. Überarbeitete Fassung vom Januar 1997. Herausgegeben von der Tiefbauberufsgenossenschaft (Abruf-Nr. 784.1)
--

6. TAUCHERUNFÄLLE - VORBEUGEN, ERKENNEN UND BEHANDELN

6.1. Rettungskette



Notfallpatient



Wenn die Rettungskette bereits am Anfang "knackt", dann nützt der Rest nichts mehr!

Vorbereitungen (vor dem Tauchereinsatz)

- **Notfall-Telefonnummern** auf aktuelle Richtigkeit prüfen, zusätzliche Notfall-Telefonnummern (falls die erste Rufnummer überlastet ist!), möglichst mehrere Aufkleber mit diesen Nummern mitführen!
- **Rettungskoffer** vor dem Einsatz überprüfen und dann immer mitführen!
- Gesamte Tauchergruppe und Schiffspersonal **einweisen!** (**WO?** , alles zeigen, alles durchsprechen), Zugriff für jeden sicherstellen!

NOTRUF absetzen

Der Anrufer hat sich deutlich mit Namen und Funktion zu melden, um bei der Leitstelle sofort Glaubwürdigkeit herzustellen.

Die fünf W's des Notrufs:

- **Was** geschah?
- **Wie viele** Personen sind verletzt?
- **Welche** Verletzungen liegen vor?
- **Wo** geschah es?
Möglichst genaue Angaben zum Unfallort.
Zugangswege, aktuelle örtliche Besonderheiten.
- **Warten** auf Rückfragen!
Die Rettungsstelle beendet das Gespräch!

Einweisung der Hilfskräfte (RTWs, NEF, RTH, Polizei, Feuerwehr)

Hinweis: "Es kommen mehrere!"

RTH (Rettungstransporthubschrauber): Benötigt für eine Landung etwa **25 m im Durchmesser!**

Patient als Attraktion

- Bergung
- Publikum
- a) Autorität herstellen / sichern
- b) nach Medizinern/innen fragen **2 x !**
- c) "Klugschnacker + Besserwisser" beschäftigen
- d) Notruf absetzen bzw. absetzen lassen (evtl. nach Namen fragen)
- e) Einweisung der Hilfskräfte organisieren

6.2.

Unterkühlung (Hypothermie)

Beim Menschen unterscheidet man deutlich zwischen den Temperaturen im Körperkern (der Kopf und das Innere des Rumpfes) und in der Körperschale (Haut, Unterhautgewebe, Extremitäten). Zur Erhaltung der lebenswichtigen Funktionen muss die Körperkerntemperatur nahezu konstant gehalten werden. Die **normale Körperkerntemperatur** liegt beim Menschen **zwischen 36,8 °C und 37,5 °C**, sie kann exakt nur rektal gemessen werden. Bei axillarer Messung liegen die Normalwerte im Bereich 36,5 °C bis 37,2 °C. Wärmequellen im Körper sind insbesondere die Stoffwechselprozesse der inneren Organe (insbesondere der Leber) und die Skelettmuskulatur, wenn sie stark beansprucht wird. Transportiert und verteilt wird die Wärme durch das Blut. Die Temperaturregulation erfolgt durch gezielte Erhöhung bzw. Reduktion der transportierten Blutmenge je nach Körpergebiet und Notwendigkeit. In einer warmen Umgebung werden die Blutgefäße in der Peripherie erweitert, damit wird die Durchblutung gesteigert und die Wärmeabgabe an die Umgebung verstärkt. Die Haut ist dann deutlich gerötet. Durch die Verdunstung von Wasser (Schweiß) kann die Wärmeabgabe zusätzlich gesteigert werden. Bei kalter Umgebung erfolgt dagegen eine Verengung der peripheren Gefäße und eine Reduktion der Wärmeabgabe. Die Haut wird dann blass, in extremen Fällen bläulich.

Bei Tauchereinsätzen kann es zu einer **Unterkühlung (Hypothermie)** kommen, da an den meisten Tauchstellen die Wassertemperatur geringer als die normale Körperkerntemperatur des Menschen ist.

Von **Unterkühlung** spricht man, wenn die **Körperkerntemperatur < 35,7 °C** ist (Holthaus).

Die **Kerntemperatur muss immer ≥ 35 °C bleiben**, wenn ein Taucher der Kälte ausgesetzt wird. Unterhalb dieses Wertes ist mit ernstesten Auswirkungen der Unterkühlung zu rechnen! Es wird vermutet, dass zahlreiche nicht erklärbare Tauchunfälle Folgen von Unterkühlung waren.

Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist 25 mal größer als die der Luft. Die Folge ist ein starker Wärmeverlust des menschlichen Körpers beim Aufenthalt im kühlen Wasser. Gegenüber Luft wird dem unbedeckten Menschen im Wasser von 25 °C das 4-5fache an Wärme entzogen. Eine Steigerung der Stoffwechselfvorgänge auf über das 4-5fache ist aber nicht möglich, daher kommt es bei einer Wassertemperatur < 21 °C zur Absenkung der Kerntemperatur. Ein Taucher muss deshalb in unseren Breiten (Nord- und Ostsee, norddeutsche Seen) immer durch einen dicken Anzug vor starker Auskühlung geschützt werden.

Während bei einem unbedeckten Mensch bei einer Lufttemperatur von +1 °C nach vier Stunden die Körperkerntemperatur noch bei 36 °C liegt, ist sie bei einem gleichlangen Aufenthalt in +1 °C kaltem Wasser bereits auf 25 °C abgefallen. Dieser Wert wird bei einem Aufenthalt in Luft von –6 °C erst nach 14 Stunden erreicht (*nach Stibbe, 1988*).

Die erwartete maximale Überlebenszeit beträgt bei einem unbedeckten Menschen
bei einer Wassertemperatur von 20 °C etwa 25 Stunden,
bei einer Wassertemperatur von 15 °C etwa 6 - 12 Stunden,
bei einer Wassertemperatur von 10 °C etwa 4 - 5 Stunden und
bei einer Wassertemperatur von 0 - 1,5 °C etwa 0,5 - 2 Stunden (*div. Autoren*).

Ein plötzlicher Kältereiz kann zur Bewusstlosigkeit führen.

Kältezittern (Frösteln) erhöht die Wärmeproduktion gegenüber dem Ruhestoffwechsel auf das 4-5 fache. (Produktion von bis zu 70 % der Gesamtwärme durch die Muskelbewegung im Bereich der Körperschale.) Das Kältezittern kann als ein gutes Zeichen gewertet werden, da das kritische Stadium ($T < 34$ °C) noch nicht erreicht wurde. Allerdings kann die Schwelle zum Kältezittern durch Gewöhnung gesenkt werden.

Ein unterkühlter Taucher unterliegt einer schnellen Ermüdung und einem fehlerhaften Urteilsvermögen. Seine Reaktionen auf Notfälle und seine Konzentrationsfähigkeit sind deutlich schlechter. Bei einem Absinken der Kerntemperatur um 0,5 °C bis 0,8 °C lässt die geistige Auffassungsgabe um 10-20 % nach, das Erinnerungsvermögen wird schlecht und Muskelstärke und Geschicklichkeit verschlechtern sich in einem ähnlichem Maße. Die Sicherheit des Tauchers ist damit deutlich gefährdet. Ein **langsam** abkühlender Taucher verfällt langsam in einen Zustand der Stumpfsinnigkeit während er sich noch ausreichend normal fühlt. Die Kombination von Kälte und Müdigkeit ist zu verhindern. Auch nach dem Verlassen des Tauchgewässers verliert der Taucher noch für einige Zeit an Körperwärme ("**after-drop**"); es können sich dann noch immer kritische Situationen entwickeln.

Bei unterkühlten Tauchern ist die Stickstoff-Entsättigung der Gewebe infolge der verminderten Durchblutung (insbesondere in der Körper-Schale) verzögert. Die Gefährdung durch eine **Dekompressionserkrankung** ist dann erhöht.

Stadien der Unterkühlung (klinisch)

(Nach Lafrenz, 1988, bzw. DAN, 1990, bzw. Jessen, 1992, bzw. Muth, 1996)

<p><u>Erregungsphase:</u> 34 - 37 °C</p> <p>(DAN: leichte Hypothermie, 35 - 37 °C; Ehm: 34 - 37 °C)</p>	<p>Muskelzittern (Kältezittern, Kälteempfinden)</p> <p>Klares Bewusstsein Reflexe vorhanden Evtl. gestörte Feinmotorik Atmung vertieft Blasse Haut (Blutgefäße eng gestellt)</p>
<p><u>Erschöpfungsphase:</u> 29 - 34 °C</p> <p>(DAN: mittlere Hypothermie, 32,2 - 35 °C; Ehm, Muth: 27 - 34 °C)</p>	<p>Muskelstarre (Kältezittern lässt nach oder stoppt)</p> <p>Apathisches Bewusstsein (teilnahmslos) Desorientiert Reflexe vorhanden Schmerzempfinden lässt nach Atmung erschwert Puls langsam (30-40 Schläge/min) Müdigkeit, langsame Sprache gestörte Motorik Sehverlust T < 32°C : Handlungen unsinnig, kann nicht mehr gehen</p>
<p><u>Lähmungsphase:</u> < 29 °C</p> <p>(DAN: schwere Hypothermie, ≤ 31,7 °C; Ehm: 22 - 27 °C ; Muth: < 27°C)</p>	<p>Muskeler schlaffung (Kältezittern stoppt)</p> <p>Bewusstsein: komatös (nicht ansprechbar) Puls nicht tastbar</p>

Grundsätzliche Maßnahmen und Erste Hilfe

1. Bergung: Keine aktiven Bewegungen (wie Leiter hinaufklettern), da Peripherie nicht erwärmt werden soll. Bergung waagrecht (z.B. mit Netz). Nicht aufrecht, da ein plötzlicher Wegfall des Wasserdruckes auf den Beinen (bei der senkrechten Bergung) in diesem Bereich zu einer Blutansammlung, Blutdruckabfall und dadurch zum **Bergungstod** führt.

Fallbeispiel:

Ein unterkühlter Taucher war im Wasser am Leben und ansprechbar. Nachdem er in vertikaler Lage in den Hubschrauber gezogen worden war, war er dort scheinbar tot.

2. Sicherstellung der Herz-Kreislauf-Funktion,

möglichst in trockenem Raum,

wenig bewegen,

wenig transportieren, Information über Tauchgang einholen

3. Temperatur feststellen (möglichst rektal),

Unterkühlungsthermometer (normales Thermometer reicht nicht)

4. Erwärmungsmethoden (Therapie der Unterkühlung):

- a. schnelle Erwärmung (Maßnahme: heißes Bad!), falls sich Unterkühlung schnell (< 3 Std.) entwickelt hat (typisch für TAUCHER!)
- b. langsame Erwärmung bei langsamer Unterkühlung

Verfahren und Risiken der Wiedererwärmung (Wärmezufuhr) durch ein warmes Bad

Man beginnt mit einer Wassertemperatur von 35 °C, erwärmt dann innerhalb von 10 Minuten auf 40°C.

Die Temperatur darf keine Werte über 40 °C erreichen!

Die Extremitäten (Arme und Beine) lässt man leicht erhöht außerhalb der Wanne (des Wassers). Durch dieses Verfahren wird einem Blutdruckabfall (Schock) vorgebeugt. Gleichzeitig wird damit verhindert, dass kaltes Blut zum Herzen strömt.

Wenn man Arme und Beine gleichzeitig mit dem Körperstamm ins heiße Wasser legen würde, ergeben sich folgende Komplikationen:

- Erweiterung der Gefäße an den Gliedmaßen
- kaltes Blut strömt in großen Mengen zum Herzen
- dort infolge der niedrigen Temperatur Lähmung der Reizbildung (Sinusknoten)
- Herzstillstand ("Wiedererwärmungsschock")

Die Wiedererwärmungsmaßnahme (Bad) wird beendet, wenn die Körperkerntemperatur wieder Werte größer als 33°C erreicht hat.

Ergänzende Anmerkung:

Heißes Duschen ist nicht so effektiv und der Taucher fühlt sich zu früh erwärmt.

Ein unterkühlter Taucher im Erregungsstadium darf bei drohender Gefahr eines Dekompressionsunfalls (langer/tiefer Tauchgang) nicht heiß baden oder duschen!

Maßnahmen / Erste Hilfe	
Bei jeder Unterkühlung Arzt hinzuziehen, da bei Wiedererwärmung zusätzliche Komplikationen (insbes. Herzrhythmus-Störungen) nicht selten sind!	
Erregungsstadium	<p>Trockene Kleidung anziehen, Decke umlegen (isolieren), <u>nicht</u> warm reiben, Selbsterwärmung durch Isolation ausreichend.</p> <p>Keinen Alkohol (auf Booten / in kleinen Krankenhäusern: Taucher im Nasstaucheranzug direkt mit dem Anzug ins Bad)</p> <p><u>Wärmezufuhr:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Warme Getränke (Flüssigkeitsverlust ausgleichen) z.B. gezuckerte Früchtetees • Wärmepackungen am Stamm, Leiste, Kopf, Hals • Warmes Bad (40°C); Verfahren siehe oben!
Erschöpfungsstadium	<p>Nasse Kleider <u>vorsichtig</u> entfernen (aufschneiden). Keine akuten, aktiven Bewegungen (Gefahr des "Bergungstodes"). Keine Getränke Vor weiterer Auskühlung schützen (Rettungsfolie o.ä.) und dann in Decken einhüllen. <u>Kein Wärmebad</u> durch Laien (Gefahr des Kreislaufversagens!)</p>
Lähmungsstadium	<p>Atemspende / Herzmassage! (Auch bei scheinbarer Erfolglosigkeit fortführen bis Notarzt übernimmt, vorher keine Todesfeststellung.)</p> <p>Keine passiven Bewegungen. Keinen horizontalen/vertikalen Lagenwechsel. Vollständige Isolation. Transport NAW / Hubschrauber</p>
Körperkerntemperatur > 30 °C	<p>Aktive Wiederbelebung, Tuch mit heißem Wasser auf Brust. Bei Badewanne: Hände und Füße draußen.</p>
Körperkerntemperatur < 30 °C	<p>Wiedererwärmung durch Wärmepackungen (Gummiflaschen, Flaschen mit Warmwasser, möglichst auf Brustkorb, Einwickeln in Wolldecken. in Klinik: körperwarme Infusionen, warme Atemluft)</p>

Begriffe:

- "after-drop" weiterer Abfall der Körperkerntemperatur nach Ende des Kälteaufenthaltes durch Zustrom kalten Blutes aus der Peripherie
- "after-fall" Kreislaufkollaps durch Blutdruckabfall beim oder nach dem Bergen (z.B. durch falsche Lagerung, falsche Wiedererwärmung)

Vorbeugende Maßnahmen gegen Unterkühlung

- Es gibt keinen Taucheranzug, der 100%igen Wärmeschutz liefert. (Nasstauchanzüge, Trockentauchanzüge, Anzüge mit Heizung)
- Wassertemperatur $\geq 5^{\circ}\text{C}$, Tauchgang ≤ 30 min, Tiefe ≤ 30 m:
dicker Neoprenanzug ausreichend, gute Passform mit geringer Wasserzirkulation, Long-John-Hose, Jacke mit angesetzter Kopfhaube, (bzw. Overall mit Haube und Weste)
Umkleideraum: warm, windgeschützt.
- Wassertemperatur $< 5^{\circ}\text{C}$:
Trockentauchanzug (Ausnahme: sehr kurzer Tauchgang und warmer, geschlossener Raum am Tauchplatz vorhanden), ausreichend Unterziehzeug, Vollgesichtsmaske, bei langen Tauchgängen: heizbares Unterziehzeug, dicke 3-Finger-Handschuhe.
- Nicht über die Nullzeit tauchen.
- **Taucher vor dem Tauchgang warm halten.**
- Warme Getränke / kalorienreiche Verpflegung, kein Alkohol zum Aufwärmen.
- **'after-drop'-Zeiten minimieren.**
Warmes Bad, warme Dusche, warmes Wasser in den Anzug, nicht in den Wind stellen, winddichte Kleidung über Nasstaucher anziehen (mind. über Körperstamm).
- Zwischen mehreren Tauchgängen genug Zeit zum Aufwärmen einplanen.
Erkennungszeichen für komplette Erwärmung: Schwitzen;
andere subjektive Zeichen sind trügerisch und beziehen sich auf die Hauttemperatur, nicht auf die Kerntemperatur
- Taucherjacke mit Nackenschutz oder Kopfhaube sind wichtiger als Taucherhose, da Nacken und Rumpf besonders vor Kälte zu schützen sind.
- Kreislauf-Sauerstoff-System (z. B. *Wenoll-System*) mitführen (erwärmte Atemluft)

Equivalent wind chill temperature chart

Windgeschwindigkeit [m p h]	5	10	15	20	25	30	35	40
Temperatur [° C]								
+ 4	+ 2	- 1	- 4	- 7	- 9	- 12	-12	- 12
+ 2	- 1	- 7	- 9	- 12	- 12	- 15	- 15	- 17
- 1	- 4	- 9	- 12	- 15	- 17	- 17	- 21	- 21
- 4	- 7	- 12	- 17	- 17	- 21	- 23	- 23	- 26
- 7	- 9	- 15	- 21	- 23	- 26	- 29	- 29	- 29
- 9	- 12	- 17	- 23	- 26	- 29	- 32	- 34	- 34
- 12	- 15	- 23	- 29	- 32	- 34	- 34	- 37	- 37
- 15	- 17	- 26	- 32	- 34	- 37	- 40	- 40	- 43
- 17	- 19	- 24	- 34	- 37	- 43	- 46	- 46	- 48
- 21	- 23	- 32	- 40	- 43	- 46	- 48	- 51	- 51
- 23	- 26	- 37	- 43	- 46	- 51	- 54	- 54	- 57
- 26	- 29	- 40	- 46	- 51	- 54	- 57	- 60	- 60
- 29	- 32	- 43	- 51	- 54	- 60	- 62	- 62	- 65
- 32	- 34	- 46	- 54	- 60	- 62	- 65	- 68	- 71

Fette Schrift / unterlegte Felder:

Bereich grösster Gefahr, **Fleisch gefriert innerhalb von einer Minute**

7. WISSENSCHAFTLICHE ARBEITSMETHODEN UNTER WASSER

7.1 Feldbeobachtung und Dokumentation

Die Notwendigkeit zur Dokumentation wissenschaftlicher Arbeiten unter Wasser besteht immer. Viele Tauchgänge oder spezielle Untersuchungen können aus verschiedensten Gründen nicht wiederholt werden (Zeit- und Materialaufwand, Schiffszeiten, Stauwasser etc.). Daher sollte zur Dokumentation immer entsprechend vorausschauend Aufwand betrieben werden.

Im Gegensatz zu dem an Land tätigen Wissenschaftler arbeitet der tauchende Wissenschaftler immer unter erschwerten Bedingungen und immer gegen die Zeit; nicht in Stunden, sondern in Minuten und Sekunden.

Es gibt bis heute keine standardisierten Methoden, Geräte oder Werkzeuge für die wissenschaftliche Arbeit unter Wasser. Daher fordert effiziente Arbeit zur Erfüllung der Aufgaben gute Planung und Vorbereitung. Alle unter Wasser benötigten Geräte sollten einfach und schnell zu bedienen sein.

Zur Dokumentation kann man drei Grundtechniken unterscheiden:

1. Schriftliche Aufzeichnung / Zeichnung
2. Fotografie / Videotechnik / Film
3. Audiotechnik / Kommunikation

Entsprechend der Aufgabenstellung und Art des Gewässers haben die einzelnen Methoden ihre Vor- und Nachteile.

7.1.1 Schriftliche Aufzeichnung / Zeichnung

Zu den schriftlichen Aufzeichnungen gehören Beschreibungen und Zeichnungen von Objekten, die nicht mit anderen Mitteln dokumentiert werden oder die eventuell nur verfälscht dokumentiert werden (räumliche Einordnung, Maße, Farben, Bewegungen usw.).

Es werden unter Wasser beschriftbare Materialien und unter Wasser nicht verwischende Schreib- und Zeichenstifte benötigt. Viele Beschriftungen können meist schon über Wasser vorbereitet werden: Fotolisten, Probennummern, Stationslisten, Tabellen usw. Bitte immer überprüfen, ob die Beschriftung einen Tauchgang übersteht. Einige wasserfeste Filzstifte sind im Salzwasser nicht beständig.

Stifte: Es sollten immer mehrere Stifte mitgeführt werden. Man fixiert sie z.B. mit Neoprenbändern oder Kunststoffspiralen am Arm oder an einer Schreibtafel bzw. im Extrabehälter (alte Federmappe).

Bleistifte sind gut einsetzbar. Sie sollten mit Schnur angebunden werden, damit sie nicht auf-treiben. Je nach Qualität und verwendeter Holzart können einige Bleistifte nicht unter Wasser angespitzt werden, weil ihr Holz aufquillt und bei kurzen Bleistiften die Mine herausfällt.

Besondere Bleistifte wie Glasochrom oder all-Stabilo schreiben auch auf glatten Oberflä-chen.

Feine Druckbleistifte brauchen nicht angespitzt werden. Im Minentank darf aber keine Er-satzmine enthalten sein, weil diese sonst verkleben und kein Vorschub mehr möglich ist. Sie sind nicht selten nur aus Plastik und müssen daher gereinigt und geölt und wieder gereinigt werden. Der feine Strich ist beim Zeichnen feiner Elemente von Vorteil.

Fallbleistifte brauchen auch nicht angespitzt werden, sie sind einfacher zu pflegen, aber die Strichstärke ist breiter.

Der „off-the-shelf plastic pencil“ ist aus den 70er Jahren und kommt vielleicht wieder auf den Markt. Er besteht aus einem verschließbaren Kunststoffröhrchen mit sechs Plastikbits mit je einer Bleistiftspitze. Stumpfgewordene Plastikbits werden hinten in das Kunststoffröhrchen eingesetzt und dadurch wird der Nachschub vorgeschoben.

Wachsstifte und Chinagraphs sind nicht besonders geeignet. Sie verschmieren, haben eine sehr breite Strichstärke und sind nicht einfach anzuspitzen.

Any Surface-Marker entsprechen Wachsstiften, die aber nicht angespitzt werden, aber ein Schutzpapier wird hinter der Minenspitze abgerollt. Sie sind zeitlich begrenzt einsetzbar bis das Schutzpapier durchweicht ist (ca. 45 Min., pers. Erfahrung).

Beschriftbare Materialien: Es muss überprüft werden, wie sich überlagernde Trägermateria-lien (Tütenstapel) auf die Schriftstabilität auswirken.

Dünne Trägermaterialien: Es können Pergamentpapiere, Transparentpapiere, mattierte Poly-esterfolien und andere Zeichenfolien benutzt werden (teilweise sind diese auch mit Millime-terraster erhältlich). Auf dem amerikanischen Markt gibt es wasserfestes Papier, aber die Sta-bilität ist auf Dauer nicht überzeugend.

Dicke Trägermaterialien: Es können dauerhaft nur diverse Kunststoffplatten benutzt werden. Diese Platten variabler Größen und heller Farbe (bevorzugt Weiß) sind meist multifunktional. Sie werden je nach Bedarf „designed“ und ergänzt mit Maßen, Kompassen, Klinometern usw. Wird direkt auf der Scheibe geschrieben, kann diese meist leicht mit etwas Scheuerpul-ver gereinigt werden. Klarsichtige Scheiben können falls notwendig mit Scheuerpulver, Sand oder Schmirgelpapier mattiert werden.

Für 1 : 1 Zeichnungen oder Bodenprofile eignen sich nur klarsichtige Scheiben. Diese müs-sen meist mit chemischen Mitteln gereinigt werden. Achtung, manche Chemikalien matten die klaren Oberflächen.

7.1.2 Fotografie / Videotechnik

Fotografie als identische Abbildung eines Zustandes ist eine der wichtigsten Hilfsmethoden der Naturwissenschaften. Rasch und bequem können Objekte festgehalten werden, deren Beschreibung überaus aufwendig oder gar unmöglich wäre.

Veränderungen können in beliebigen Zeitabschnitten registriert werden und liefern nach Vergleich der Aufnahmen neue Erkenntnisse.

Die vielen Möglichkeiten der visuellen Techniken ökologische Aussagen zu machen werden auch heute noch zu wenig genutzt.

Geländebeschreibung: Über Wasser ist es allgemein üblich, ein Untersuchungsgelände zur besseren Beschreibung von mehreren Seiten zu fotografieren. Fotografien zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, Strömungsrichtungen etc. ergeben oft neue Umweltaspekte.

Einheitlich erscheinende Biotope können durch unterschiedliche Wasserbedeckung in Nischen gegliedert werden. Wachstumsphasen und -tiefe können festgelegt werden durch programmierte Kameras. Die Temperaturverteilung im Gewässer kann mittels Infrarot-Aufnahmen ermittelt werden.

Größenanalysen: Längen- und Flächenzuwachs kann ohne Beeinträchtigung verfolgt werden.

Strukturveränderungen: Zeitraffer oder Zeitlupen lassen oft Entwicklungen erkennen, die bei der Betrachtung der Objekte im Gelände nicht auffallen.

Positionsbestimmung: Es kann sinnvoll sein über einer Fundstelle auch über Wasser Landmarken zu fotografieren, um die Position später zu bestimmen.

Generell sollte ein Maßstab oder Größenvergleich mit fotografiert werden. Der Maßstab sollte nicht rein weiß sein, weil diese Farbe überzeichnet. Ein gelb-schwarzer Maßstab, der am Rande der Bildfläche immer in Nordrichtung zeigt wäre für eine z.B. geologische Aufnahme von Vorteil. Der Abstand zum Objekt sollte möglichst gering sein, um Unschärfen durch Schwebstoffe zu begrenzen. Daher bieten sich eher Normal-, Makro- oder Weitwinkelobjektive an als Teleobjektive. Durch Aufnahmen von Hintergründen kann eine bessere perspektivische Wirkung erzielt werden. Blitzgeräte müssen stark genug sein, um das gesamte Bildfeld zu beleuchten.

Die verminderte Lichtdurchlässigkeit im Wasser durch Refraktion, Diffusion und Absorption führt zu verschiedenen Effekten. Aufnahmen mit Tageslicht verlieren an Kontrast. Die Bilder werden mit zunehmender Tiefe blaustichig. Farbaufnahmen erhalten eine höhere Farbsättigung. Und Gegenstände unter Wasser erscheinen ein Drittel größer und ein Viertel näher als in der Realität.

Gute Zeiten zum Fotografieren sind die Jahreszeiten geringer Algenblüten und die hellen Tageszeiten zwischen 10 und 16 Uhr. Bei Blitzaufnahmen sollten Blitz und Objektiv nicht die gleiche optische Achse haben, denn Partikel zwischen Objekt und Objektiv reflektieren das Blitzlicht und verschneien die Aufnahme. Ein „am langen Arm“ geführter Blitz leuchtet die Bildfläche besser aus. Der Abstand zwischen Blitz und Objekt sollte gering sein, um über mehr Licht und eine kleine Blende möglichst große Tiefenschärfe zu erreichen.

Mit der Videotechnik können Bewegungsabläufe kontinuierlich verfolgt werden. Die Dreidimensionalität kann besser erfasst werden. Weit auseinanderliegende Gegenstände können zusammenhängend erfasst werden. Die große Lichtstärke einiger Systeme „sieht“ mehr als der Taucher.

7.1.3 Audiotechnik / Kommunikation

Im Bereich der Kommunikation gibt es zwei unterschiedliche Techniken. Entweder wird unter Wasser aufgezeichnet oder an der Wasseroberfläche. Unter Wasser wird meist ein Diktiergerät genutzt, um die eigenen Beschreibungen festzuhalten. Über Wasser kann problemlos ein Band mitlaufen. Die Übertragung läuft per Funk oder besser per Telefon. Das eigentliche Problem ist mit dem Mikrofon verbunden. Es muss wasserdicht verbaut sein. Entweder ist das Mikrofon im Mundstück/Automat integriert oder im Luftraum der Maske fixiert. Kehlkopfmikrofone wären eine Alternative, aber diese Konstruktion, wie auch die anderen Fixierungen übertragen auch jedes Atemregler- und Atemgeräusch. Der Taucher muss also sehr deutlich artikulieren, langsam sprechen und die richtige Lautstärke finden, falls der Ton am Aufzeichnungsgerät nicht angesteuert werden kann.

7.1.4 Nachbearbeitung

Hier setzt der wichtigste Punkt im Verlauf einer Dokumentation an. Tonaufzeichnungen sind schon eine Ergänzung zur Fotografie. Aber auch die Fotografie muss mit Zeichnungen ergänzt werden, um z. B. Verzerrungen zu erkennen und bessere Interpretationen zu erzielen. Fototechnisch kann auch nie die Konsistenz eines Bodens erfasst werden. Die Bildausschnittwahl ist fast immer subjektiv. Eine Beschreibung kann ein Detail auslassen, das auf dem Foto erkennbar ist. Erst die Verbindung der verschiedenen Dokumentationstechniken liefert gute Ergebnisse.

Es sollte immer ein Feldbuch geführt werden, in dem direkt nach dem Tauchgang der Untersuchungsverlauf, besondere Vorkommnisse, Rahmenbedingungen (Wetter, Strömung, Sicht usw.) nachgetragen werden. Außerdem müssen die „nassen“ schriftlichen Aufzeichnungen nun kopiert und ergänzt werden. Ein Tauchcomputer kann hier eine weitere Dokumentationshilfe sein.

Vertraue auf Erfahrung und Experimente. Fehler werden von Autor zu Autor weitergetragen. Sonderfälle: Pantograph, Stereofotografie siehe entspr. Literatur bei den Archäologen.

7.2 Positionsbestimmung

Die Position wird in Koordinaten angegeben.

Längen- und Breitengrade oder Bogenminuten und -sekunden bei Seekarten

Rechts- und Hochwerte (Gauß-Krüger-System) bei topographischen Messtischblättern

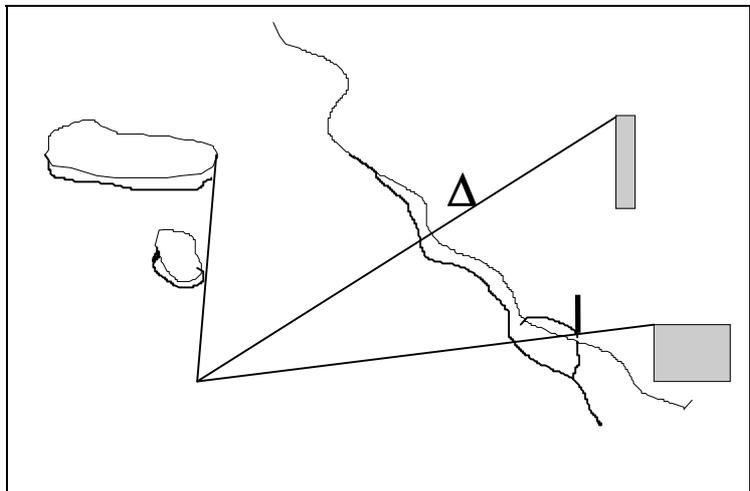
7.2.1 Optische Methoden

Vorteil: Niedrige Kosten

Methode: Die ermittelten Linien werden auf Transparentpapier übertragen und dieses dann über die Karte geschoben bis die Positionen stimmen.

7.2.1.1 Dreieckspeilung

Man sucht zwei Landmarken mit übereinstimmender Standlinie. Es werden zwei Standlinien mit einem Schnittwinkel zwischen 60 und 120° gesucht. Zur Kontrolle sollte eine dritte Standlinie ausgesucht werden. Es dürfen keine veränderlichen Punkte anvisiert werden wie Baukräne etc. Vorteilhaft sind Landmarken, die auf den topographischen Karten als solche zu erkennen sind: Leuchttürme, Kirchen, Strommasten etc. Je größer der Abstand zweier Landmarken einer Standlinie ist, um so genauer ist die Position.



Bei einer ufernahen systematischen Bereichsuntersuchung können auch künstliche Landmarken (Vermessungsstangen) aufgestellt werden. Die bestimmten Standlinien werden in die Karte übertragen und der Schnittpunkt ergibt die Position.

7.2.1.2 Kompasspeilung

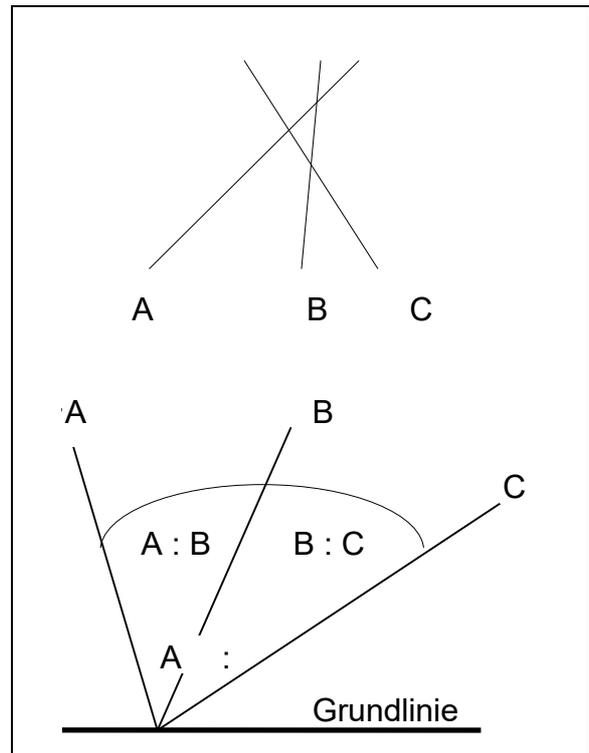
Bei dieser Positionsbestimmung mit dem Kompass werden auch zwei Peilungen genommen und mit einer Kontrollpeilung verbessert. Die Peilungen werden als Abweichung gegen Norden in die Karte eingetragen. Ergibt sich ein zu großes Fehlerdreieck muss die Peilung wiederholt werden.

7.2.1.3 Sextant

Zum Vermessen reicht es Horizontalwinkel zu erfassen. Dies geschieht in gleicher Weise wie beim Kompass, aber die Genauigkeit liegt bei guten Bedingungen bei einem Meter, wenn eine Doppelwinkelmessung erfolgt: A:B, B:C und zur Kontrolle A:C, wobei $A:B+B:C = A:C$ sein sollte.

7.2.1.4 Theodolit

Zwar inzwischen technisch überholt, stehen jedoch oft noch zur Verfügung. Mit zwei Geräten wird eine Grundlinie an Land eingemessen. Von hier werden dann „Wassermarken“ bestimmt. Die Winkel zur Grundlinie können dann in die Karte übertragen werden.



7.2.2 Elektronische Methoden

Zum Teil sehr teuer, aber sehr genau.

7.2.2.1 Totalstationen

Auf einem trigonometrischen Punkt an Land wird ein Theodolit mit kombiniertem elektronischen Distanzmesser fixiert. Von hier aus können Positionen auf dem Wasser bestimmt werden, wenn mit dem ausgestrahlten Laser- oder Infrarotimpuls über ein Prisma reflektiert werden kann. Bei Wellenbewegung und zu großem Abstand ist es schwierig eine Reflektion zu erhalten.

7.2.2.2 Hyperbolische Navigationssysteme

Ein Netzwerk von Radiowellen wird von verschiedenen Küstenstationen gesendet. Von einem Empfänger werden die Schnittpunkte in eine Position umgerechnet. Decca und Loran C waren gängige Systeme. Die Genauigkeit lag bei 18 m.

7.2.2.3 Mikrowellen-Küstenstationen

Es werden Sender an Land installiert (Genehmigungsverfahren und Diebstahlschutz). An Bord wird mit einer Entfernungsmesseinheit aus den Laufzeiten der Senderwellen die Position errechnet.

7.2.2.4 Satellitennavigationssysteme (unter GPS bekannt)

Hier werden Satellitensignale ausgewertet. Mindestens vier Satelliten sollten über dem Horizont sein, dies wurde erstmals 1997 verwirklicht.

Normal ist das stand-alone GPS mit einer Genauigkeit von 30 m. Besser wäre das DGPS (Differential Global Positioning System) mit einer küstennahen Basisstation, dann liegt die Genauigkeit bei 2 m.

7.2.2.5 GPS unter Wasser

Es ist schwierig GPS unter Wasser zu nutzen. 1. Radarwellen pflanzen sich nicht unter Wasser fort. 2. Die Datenflut lässt sich akustisch nicht unter Wasser übermitteln.

7.2.2.5.1 Lösung 1, simpel, aber gefälschtes UW-GPS

Ein GPS wird in einer Boje installiert und das Display ist beim Taucher. Probleme sind Seillänge, Wind; Strömung, dies ist also eher eine Binnengewässerlösung.

7.2.2.5.2 Lösung 2 + 3

Auch hier wird ein GPS in einer Boje geschleppt, aber dann wird über ein akustisches System die Differenzposition zum Taucher ermittelt und eingerechnet. Dies kann von der Boje aus ermittelt werden (2) oder beim Taucher (3). Aber auch hier muss trianguliert werden. Heißt: mindestens 3 Bojen.

7.3 Vermessen unter Wasser (Beitrag von Dr. A. Lipp)

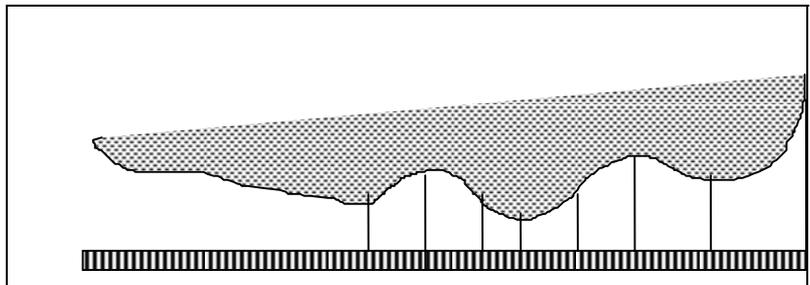
Prinzipiell funktioniert die Vermessung wie die Positionsbestimmung. Man bestimmt einen festen Ursprungspunkt. Von hier werden über Entfernungen und Winkel alle neuen Punkte fixiert. Je nach Gebietsgröße müssen weitere Fixpunkte eingerichtet werden. Alle Fixpunkte sollten genau definiert sein, zu den Messpunkten sollten direkte Verbindungen bestehen und sie sollten entsprechend gekennzeichnet sein. Wird ein Fixpunkt falsch eingemessen, sind alle von hier bestimmten Messpunkte unbrauchbar.

7.3.1 Vermessungsnetz

Einige Fixpunkte und viele Messpunkte werden verteilt. Dann werden die Punkte gegeneinander eingemessen.

7.3.2. Orthogonalverfahren

Hier wird rechtwinklig eine Strecke zu einer Grundlinienstrecke abgetragen. Damit lassen sich sehr gut Kurven und Wölbungen erfassen. Die Grundlinienstrecke kann eine Meßplatte oder ein Maßband sein. Senkrecht dazu wird eine Entfernung festgelegt. Diese Methode bietet sich auch für eingeschränkt Räume (Rinne etc.) an. Der 90° -Winkel wird erreicht, wenn man vom Messpunkt zur Grundlinie misst. Die kürzeste Strecke zeigt den Rechten Winkel.



7.3.3. Zeichengitter

Zeichengitter werden meist schon über Wasser vorbereitet und decken einen relativ kleinen Bereich ab. Die Gittergröße wird je nach Erfordernissen festgelegt.

7.3.4. Dreipunktmessung

Funktioniert wie die einfachen Methoden zur Positionsbestimmung. Trilateration: Von drei Fixpunkten werden die Entfernungen zum Messpunkt ermittelt. Diese werden maßstabsgerecht zu Papier gebracht. Gibt es nur einen Schnittpunkt ist die Vermessung genau. Triangulation: Es werden die Winkel bestimmt und abgetragen, aber dies ist meist nur bei guter Sicht schnell durchführbar.

7.3.5.

7.3.5.1 **Relative dreidimensionale Messung**

Der Taucher kann nur relative Messungen vornehmen unter Einbeziehung der Wassertiefen. Die gewünschte Genauigkeit lässt sich nur mit sehr wenigen justierbaren Tiefenmessern erreichen. Es können aber auch Bojen mit möglichst lotrechten Maßbändern benutzt werden. Zur relativen Messung bietet sich eine Schlauchwaage an. Bei Veränderung der Lage eines Endes verschiebt sich die Luftblase im Schlauch. Kombiniert mit einem Maßstab kann die relative Tiefendifferenz abgelesen werden.

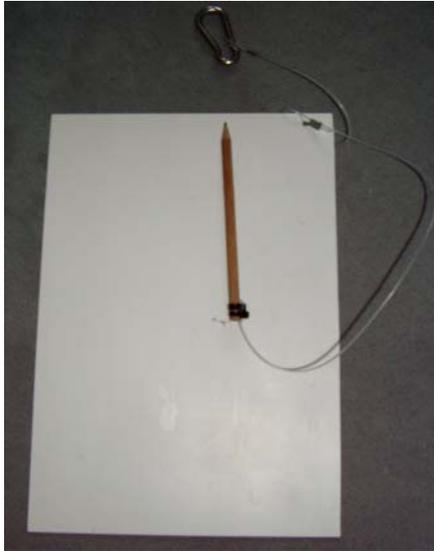
7.3.5.2 **Absolute dreidimensionale Messung**

Der Einfluss von Seespiegelschwankungen, Wellen, Tide etc. kann mit einem Pegel als Bezugspunkt ausgeglichen werden oder zeitgleich muss von Land aus auf eine Vermessungslatte gemessen werden.

7.3.5.3 **Direkte-Survey-Methode**

Über der Untersuchungsstelle wird ein Gerüstrahmen aufgebaut und gegen eine Bezugshöhe justiert und mit vier Fixpunkten belegt. Von den Fixpunkten können Maßbänder zu den Messpunkten gespannt werden. Über ein Rechenprogramm kann dann mit den vier Messwerten die Lage des Messpunktes bestimmt werden.

7.4 Hilfsmittel für das wissenschaftliche Arbeiten (Peter König)



Einfach und effektiv – die **UW-Schreibtafel**. Man nehme eine geeignete weiße oder durchsichtige Kunststoffplatte (2-3 mm stark), raue sie mit feinem Schmirgelpapier ein bisschen auf und befestige in einem in der Ecke hinein gebohrten Loch zwei Schnüre (gut geeignet ist auch Angelsehne). Am Ende einer Schnur kommt ein Karabinerhaken (am besten mit Öse) zum Sichern der Platte am Taucher und an einer zweiten Sehne wird ein handelsüblicher weicher Bleistift befestigt. Alternativ läßt sich der Bleistift auch durch Verwendung eines Schrumpfschlauches befestigen. Ein Ende dieses Schlauches wird über das Bleistiftende geschoben und dann mit Heißluft "verschweißt".

Die UW-Schreibtafel kann weiteraufgerüstet werden:

- Reservebleistift
- Einem Rohr gefüllt mit *Photodosen* (Kleines Loch in jede Dose bohren, damit Wasser ablaufen kann.)
- Clipboard mit wasserfestem Papier.
- Umlaufende Gummis und Schläuche zum Befestigen weiterer Gegenstände.
- Kompass
- Neigungsmesser
- Uhr

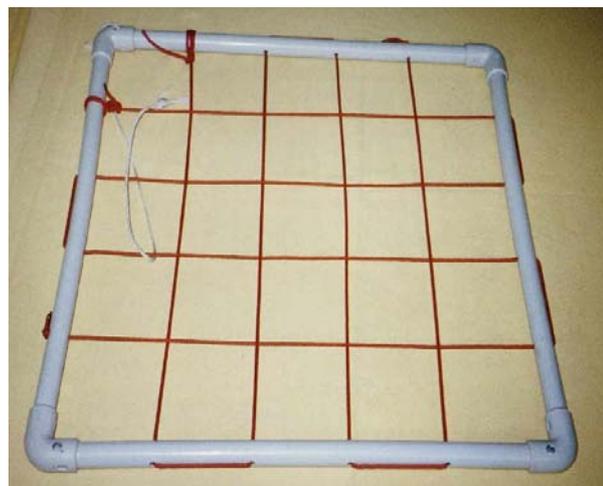
Messrahmen

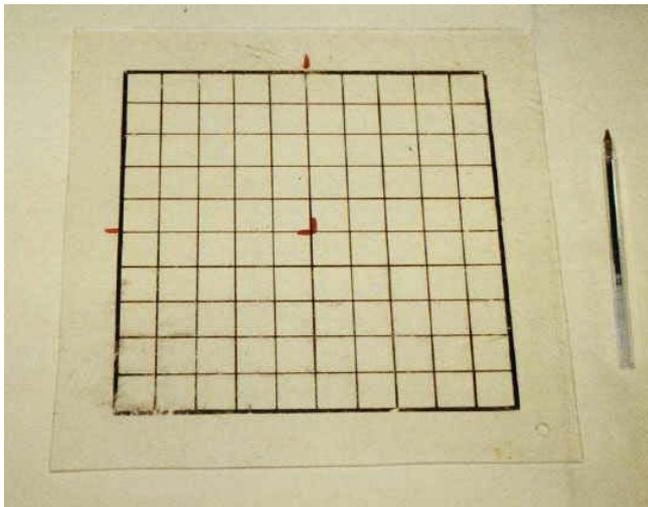
Mit einfachen Mitteln läßt sich ein Messrahmen bauen. Ein paar Kunststoffrohrleitungen aus dem Baumarkt zusammenfügen und dann durch entsprechende Bohrungen Tauwerk (Seile) führen und verspannen.

Eine gängige Größe ist ein Rahmen mit 100 cm Kantenlänge und einer Unterteilung in Felder der Größe 20 cm × 20 cm.

Verwendung:

Der Messrahmen wird auf den Boden gelegt. Anschließend werden die Beobachtungen auf einer Schreibtafel in ein entsprechendes Raster eingezeichnet. Möglich ist auch das Auszählen von Objekten (z. B. Anzahl der Muscheln) pro Fläche.





Ein **Messrahmen** lässt sich auch auf einer **Platte aus Plexiglas** auftragen. Diese Platte wird direkt auf den Boden gelegt und die Konturen der unterliegenden Objekte dann nachgezeichnet.

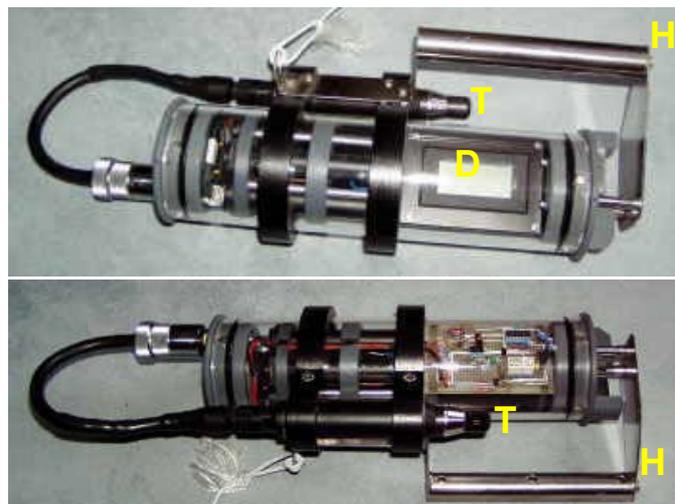


Der **Messkasten** ermöglicht die Probenahme von einer genau umrissenen Fläche.



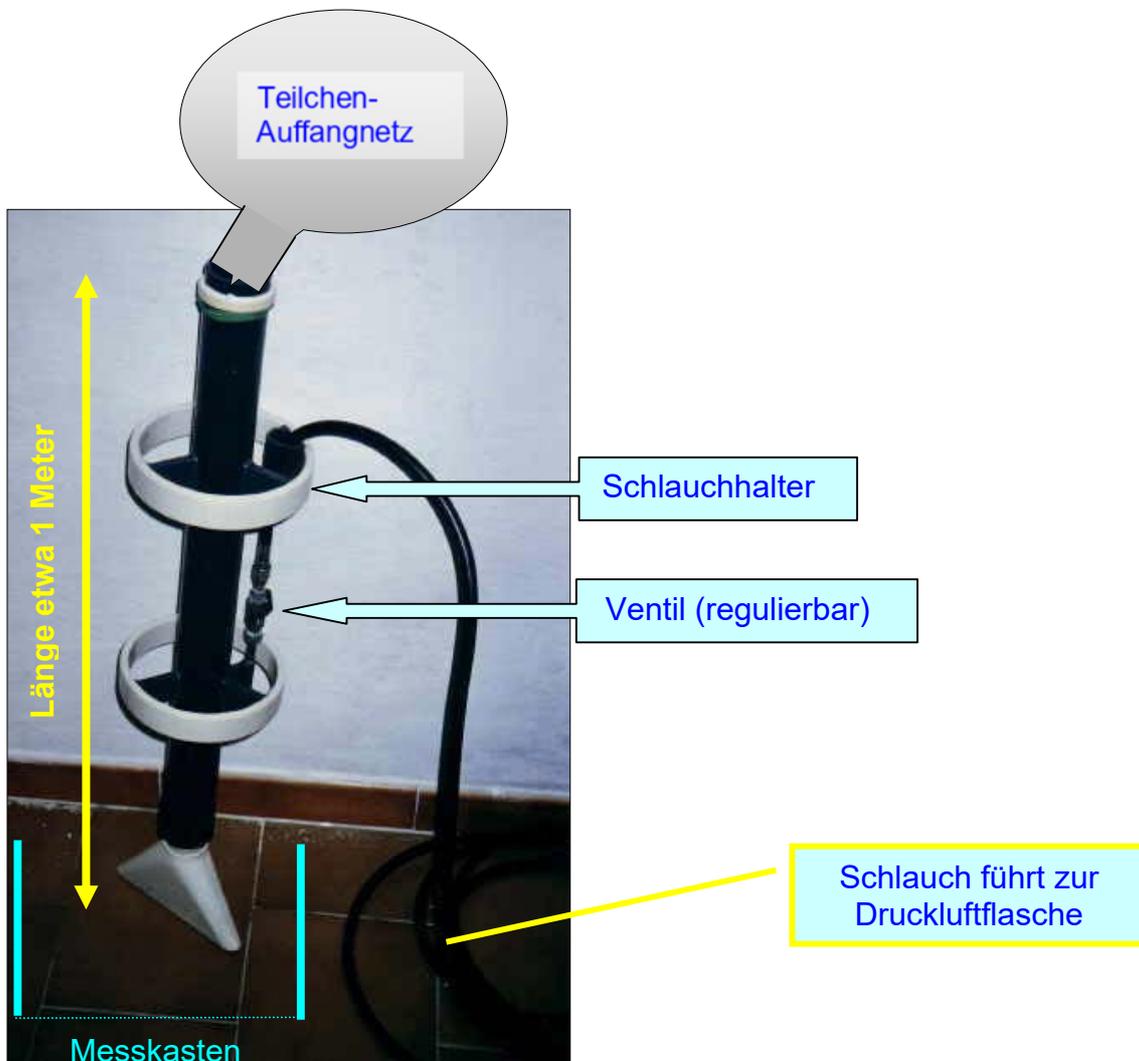
Neigungsmesser

Die rechte Abbildung zeigt einen **Trübungsmesser für den Tauchereinsatz**. Ein Trübungsmesser vom Typ OBS-3 [T] (misst die Rückstreuung an im Wasser befindlichen Teilchen) wurde mit einer Stromversorgung, einem gut ablesbarem Display [D], einem mit Taucherhandschuhen bedienbarem Ein-/Aussschalter und einem Handgriff [H] versehen. Die Messdaten können dann beispielsweise auf einer UW-Schreibtafel notiert werden.



Auch der ‚AIRLIFT‘ lässt sich mit einfachen Mitteln aus dem Baumarkt und einem Atemregler mit zugehöriger Druckluftfla-

sche selber bauen. Der ‚airlift‘ funktioniert wie ein Staubsauger in Kombination mit einer Wasserstrahlpumpe (Injektor-Pumpe). Zum Auffangen (Sammeln) der angesaugten Teilchen wird am oberen Ende des Ansaugrohres ein Netz oder alternativ ein Strumpf befestigt.



Der Airlift lässt sich gut mit einem Messkasten (siehe oben) kombinieren. Damit kann dann der ‚Teilchenbestand‘ einer genau definierten Fläche abgesaugt und erfasst werden

Unterwasserorte (Positionen) lassen sich mit einem **Pinger** (akustischer Signalgeber) markieren. Die Geräte haben einen Durchmesser von etwa 5 cm und eine Länge von 20 bis 30 cm.



Damit sind sie relativ klein und handlich und vom Taucher gut mitzuführen. Der Pinger gibt regelmäßig ein akustisches Signal, das in seiner Leistungsstärke (0.125 W, 0.5 W, 2.0 W oder 10 W) und Frequenz (27, 37, 45 oder 54 kHz) vor dem Einsatz eingestellt wird. Bei geringer Leistung (0.125 W) und Verwendung von Lithium Batterien kann das Signal bis zu 18 Monaten gegeben werden.

Mit einem Unterwasserempfangsgerät („diver-operated pinger locator“) kann der Taucher den Pinger anpeilen und zu der entsprechenden Position hintauchen. Der Taucher hört das Signal mittels eines UW-Körperschalllautsprechers, der hinter das Maskenbank geklemmt wird. Am Empfänger wird die Lautstärke geregelt. Die Frequenz und der Empfangswinkelbereich des Pingers werden ebenfalls eingestellt. Es gibt auch Empfänger, die den Abstand zum Pinger im Display anzeigen.

Pinger und Empfänger werden von der Firma RJE (<http://www.rjeint.com/>) in Kalifornien hergestellt. Die Geräte sind relativ teuer.





Und zum Schluss hier noch das **Messband**. Verwendet werden sollte ein Messband, das komplett aus Kunststoffteilen besteht. Ansonsten ist es sehr schnell verrostet.

An allen Hilfsmitteln sind Schnüre mit **Schlaufen oder Karabinerhaken** anzubringen, damit der Taucher die Geräte an seiner Ausrüstung befestigen kann und die Hände für die UW-Arbeiten bzw. für taucherische Handlungen wie Tarieren etc. frei hat.

8. Anmerkungen zum Sporttauchen

8.1. Unterschiede zwischen Forschungstauchen und Sporttauchen

Tabelle 8/1: Unterschiede zwischen Forschungstauchen und Sporttauchen

Sporttaucher	Forschungstaucher
Hobby, Freizeit	Beruf
Tauchen nach vereinsabhängigen Richtlinien oder als "freier" Taucher. Regeln/Richtlinien meist <u>unverbindlich</u> . (Ausnahme: Einhalten von Versicherungsbestimmungen ist notwendig.)	Tauchen nach genau vorgegebenen Richtlinien und <u>verbindlichen</u> Regeln. Tauchgänge werden vom "Unternehmer" angeordnet.
Die Ausbildung ist weder gesetzlich noch einheitlich - geregelt. Ausbildung kann erfolgen: <ul style="list-style-type: none"> - in Vereinen/ Verbänden - in gewerblichen Tauchschiulen/-basen - autodidaktisch 	Ausbildung in anerkannten Ausbildungsbetrieben entspr. der GUV-Regel 2112 des Bundesverbandes der Unfallkassen: <ul style="list-style-type: none"> - 240 Ausbildungsstunden <li style="padding-left: 20px;">davon 50 Stunden Gewöhnungstauchen
Prüfung nach Verbandsrichtlinien oder durch Brevetierungsfirmen.	Prüfung durch die Prüfungskommission für Forschungstaucher (PKF)
Lizenzen / Brevets der unteren Leistungsstufen gelten meist lebenslanglich.	Nachprüfung, wenn nicht mind. 12 Tauchgänge (> 30 Min) innerhalb von jeweils 12 Monaten nachgewiesen werden können.
Versicherung: freiwillig (geringe Leistungen)	Pflichtversichert (hoher Versicherungsschutz)
"Buddy"-System: Tauche nie allein! Handleine nicht üblich. Unterschiedliche Austauschabellen, z. B. Deco 2000 (Dr. M. Hahn). Meist: Tauchen mit Halbmaske, Nasstaucher.	meist Einzeltaucher, Leinenzwang, Reservetaucher in Bereitschaft. Austauschabelle <u>nur</u> nach UVV BGV C23, Tauchen mit Vollmaske, Trockentauchanzug, Telefonverbindung, schlauchversorgt.
Logbuch, Taucherpass, Brevetkarte	Taucherdienstbuch (Urkunde!)
Teilweise nur unzureichende Tauglichkeitsuntersuchung durch den Hausarzt.	Gültiges Gesundheitszeugnis entspr. der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung G 31 "Überdruck" ist zwingend notwendig.

8.2 Organisationen

Im deutschsprachigen Raum gibt es derzeit mehr als 44 Organisationen, die Sporttaucher und/oder Tauchlehrer ausbilden und prüfen (brevetieren). Die gegenseitige Akzeptanz bzw. Ablehnung ist sehr unterschiedlich, teilweise ist sie in Äquivalenzlisten geregelt. In der Praxis vor Ort wird der Leistungsstand des Tauchers häufig durch einen Check-Tauchgang geprüft. Nachfolgend werden die wichtigsten Organisationen der Tauchsportszene kurz vorgestellt.

Der Verband Deutscher Sporttaucher e.V. (VDST) [www.vdst.de] ist mit 80.000 Mitgliedern, 900 Mitgliedsvereinen, 2800 Übungsleiter und Tauchlehrern und 120 Mitgliedstauchbasen (In- und Ausland) (Stand: etwa 2003) der größte deutsche Zusammenschluss von Amateur-Tauchsportvereinen. Offizielles Organ des VDST ist die Zeitschrift "Der Sporttaucher", er wird an die Verbandsmitglieder kostenlos versandt. Der Hamburger Landesverband des VDST ist der Hamburger Tauchsport-Bund e.V. (HTSB) mit 21 Vereinen und knapp 1600 Mitgliedern (Stand: 02/03). Der VDST ist Mitglied im Deutschen Sportbund (DSB). International ist der VDST der deutsche Mitgliedsverband in der



**CMAS
GERMANY**

Confédération mondiale des Activités Subaquatiques, World Underwater Federation (CMAS). In der „CMAS Germany e. V.“ haben sich die Verbände VDST, Barakuda, IDA, VIT, DLRG, UDI, VEST und zusammengeschlossen. Über diesen Zusammenschluss soll die Akzeptanz des „CMAS-Tauchers“ weltweit verbessert werden.

Informationen zur VDST-Einzelmitgliedschaft (Stand: 2001)

Die **VDST Hotline** für alle VDST, -Vereins- und Einzelmitglieder. Das umfassende Sicherheitspaket für Taucher:
Eine Hotline-Telefonnummer
24 Stunden tauchmedizinischer Notfallservice bei Tauchunfällen
Absicherung bei Unfällen und Krankheiten im Auslandsurlaub
Medizinisch notwendiger Rücktransport aus dem Ausland
Kostenübernahmeerklärung

Beitragsregelung für VDST-Einzelmitglieder

Einmalige Aufnahmegebühr DM 50,-, Jahresbeitrag DM 78,-
Einzelmitglieder haben Anspruch auf kostenlosen Bezug der VDST-Verbandszeitschrift ("Sporttaucher") sowie die jeweils für natürliche Vereinsmitglieder gültigen Tauchsportversicherungsleistungen des VDST. Im Aufnahmejahr wird der Jahresbeitrag zum 1. des Folgemonats erhoben, und zwar mit je DM 6,50 je Monat. Im Folgejahr wird der Jahresbeitrag zum 31.03. mit DM 78,- abgebucht. Der Austritt ist jeweils mit einer Frist von drei Monaten zum Ende eines jeden Kalenderjahres durch eingeschriebenen Brief an die VDST-Geschäftsstelle möglich.

§ 3 a | VDST-Satzung

Außerordentliche Mitgliedschaft und fördernde Mitgliedschaft
Einzelmitglieder sind außerordentliche Mitglieder. Sie sind nicht stimmberechtigt. Ihre Interessen werden vom Vizepräsidenten für Sport und Öffentlichkeitsarbeit wahrgenommen.
Die Beitragsregelung ergibt sich aus der Beitragsordnung. Der vom VDST vorgegebene Aufnahmeantrag ist an die VDST-Geschäftsstelle zu richten. Über die Aufnahme entscheidet der Vizepräsident für Sport und Öffentlichkeitsarbeit.

Verbandsorgan

Alle die Mitgliedschaft betreffenden allgemeinen Regelungen und Änderungen, insbesondere Satzungsänderungen, sind aus den Mitteilungen im offiziellen Verbandsorgan "Sporttaucher" zu entnehmen.

Sollten Sie Fragen zur VDST-Einzelmitgliedschaft haben: VDST.EV@VDST.DE

Stand: 06/2006:

Aufnahmegebühr 26,00 €
Jahresbeitrag 39,92 €
Inkl. Versicherung

Der Verband Deutscher Tauchlehrer e.V. (**VDTL**) [www.vdtl.de] ist ein nicht-profitorientierter Berufsverband von weltweit gewerblich tätigen Tauchlehrern. Der VDTL ist Mitglied im Deutschen Sportlehrerverband (DSLTV) und deshalb sind VDTL-Tauchlehrer berechtigt, den Titel "Fachsportlehrer Tauchen" zu führen. Die Zeitschrift des VDTL ist der "Der Tauchlehrer", sie wird insbesondere auf Messen kostenlos verteilt. Taucher und Tauchsportvereine können fördernde Mitglieder im VDTL werden. Die Ausbildung der VDTL-Tauchlehrer erfolgt nach staatlich anerkannten Richtlinien, die Prüfung erfolgt unter Aufsicht eines Behörden-Vertreters des Landes Schleswig-Holstein. Diese staatliche Anerkennung ist häufig



Voraussetzung zur gewerblichen Berufsausübung im europäischen Ausland. Der VDTL ist Gründungsmitglied von **CEDIP** (European committee of professional diving instructors). Jeder Tauchlehrer, der einer CEDIP-Organisation angehört, ist Mitglied der CEDIP. Seine Unterschrift, die Tauchgänge oder -prüfungen von Tauchschülern bestätigt, wird von allen CEDIP-Verbänden anerkannt. Seit 1993 haben die CEDIP-Tauchzertifikate Kreditkartenformat.

Der Verband Internationaler Tauchsulen e.V. (**VIT**) ist ein Zusammenschluss von Tauchsulen und -basen. Fördernde Mitglieder sind Firmen der Tauchsportszene. Der Fachverband staatlich geprüfter Tauchlehrer e.V. (**FST**) ist eine Vereinigung der Absolventen der ehemaligen Unterwasserlehranstalt (Buchholz/Nds.).



Die Firma BARAKUDA wurde 1949 von Hans-Joachim Bergann und Dr. Kurt Ristau als erstes großes Tauchunternehmen und als Hersteller von Wassersportausrüstungen in Deutschland gegründet. Im Jahr 1969 wurde dann ebenfalls von BARAKUDA mit der **Lehranstalt für Unterwassertechnik (UWL)** die erste staatlich anerkannte Ausbildungsstätte für gewerbliche Tauchlehrer erschaffen. Diese Ausbildungsstätte scheiterte aber schließlich an den hohen Kosten der qualifizierten Ausbildung. Heute ist die Firma Barakuda (<http://www.barakuda.de>) ein modernes Touristikunternehmen mit eigener Tauchlehrerausbildung. Neben dem VDST ist die Firma Barakuda eine der Hauptsäulen der CMAS Germany.



Die **I.T.L.A. (Internationale Tauchlehrerakademie e.V.)** wurde im August 1994 gegründet und bildet zusammen mit der **Universität Potsdam** mit dem Ziel "staatlich anerkannter Tauchlehrer mit CMAS-TL**" aus. Die Ausbildung läuft über zwei Semester; Ausbildungskurse haben aber bisher vermutlich nicht statt gefunden. Die Erarbeitung neuer Studiengänge sollte ab Anfang 2001 beginnen. Die Kosten für die Tauchlehrerausbildung liegen bei etwa 5.000 € (je nach Teilnehmeranzahl); hinzu kommen die Kosten für Unterkunft und Verpflegung.

Weitere Verbände:

United Diving Instructors (**UDI**), Diving Instructor World Association (**DIWA**), Verband Internationaler Sporttaucher (**VIST**), Professional Diving Association (**PDA**), Verband Europäischer Sporttaucher (**VEST**), International Diving Association (**IDA**).

Amerikanische Unternehmer haben schon Ende der 60er Jahre den Tauchsportausbildungs-

bereich als lukrative Einnahmequelle erschlossen. Zur weltweit größten und erfolgreichsten Organisation hat sich die Professional Diving Instructors Corporation (**PADI**) [www.padi.com] entwickelt. Mitglieder auf Vertragsbasis (ohne Mitbestimmungsmöglichkeit) sind Taucher, Tauchlehrer, Tauchsulen und -basen. PADI Worldwide hat zirka 5000 Tauchbasen und 109.000 Mitglieder. Padi Europe hat zirka 970 Tauchbasen und 28500 Mitglieder. (*Quelle: J. W. Lavanchy, 4/2003*). Mit einem ausgeklügelten System an Leistungsstufen und -brevets, Sonderkursen und umfangreichen Ausbildungsmaterialien wird dem Taucher die Möglichkeit gegeben eine Vielzahl von Produkten der Firma PADI zu käuflich zu erwerben.



Die National Association of Underwater Instructors (**NAUI**) wurde 1960 in den USA gegründet und ähnelt in seinem Ausbildungs- und Brevetierungssystem sehr stark der PADI. Im Gegensatz zu PADI haben NAUI-Mitglieder eine starke Mitwirkungs- und Gestaltungsmöglichkeit in ihrem Verband. Auch NAUI gehört zu den weltweit größten Verbänden.



Eine weitere amerikanischer Firma ist die Professional Diving Instructors Corp. (**PDIC**).

Scuba Schools International (**SSI**) ist eine profit-orientierte amerikanische Firma, die 1970 in Kalifornien gegründet wurde. Mit weltweit über 800 angeschlossenen Tauchsulen und -basen gilt SSI als drittgrößter Tauchverband der Welt. Mitglieder sind Tauchsulen, Geschäfte und Tauchbasen. Zum Brevetierungssystem von SSI gehören Brevets über 100, 500, 1000 und 5000 durchgeführte Tauchgänge. Alle o.g. amerikanischen Organisationen haben inzwischen europäische Ableger ('branches') gegründet.



In Deutschland werden Taucher auch von Tauchunternehmen (=Berufstaucher), DLRG, Feuerwehr, DRK-Wasserwacht, Bundeswehr, Polizei und Bundesgrenzschutz für bestimmte Einsatzzwecke nach entsprechenden Richtlinien und Vorschriften ausgebildet.



Es gibt in der Bundesrepublik Deutschland keinerlei rechtlichen Schutz der Bezeichnung "Tauchlehrer", d.h. jeder kann sich unabhängig von seiner Qualifikation als Tauchlehrer bezeichnen, entsprechende Verbände gründen und Tauchsportbrevets ausstellen. Auch die von o.g. Verbänden ausgestellten Tauchlehrerlizenzen garantieren nicht zwangsläufig ein definiertes Qualitätslevel für den individuellen Tauchlehrer, d.h. in jedem Verband gibt es auch "schwarze Schafe". Der Ausbildungsumfang zum Tauchlehrer variiert zwischen den Verbänden von 50 bis zu mehreren tausend Ausbildungsstunden. Die Ausbildung zum VDTL-Tauchlehrer erfordert beispielsweise mindestens 460 Ausbildungsstunden und 2240 Praxisstunden.

Die gemeinnützige Organisation Divers Alert Network Europe (**DAN**) bietet ihren weltweit 200.000 Mitgliedern (Stand: 5/99) bei Zahlung einer jährlichen Versicherungsprämie ab 65 EURO (*DAN Europe BASIC Membership, Stand: 2/03*) weltweit Unterstützung bei Tauchunfällen. Mit einer 24-Stunden Telefon-Hotline erfolgt eine tauchmedizinischer Beratung und falls notwendig die Organisation des Transportes

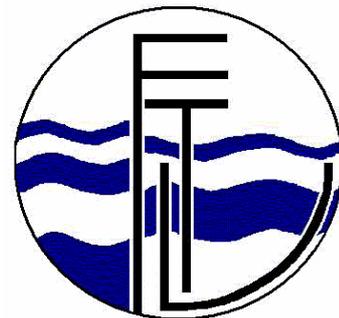


und der bestmöglichen Behandlung des verunfallten Tauchers. Die Kosten für Notfalltransporte sowie für medizinisch-hyperbare Therapie und Krankenhausbehandlung sind für die DAN-Mitglieder weltweit durch eine Versicherung abgedeckt. Der Deckungsgrad hängt von Höhe der gezahlten Prämie ab.

Eine gute und preiswerte Alternative (39 €) zur Risikoabsicherung für Sporttaucher und Urlaubsreisende bietet die Firma ‚aquamed reise- und tauchmedizin‘. Auch hier sind Tauchmediziner über ein 24-Stunden-Notruftelefon ständig erreichbar.



In der **Deutschen Forschungstaucher-Vereinigung (DFTV)** haben sich geprüfte und vorausgebildete Forschungstaucher zusammengeschlossen. Im Juli 2002 betrug die Mitgliederzahl 64. Der Mitgliedsbeitrag beträgt 15 €, für Familien /Lebensgemeinschaften 20 €. Einmalig ist eine Aufnahmegebühr von 10 € zu bezahlen. Zu den Aktivitäten der Vereinigung gehören u.a. Mitgliederversammlungen mit Berichten und Vorträgen über die Forschungstaucheraktivitäten der Mitglieder (= *Wiss. Symposium*), Vertretung der Interessen gegenüber der Berufsgenossenschaft und den Tauchsportorganisationen, Mitwirkung bei der Weiterentwicklung der Forschungstaucher-Richtlinien, Pressearbeit, Kontakte zu ausländischen Forschungstaucherguppen, Weiterbildungsveranstaltungen und das Sammeln von Informationsmaterial (Artikel, etc.).



Die Vereinigung ist unter der Anschrift des 1. Vorsitzenden zu erreichen:

Forschungstauchervereinigung, Frank Donat
c/o ICBM Forschungstauchgruppe der Uni Oldenburg Postfach 2503 26111 Oldenburg, Tel.: 0441 / 798-3457
Email: Frank.donat@uni-oldenburg.de

[Homepage: <http://www.marilim.de/forschungstaucher>]

Die **Kommission Forschungstauchen Deutschland (KFT)** [<http://www.forschungstauchen-deutschland.de>] ist die Vereinigung der in Deutschland für die Ausbildung von geprüften Forschungstauchern und Forschungstaucherinnen zugelassenen Ausbildungsbetriebe, den zuständigen gesetzlichen Unfallversicherungsträgern, dem Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF), der Kommission Unterwasserarchäologie beim Verband der Landesarchäologen in der Bundesrepublik Deutschland und der Forschungstauchervereinigung (FTV).



Die Deutsche Gesellschaft zur Förderung der Unterwasserarchäologie e.V. (**DEGUWA**) [www.deguwa.de] führt u.a. Kurse für Sporttaucher durch um ihnen Zweck und Sinn archäologischer Forschung nahezubringen und sie in Grundbegriffe und -techniken der Unterwasserarchäologie einzuführen.

8.3. Brevetierungssysteme (Lizenzen)

In vielen Ländern der Welt müssen Sporttaucher zur Erlangung von örtlichen Tauchgenehmigungen ihren Leistungsstand durch die Vorlage von Tauchsportbrevets, Taucherpass und/oder Logbuch nachweisen, z. B. ist in Israel bereits beim Füllen einer Druckluftflasche ein Brevet ** vorzuzeigen. Im Taucherpass sind der gesamte Ausbildungsweg und die bestandenen Prüfungen/Spezialkurse dokumentiert, einzelne Prüfungen können auch durch Brevetkarten (meist im Scheckkartenformat) nachgewiesen werden. Im Logbuch werden alle Tauchgänge im Freiwasser eingetragen und durch Unterschrift des Tauchpartners oder der Tauchbasis bestätigt. Bei der Anmeldung zum Erwerb einer Taucherleistungsstufe ist häufig eine Mindestanzahl von Tauchgängen durch Logbucheintragen nachzuweisen.

Forschungs- und Berufstaucher dokumentieren ihre Tauchgänge im "Taucherdienstbuch"; falsche Eintragungen können als Urkundenfälschung strafrechtlich verfolgt werden.

Die folgende Tabelle gibt schematisch die Tauchbefähigung in Abhängigkeit von dem durch Tauchsportbrevets nachgewiesenen Leistungsstand wieder. In Anlehnung an das Brevetierungssystem des VDTL werden die wesentlichen Grundsätze wiedergegeben.

Tabelle 8/2: **Abhängigkeit der erworbenen Tauchbefähigung vom Leistungsstand** [TL = Tauchlehrer]

Leistungsstand	Erworbene Befähigung
Einführungskurse Grundkurse	Tauchgänge mit Tauchlehrerbegleitung
Taucher STUFE 1	Tauchen unter Leitung eines Partners ab Taucher STUFE 3
Taucher STUFE 2	Tauchen mit Partner ab Taucher STUFE 2
Taucher STUFE 3	Verantwortliche Führung von Tauchern ab Taucher STUFE 1 (mit Einschränkung)
Taucher STUFE 4	Verantwortliche Führung von Tauchern ab Taucher STUFE 1 (ohne Einschränkung)
Tauchlehrer STUFE 1	Tauchen und Führen mit/von Partnern aller Leistungsstufen Prüfberechtigt bis Taucher Stufe 1
Tauchlehrer STUFE 2	Tauchen und Führen wie TL-Stufe 1 Prüfberechtigt bis Taucher Stufe 3 (Sondergenehmigung für TL-Ausbildung)
Tauchlehrer STUFE 3	Tauchen und Führen wie TL-Stufe 1 Prüfberechtigt für alle TL-Stufen
Tauchlehrer STUFE 4	Tauchen und Führen wie TL-Stufe 1 Prüfberechtigt für alle TL-Stufen Leitung von Prüfungskommissionen

Tabelle 8/3: **Gegenüberstellung unterschiedlicher Ausbildungssysteme**

Ausbildungsstufe	CEDIP Deutschland	CMAS Deutschland	USA und Deutschland
Einführung	Grundkurs	Grundtauchschein	Basic Diver
Stufe 1	☆	☆	OWD Open Water Diver
Spezialkurs	Orientierung / Gruppenführung	Orientierung	
Spezialkurs	Wasserrettung + Erste Hilfe	HLW + Erste Hilfe	
Stufe 2	☆☆	☆☆	AOWD Advanced OWD
Spezialkurs	Führung von Tauchergruppen	Kurs Tauchrettung	Rettungskurs
Spezialkurs	1 Pflichtkurs frei wählbar	1 Pflichtkurs frei wählbar	
Stufe 3	☆☆☆	☆☆☆	Divemaster
Spezialkurse	2 Kurse Theorie und Praxis + 2 Kurse Theorie		
Stufe 4	TL-Assistent ☆☆☆☆		Assistant Instructor (optional)
Praktikum	Praktikum (mind. 4 Wochen), Sportführerschein See Pädagogikseminar	Praktikum DSB-Übungsleiter F Assistenz bei Prüfungs- abnahmen	
TL-Stufe 1	TL ☆	TL - 1	Instructor
Praktikum	Praktikum (mind. 1 Jahr) drei Seminare	Praktikum Sportbootführerschein	Ausbildungsnach- weis
TL-Stufe 2	TL ☆☆ Fachsportlehrer "Tauchen"	TL - 2	Master-Instructor
	Tauchlehrerseminar	Assistenz bei TL-Prüfung	
TL-Stufe 3	TL ☆☆☆ (staatlich anerkannt)	TL - 3	
TL-Stufe 4	TL ☆☆☆☆ (ernannt)	Instrukteur (IN) (ernannt)	

TL Tauchlehrer

DSB Deutscher Sportbund e.V.

Deutsche Verbände:

Bronze = ☆

Silber = ☆☆

Gold = ☆☆☆

8.4. Austauchtabeln (Deko-Tabellen)

"Austauchtabeln (Dekompressionstabellen)" basieren auf **empirisch festgestellten und statistisch mehr oder weniger gesicherten Toleranzen**.

Sie gelten für "**normale**" Individuen sowie hinsichtlich Kompressionszeit und Aufenthaltzeit bei vollem Druck für einfache Bedingungen.

Die Anpassung der Tabellenwerte an komplizierte Expositionen mit häufigem Wechsel des Druckes kann nicht optimal sein, weil mit Anpassungsregeln aus Sicherheitsgründen immer eine länger als real dauernde Expositionszeit berücksichtigt wird.

Diese unbefriedigende Situation lässt sich mit einem Kleincomputer, der ..., wesentlich verbessern.

(Zitat aus A .A. Bühlmann, Dekompression-..., Springer, 1983)

Früher wurden in Deutschland im Sporttauchbereich u.a. folgende Tabellen verwendet:

- franz. Marinetabelle ("Tables des Plongée à l'air G.E.R.S. 65")
- Tabelle der Royal Navy
- Tabelle der U.S.Navy ("U.S. Navy Standard Air Decompression Table")

Heutiger Standard für Sporttaucher in Deutschland:

- Bühlmann/Hahn - Tabellen mit Aufstiegsgeschwindigkeit von 10 m/min

Beachte:

Bei einem Einsatz von Forschungstauchern ist nur die Verwendung der Austauchtabelle der Unfallverhütungsvorschrift „Taucherarbeiten“ (BGV C 23 / bisherige VBG 39) erlaubt!

(Aufstiegsgeschwindigkeit: **10 m/min**)

Tabelle 8/4: **Vergleich von Nullzeiten verschiedener Organisationen**
(willkürlich gewählte Tiefen)

Tiefe	UVV BGV C 23	US Navy	GERS (65)	PADI ③	Bühl- mann /Hahn	BH 251-700 m	BH 701 - 1200 m	Deco 2000
15 m	80	100	①	100	99	93	71	72
24 m	25	40	45	40	27	26	24	23
36 m	10	15	25	15	9	9	9	10
42 m	7	10	10	10	6	5	5	7
48 m	5	5	5	②	4	4	4	5

① bei 120 min noch keine Haltezeiten verlangt

② Tabelle nur bis 42 m [140 feet]

③ ≙ CSIRO Marine Laboratories

(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation / Australia)

BH Bühlmann/Hahn

8.4.1. Austauschabelle für Sporttaucher: DECO 2000

Die Austauschabelle DECO 2000 (Copyright VDST e.V.) ist die allgemein anerkannte Austauschabelle für Sporttaucher deutscher Tauchsport- und Tauchlehrerverbände. Sie wurde von Dr. Max Hahn nach einer statistischen Risikoanalyse der bisherigen Bühlmann/Hahn-Tabelle berechnet. Die Änderungen in der Austauschabelle DECO 2000 gegenüber ihrem Vorgänger DEKO '92 sind gering. Die alten Tabellen können deshalb gefahrlos weiter genutzt werden.

Für Taucheinsätze in Bergseen oberhalb von 701 Meter bis 1500 Meter über Normalnull (NN) gibt es die „grüne“ Bergseetabellen der DECO 2000. Für größere Höhen wird die Bühlmann-Bergseetabelle 700 – 2500 m des SUSV (Schweizer Unterwasser-Sport-Verband) empfohlen.

Die Austauschgeschwindigkeit von 10 m/min darf im Tiefenbereich von 25 m bis zur Oberfläche nicht überschritten werden! Wiederholungstauchgänge dürfen bei Verwendung der DECO 2000 nicht tiefer als der vorige Tauchgang sein!

Der Abdruck der Tabellen erfolgte mit freundlicher Genehmigung des VDST e.V..

Die Tabellen sind zu beziehen bei:

VDST-Tauchsport-Servie GmbH

Berlinerstr. 312

63067 Offenbach

Tel.: 069 / 98 19 02 – 0 Fax: 060 / 98 19 02 – 99

Email: vdstgmbh@vdst.de

Stopp in	15	12	9	6	3 m	Stopp in	15	12	9	6	3 m	Dekotiefe m	
54 4'	6				2	60 3'	6			1	3	Tiefe m Nullzeit min(')	
	8			1	4		8		1	2	5		
	10		1	2	6		10		1	2	3		7
	12		2	4	7		12		2	3	4		11
	14	1	3	5	10		14	1	2	3	5		12
16	2	4	6	13	16	1	2	4	6	14			
57 3'	6				3	63 2'	6			1	4	Grundzeit min Dekopausen min Wiederholungsgruppe	
	8			2	4		8		1	3	6		
	10		2	3	6		10		1	2	4		9
	12	1	2	4	9		12	1	2	3	4		10
	14	2	3	6	12		14	1	2	3	6		12
16	1	3	4	7	16	1	2	4	6	14			

Erst planen – dann tauchen !

Oberflächenpause (h:min)

Wiederholungsgruppe	G	F	E	D	C	B					
G	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	12:00	24h
F	0:30	1:00	1:30	2:15	3:00	3:45	4:30	5:30	6:30	10:00	20h
E			0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	8:00	16h
D					0:30	0:45	1:00	1:30	2:00	6:00	12h
C							0:10	0:20	0:30	4:00	8h
B								0:10	0:20	2:00	4h



Wiederholungsgruppe	G	F	E	D	C	B					
G	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	12:00	24h
F	0:30	1:00	1:30	2:15	3:00	3:45	4:30	5:30	6:30	10:00	20h
E			0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	8:00	16h
D					0:30	0:45	1:00	1:30	2:00	6:00	12h
C							0:10	0:20	0:30	4:00	8h
B								0:10	0:20	2:00	4h








Tiefe des Wiederholungstauchgangs (m)	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
12	66	60	54	47	41	35	30	25	20									
15	52	47	42	37	32	27	23	19	16									
18	43	39	34	30	26	22	19	16	13									
21	36	33	29	26	22	19	16	13	11									
24	31	28	25	22	19	16	14	12	10									
27	27	25	22	19	17	14	12	10	8									
30	24	22	20	17	15	13	11	9	8									
33	22	20	18	16	14	12	10	8	7									
36	20	18	16	14	12	11	9	7	6									
39	18	17	15	13	11	10	8	7	6									
42	17	15	14	12	10	9	8	6	5									
45	16	14	13	11	10	8	7	6	5									
48	15	13	12	10	9	8	6	5	4									
51	14	12	11	10	8	7	6	5	4									
54	13	12	10	9	8	7	6	5	4									
57	12	11	10	9	7	6	5	5	4									
60	11	10	9	8	7	6	5	4	4									
63	11	10	9	8	7	6	5	4	3									

Zeitzuschlag zur Grundzeit (min)

Hinweis: Die Benutzung der Tabelle hat entsprechend der Betriebsanleitung zu erfolgen!

Austauschtabelle DECO 2000

Stopp in	6	3	m	Stopp in	9	6	3	m	Stopp in	12	9	6	3	m			
12	36		D	27	6			B	39	6				C			
	54		E		10					C	9				1	D	
	72		F		14					D	12				4	E	
	90		G		18			1		E	15			2	7	E	
	108		G		22			4		E	18		1	4	10	F	
					26			8		F	21		2	6	14	F	
					30		2	10		F	24		4	7	18	G	
					34		3	14		F	27	1	4	9	24	G	
					38		5	18	G								
					42		7	22	G								
					46		10	26	G								
				50	1	11	31	G									
15	24		D	30	6			B	42	4				C			
	36		E		9					C	7				D		
	48		E		12					D	10				4	E	
	60		F		15			2		D	13			2	6	E	
	72		G		18			4		E	16		1	4	10	F	
84		G	21				7	E		19		3	5	14	F		
					24		2	9		F	22	1	4	7	19	G	
					27		3	12		F	25	2	5	9	25	G	
					30		5	14	F								
					33		7	17	G								
					36	1	8	21	G								
				39	2	9	25	G									
				42	3	11	28	G									
18	15		C	33	6			C	45	6				D			
	25		D		9					D	8				2	D	
	35		E		12			1		D	10			1	4	E	
	45		F		15			4		E	12			3	6	E	
	55		F		18			6		E	14		1	4	9	F	
65		G	21				9	F		16		2	5	12	F		
75		G	24				12	F		18	1	3	6	15	F		
					27		2	9		F	20	1	4	8	18	G	
					30		3	11	F	22	2	5	9	22	G		
					33		5	14	F								
					36	1	8	21	G								
				39	2	9	25	G									
				42	3	11	28	G									
21	11		C	36	6			C	48	5				C			
	16		D		9					D	7				2	D	
	21		D		12			1		D	9			1	4	E	
	26		E		15			4		E	11			3	6	E	
	31		E		18			6		E	13			2	3	10	F
	36		F		21			9		F	15			3	5	12	F
	41		F		24			12		F	17		1	4	6	16	F
	46		F		27			15		F	19		2	4	8	20	G
	51		G		30			18	G	21	1	2	5	10	24	G	
	56	1	20		G	33		3	9	22	G						
61	2	25	G		36		4	10	27	G							
24	7		B	Stopp in 12 9 6 3 m	6			C	51	6				2	D		
	11		C		9					C	8			1	4	E	
	15		D		12			1		D	10			1	2	7	E
	19		D		15			4		E	12			2	4	9	F
	23		E		18			6		E	14		1	3	5	13	F
	27		E		21			9		F	16		2	3	7	17	F
	31		F		24			12		F	18	1	2	5	8	21	G
	35		F		27			15		F							
	39	1	14		F	30		3	7	19	G						
	43	3	17		G	33		4	9	23	G						
47	4	20	G		36	1	5	11	28	G							
51	6	24	G														
55	8	28	G														

Autor: Dr. Max Hahn
 © VDST Verband Deutscher Sporttaucher

701 – 1500m ü. N.N.
 Aufstieg mit 10m/min

Stopp in	15	12	9	6	3 m	Stopp in	15	12	9	6	3 m	Dekotiefe m		
54 3'	6				3	60 2'	6			1	4	Tiefe m Nullzeit min(')		
	8			2	5		8		1	3	7			
	10			1	4		7	10	1	2	5		10	
	12		1	2	5		11	12	2	4	6		15	
	14		2	3	6		15	13	1	2	4		7	18
16	1	2	4	8	20	14	1	3	4	8	21			
57 3'	6			1	3	63 2'	6			2	5	Grundzeit min Dekopausen min Wiederholungsgruppe		
	8			1	2		6	8		2	3		8	
	10			2	4		9	10	2	2	5		13	
	12		1	3	6		12	11	1	2	3		6	15
	14	1	2	4	7		18	12	1	2	4		7	17
16	2	3	4	10	23	13	2	2	5	8	20			

Erst planen – dann tauchen !

Oberflächenpause (h:min)

Wiederholungsgruppe	G	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	12:00	36h
G	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	12:00	36h	
F	0:30	1:00	1:30	2:15	3:00	3:45	4:30	5:30	6:30	10:00	30h	
E			0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	8:00	24h	
D					0:30	0:45	1:00	1:30	2:00	6:00	18h	
C							0:10	0:20	0:30	4:00	12h	
B								0:10	0:20	2:00	6h	



Tiefe des Wiederholungstaugangs (m)	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
12	66	60	54	47	41	35	30	25	20									
15	52	47	42	37	32	27	23	19	16									
18	43	39	34	30	26	22	19	16	13									
21	36	33	29	26	22	19	16	13	11									
24	31	28	25	22	19	16	14	12	10									
27	27	25	22	19	17	14	12	10	8									
30	24	22	20	17	15	13	11	9	8									
33	22	20	18	16	14	12	10	8	7									
36	20	18	16	14	12	11	9	7	6									
39	18	17	15	13	11	10	8	7	6									
42	17	15	14	12	10	9	8	6	5									
45	16	14	13	11	10	8	7	6	5									
48	15	13	12	10	9	8	6	5	4									
51	14	12	11	10	8	7	6	5	4									
54	13	12	10	9	8	7	6	5	4									
57	12	11	10	9	7	6	5	5	4									
60	11	10	9	8	7	6	5	4	4									
63	11	10	9	8	7	6	5	4	3									

Zeitzuschlag zur Grundzeit (min)

Zeitzuschläge (min)








Hinweis: Die Benutzung der Tabelle hat entsprechend der Betriebsanleitung zu erfolgen!

Lehrbuch für Forschungstaucher

© Peter König, Andreas Lipp Version: Juni 2007

Stichworte zur Benutzung der Tabelle DECO 2000

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Grundzeit \leq Nullzeit: | Austauchen ohne Austauschpausen mit max. 10 m/min |
| 2. | Grundzeit $>$ Nullzeit: | Austauschpausen einhalten |
| 3. | Grundzeit zwischen Tabellenwerten: | längere Zeit |
| 4. | Tiefe zwischen Tabellenwerten: | größere Tiefe |
| 5. | kurze, starke Anstrengung oder sehr kaltes Wasser: | nächsthöhere Zeitstufe |
| 6. | längere, starke Anstrengung: | 50% zur Grundzeit zuschlagen |

Sicherheitsstopp

3 Minuten auf 3 bis 5 Meter Tiefe (auch bei Nullzeittauchgängen)

Wiederholungstauchgänge

- auf der Tabellenrückseite:
Spalte entsprechend Oberflächenpause und Wiederholungsgruppe suchen,
Trennlinie in die passende Spalte der Zeitzuschlagtable folgen
Zeitzuschlag in der Zeile ablesen, die für die Tiefe des geplanten Wiederholungstauchganges zuständig ist.
Zuschlag zur tatsächlichen Grundzeit zuzählen und damit Tabelle Vorderseite benutzen.
- Tiefe des Wiederholungs-Tauchganges zwischen Tabellenwerten:
in Zeitzuschlagtable Zeile mit kleinerer Tiefe verwenden
- Oberflächenpause =
Zeit in der Tabelle für Oberflächenpausen: Spalte links von der Zahl verwenden
- Oberflächenpause \leq kleinste Zeitangabe in der entspr. Zeile der Oberflächenpausen-Tabelle:
Tauchgang gilt als ununterbrochen, Grundzeiten addieren und größte Tauchtiefe ansetzen
- Nach Ende des Wdh.-Tauchganges gilt die Wiederholungsgruppe, die sich für den letzten Tauchgang aus der Tabellenablesung ergibt.

Tauchen und Fliegen

Geflogen werden darf erst nach Ablauf der in der letzten Spalte der Oberflächenpausen-Tabelle unter dem Flugzeugsymbol angegebener Wartezeit.

Zeitstufen der Wiederholungsgruppe G

nur für Notfälle oder als Summe von Grundzeit + Zeitzuschlag

Bei voller Inanspruchnahme dieser Grundzeiten ist das Risiko von Dekompressionskrankheiten erhöht!

Ergänzende Anmerkungen:

Größte Tiefe des Tauchgangs zu Beginn des Tauchgangs.

Ab 10 m Tiefe sollte 6 m/min beim Austauchen nicht überschritten werden.

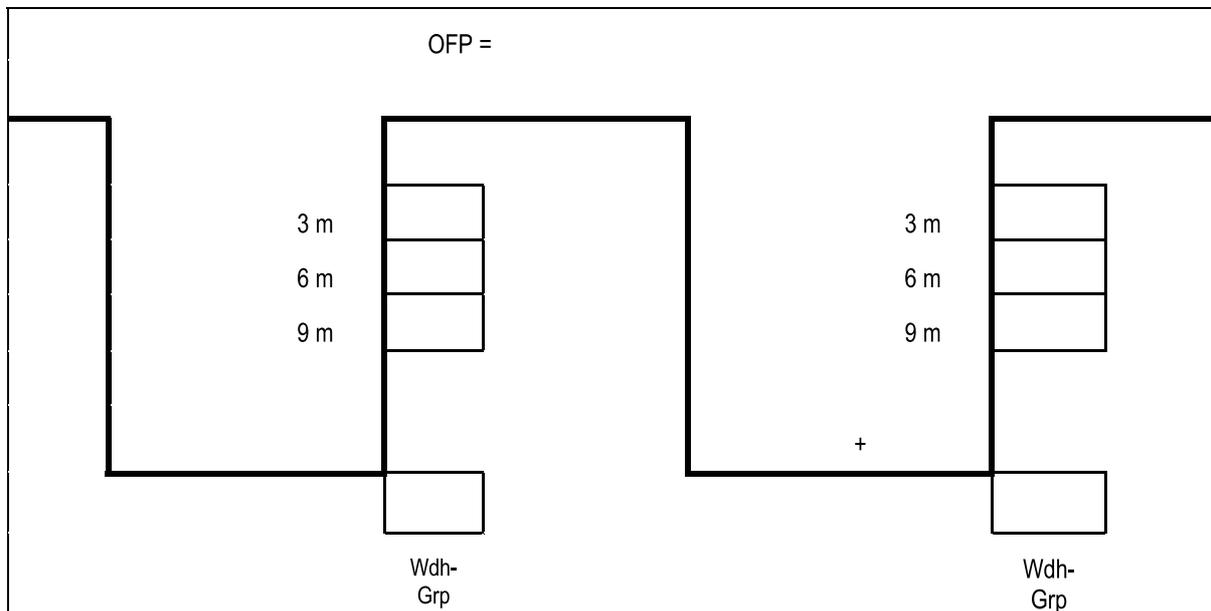
Wiederholungstauchgänge nie tiefer als vorhergehender Tauchgang!

Ein Aufstieg mit 10 m/min ist Austauchen, die Aufstiegszeit ist nicht zur Grundzeit zu addieren.

Wird langsamer als mit 10 m/min aufgestiegen, muss die Aufstiegszeit bis zur 1.Deko-Stufe zur Grundzeit addiert werden.

Aus größeren Tiefen darf bis 25 m rascher aufgestiegen werden, dadurch werden Stickstoffaufnahme und Luftbedarf vermindert.

Abb. 8/1: **Berechnungsdiagramm (Tauchgangsprofil) für die Tauchgangsberechnung unter Verwendung der Austauschabelle DECO 2000**



Beispiel:

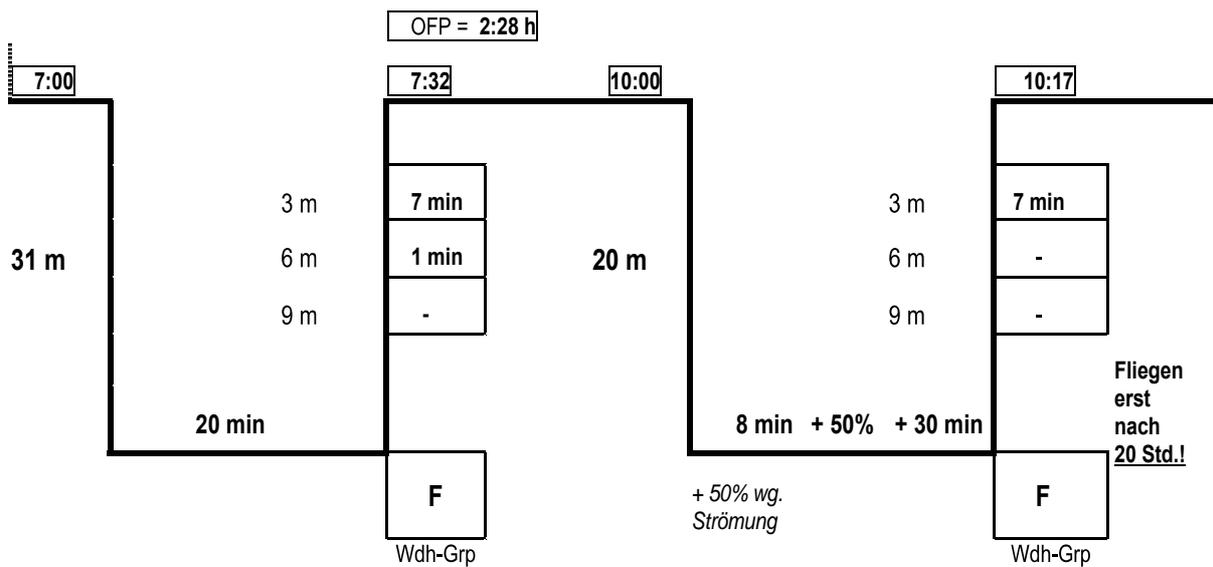
1. Tauchgang:

Beginn: 7:00 Uhr, Tauchtiefe: 31 m, Grundzeit: 20 min, Wassertemperatur: 27 °C, keine Strömung

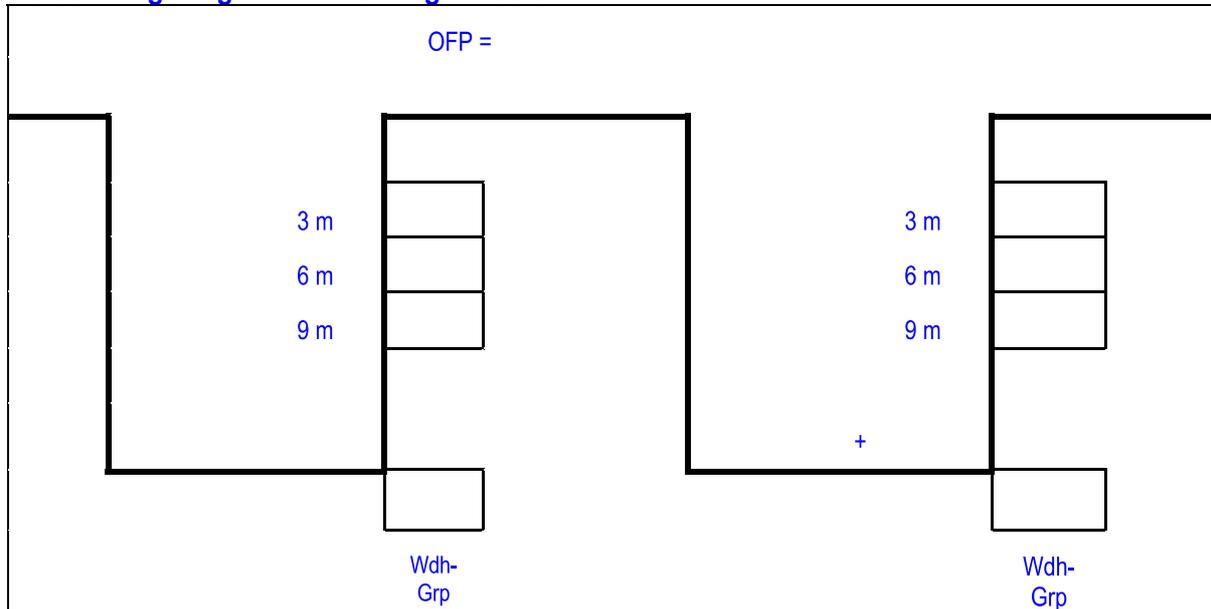
2. Tauchgang:

Beginn: 10:00 Uhr, Tauchtiefe: 20 m, Grundzeit: 8 min, Wassertemperatur: 21 °C
 Tauchgang ständig gegen eine starke Strömung

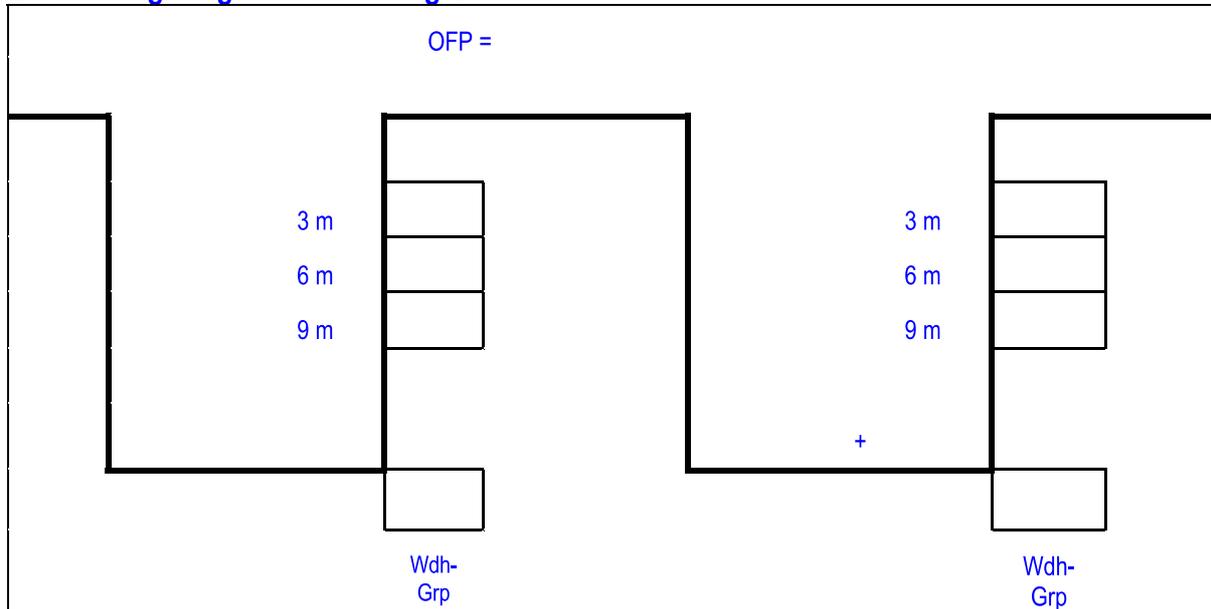
Die Zeit für den Aufstieg wird von der Tauchtiefe bis zur Oberfläche mit 10 m / min gerechnet.



Berechnungsdiagramm für Übungszwecke



Berechnungsdiagramm für Übungszwecke



9. Verletzungen und Vergiftungen durch Meerestiere

9.0 Einleitung

Meerestiere benutzen unterschiedlichste Strategien zur Nahrungsbeschaffung und zur eigenen Verteidigung. So gibt es beispielsweise Tiere, die beißen, stechen, schneiden und/oder nesseln. Die gefährlichsten Tiere leben in den tropischen Meeren. Um als Taucher die eigene Gefährdung durch diese Tiere zu reduzieren, ist ein entsprechend umsichtiges Verhalten unter Wasser unabdingbar notwendig.

Maßnahmen:

- Informationen über örtliche Gefährdungen einholen und sich entsprechend vorsichtig verhalten (keine unnötigen Risiken eingehen), über Maßnahmen der Ersten Hilfe kundig machen
- Tragen ausreichender Schutzkleidung (wie langärmeliger Tauchanzug (in warmen Gewässern z. B. aus dünnem Lycra-Material), Fülllinge mit kräftiger Sohle, ggf. Handschuhe)
- Berühren der Unterwasserwelt möglichst vermeiden, insbesondere.
 - Boden genau ansehen, bevor man sich niederlässt
 - Gegenstände (z. B. Steine), an denen man sich festhalten will, prüfen
 - nicht in dunkle Löcher (Höhlen) greifen
 - Fische weder Berühren noch Füttern, ausreichend Abstand halten
- den Tieren die Fluchtwege nicht versperren
- nicht in Panik geraten und/oder hastig die Flucht ergreifen, wenn ein gefährliches Tier auftaucht.

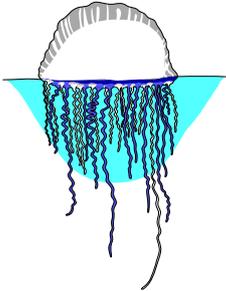
Durch den Verzehr bestimmter Fische kann es ebenfalls zur Schädigung (bis zum Tode) des Menschen kommen. Zu Fischvergiftungen kommt es insbesondere auch den Genuss von an sich ungiftigen Fischen, die bestimmte Algen (Toxine) gefressen haben.

9.1 Nesselgifte

(Staatsquallen, Seewespe, Feuerkorallen, Seeanemonen, u.a.)

Nesseltiere [cnidarians, *Cnidaria*] sind ein Stamm der Hohltiere (coelenterates, *Radiata*, *Coelenterata*). Es handelt sich i.d.R. um marin lebende, solitäre oder stockbildende Hohltiere, die sich durch den Besitz von Nesselkapseln (*Cniden*) auszeichnen. Sie treten in zwei Habitustypen auf: Polyp (festsitzend) und Meduse (freischwebend). Zu den Nesseltieren gehören u.a. Quallen, Korallen und Seeanemonen ("Blumentiere"). Auf einen Berührungszreiz hin wird von diesen Tieren ein langer Nesselfaden ausgeschleudert, an dessen Enden sich giftige Nesselkapselzellen befinden. Sofort nach der Berührung mit der Haut des Tauchers/Schwimmers kommt es zum Auftreten der Symptome. Bei mehrfachen Einstichen kann die Empfindlichkeit ansteigen und es kommt dann zu Überempfindlichkeitsreaktionen. Bei einigen Nesseltierarten (z. B. Seewespe) können die Verletzungen lebensgefährlich sein und der Tod wenige Minuten nach dem Kontakt eintreten.

Staatsquallen [siphonophores, *Siphonophora*]
z. B. die **Portugiesische Galeere oder Seeblase**
[portuguese men-o-war, *Physalia physalis*].



Sie besteht aus einer Kolonie verschiedener Polypen und Medusen und ist weltweit verbreitet. Ihre Fangfäden sind bis zu fünfzig Meter lang und mit einem äußerst starken Nesselgift besetzt. Sie treten regelmäßig in richtigen Schwärmen auf. An der Oberfläche sind sie durch ihre "Luftkissen" erkennbar.

ERSTE HILFE: Tentakelreste mit Meerwasser abspülen, aktive Nesselkapseln etwa 30 Sekunden mit Haushaltssessig abspülen

Schirmquallen [jelly fish, *Scyphozoa*]

Sie besitzen einen schirm- oder glockenförmigen Körper mit einer vierstrahligen Symmetrie.

z.B. **Feuerqualle** [stinging jelly fish, *Chrysaora*], **Haarqualle** [Hair jelly, *Cyanea capillata*]

ERSTE HILFE: Kontaktstellen vorsichtig mit einer Paste aus Backpulver und Wasser bestreichen.

z.B. **Leuchtqualle** [mauve stinger, *Pelagia noctiluca*]

Symptome: sofortiger, stechender Schmerz, evtl. Bildung von Quaddeln und Bläschen auf der betroffenen Hautpartie. Wenn größere Bereiche betroffen sind: Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen und Kreislaufbeschwerden.

ERSTE HILFE: Spülen mit Magnesiumsulfatlösung

Würfelqualle [box jelly fish, *Cubozoa*]

z.B. **Seewespe** [sea wasp, *Chironex fleckeri*]

Auftreten im westlichen Pazifik, hauptsächlich in Queensland und den nördlichen Küsten von Australien.

Symptome: sofort extrem qualvolle Schmerzen, Lungenödem, Bewusstlosigkeit (mit Ertrinkungsgefahr),

Tod (häufig, 1910-1964: 38 Todesfälle in dem Gebiet um Darwin bis Nord-Queensland), Eintritt innerhalb von 10 Minuten durch Atemstillstand und Herzversagen

ERSTE HILFE: Spülen mit **Haushaltssessig**

Seeanemonen [sea anemone, *Actinia*]

Seeanemonen sind solitäre Hohltiere und gehören zur Klasse der Blumentiere. Sie besitzen einen schlauchförmiger Körper mit einer Haftscheibe am unteren Ende. Sie sind sesshaft, können aber im Bedarfsfall den Standort wechseln (kriechend oder mit der Strömung treibend),

Symptome: lokale Hautreizung mit Rötung und Schwellung der Haut, gelegentlich Blasen-

bildung, punktförmige Blutungen, leichtes Prickeln bis Brennen, starker Juckreiz, nicht lebensbedrohend.

Federpolypen, Seemoos [white weed, *Hydroidea*]

Symptome:

Blutunterlaufene Berührungsstellen, Juckreiz, stechender bis brennender Schmerz. Muskelkrämpfe, Gefühllosigkeit und Schwellungen im betroffenen Gebiet, evtl. weiter ausstrahlend. In ernstesten Fällen: Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen, Sprechstörungen, Schüttelfrost, Bewusstlosigkeit.

Nesselgifte, Nesselerletzungen (z. B. portug. Galeere, Seewespe.)

- ① Abgerissene Tentakelstücke evtl. mit Salzwasser abspülen. Nicht reiben oder kratzen!
Wunden nicht mit Frischwasser, Alkohol (Schnaps) oder alkoholhaltige Präparate (wie Aftershave) ausspülen!
Diese Flüssigkeiten aktivieren weitere Zellen und lösen damit die restlichen Kapseln aus.
- ② Inaktivierung (Denaturierung) der Nesselkapseln **artspezifisch**, beispielsweise mit
 - **Magnesiumsulfat**
 - (Wein-) **Essigsäure** (5 %ig) (*Haushaltssessig*), mind. 30 sec. wirken lassen.
 - wässrige Lösung aus 20% Aluminiumsulfat und 11% 'surfactant' (Waschmittel, Spülmittel)
 - ersatzweise auch: Isopropylalkohol (40-70%)
- ③ Trocknen lassen und restliche Kapseln vorsichtig entfernen (abstreifen/abkratzen mit Stock, Messer, etc.; ohne zu Reiben!)
- ④ Behandlung (nach Entfernen der Tentakeln):
 - ggf. Schockbehandlung bzw. -vorbeugung
 - kühlen (Wasser, Eiswürfel, Zwiebelscheiben, feucht und kühlend wirkend)
 - Behandlung wie Brandwunden (antiseptisch)
 - beruhigen
- ⑤ Symptomatische Behandlung: Kalzium, Antihistaminika, Steroidpräparate
- ⑥ Gegen das Gift der Seewespe gibt es ein Antiserum.
(Commonwealth Serum Laboratories, 45 Poplar Road, Parkville, Melbourne, Victoria, Australia, Telex: AA-32789)

zu ②:

Fragwürdige Mittel, die wenig effektiv sind und teilweise gegenteilige Wirkung zeigen (Aktivierung weiterer Zellen), sind (Quelle: U.S. Navy Diving Manual):

Urin, Saft der Papaya (enthält das Enzym Papain), Fleischweichmacher (mit Papain), Abreibungen mit trockenem Sand, Zucker, Salz, Puder, o.ä.

Feuerkorallen [fire corals, *Millepora spp.*]

Die Berührungsstellen sind stark gerötet. Es kommt zu Entzündungen und Blasenbildung. Der Schmerz ist stechend und pochend. Durch mechanische Gewebszerstörung kommt es zu starken Blutungen. Weitere Symptome: Schwellungen, Gefühllosigkeit, Muskelkrämpfe. In ernsten Fällen: Brechreiz, Fieber, Schüttelfrost. Bei Übersensibilisierung: Schockzustand und Kreislaufzusammenbruch (anaphylaktischer Schock).

Die Wunden heilen nur sehr schlecht.

Feuerkorallen

- ① Sofort mit Seewasser spülen (kein Frischwasser, kein Eis, Haut nicht reiben).
- ② Einweichen mit Essigsäure (5 %) bis der Schmerz nachlässt. (Ersatzweise: siehe Nesselgifte unter 2.)
- ③ Antiallergische Salbe (Hydrokortison (0,5-1 %)) zweimal täglich bis die Reizung weg ist.

Feuerschwämme [fire sponge, *Porifera*]

Symptome: lokale Hautreizung mit Entzündung, langanhaltender juckender, brennender Schmerz, allergische Reaktionen.

Feuerschwämme

- ① Einweichen mit Essigsäure (5 %) über 10-15 Minuten. (Dazu z. B. ein Stück Kleidung oder Verbandstoff mit Essigsäure tränken und dann auf die Haut legen.) Ersatzweise Isopropylalkohol (40-70 %) für 5 Minuten. Dann die Haut trocknen.
- ② Durch Anwendung von Klebeband (Pflaster) die Schwammnadeln aus der Haut entfernen.
- ③ Wiederhole 1. für fünf Minuten (Alkohol nur eine Minute).
- ④ Antiallergische Salbe (Hydrokortison (0,5-1 %)) zweimal täglich bis die Reizung weg ist.
- ⑤ In ernsten Fällen Behandlung mit Antihistaminikas.
- ⑥ Bei Infektionen ggf. Antibiotika geben.

9.2 Stichverletzungen

9.2.1 Giftige Tiere

Giftige Fische, die punktartige Wunden verursachen können, findet man weltweit, aber am stärksten sind sie in tropischen Gewässern verbreitet. Im Allgemeinen sind sie nicht aggressiv. Unfälle resultieren daher meist aus unachtsamen Berührungen. Bei den Stacheln handelt es sich meist um reine Verteidigungswaffen.

Kegelschnecken [cone shells, *Conidae*]

Die Kegelschnecken verfügen über einen hochentwickelten Giftapparat um ihre Opfer zu betäuben. Er wird offensiv eingesetzt und nicht zur Verteidigung; diese Tatsache ist vorteilhaft für den Taucher. Vom schmalen Ende ihres Gehäuses aus schleudern sie ein schnellwirkendes Nervengift (ähnlich dem Curare-Gift) mit einem harpunenähnlichen Gebilde auf ihr Opfer. Große Conus-Arten können dabei auch Arbeitshandschuhe durchstoßen. Taucher, die die Schnecken anfassen müssen, sollten dies immer am breiten Ende tun. Nicht alle Kegelschnecken sind für den Taucher gefährlich, aber einige tödlich!



Symptome: Starke Schmerzen (stechend, brennend). Von der Einstichstelle aus verbreitet sich Gefühllosigkeit. Es kommt zu Lähmungen der Gesichtsmuskulatur, der Arme, Beine und zuletzt der Atemmuskulatur. In ernsten Fällen: Kreislaufkollaps, Koma, Tod.

Kegelschnecken

- ① Verletzten hinlegen, Wundposition möglichst tiefer als Herzebene.
- ② Druckverband direkt über den betroffenen Bereich (Stück Bekleidung o.ä.), um den venösen und lymphatischen Abfluss aus dem Gebiet zu reduzieren. Die Blutzirkulation soll aber aufrecht erhalten bleiben. Falls sich keine Symptome zeigen, kann der Verband nach 18-24 Stunden entfernt werden.
(Die Entfernung des Giftes durch Absaugen wird nicht mehr gelehrt!)
- ③ Ggf. Dauer der Giftwirkung überbrücken mit: HLW / 100% Sauerstoff
- ④ Starker Kaffee (Koffein) hält den Kreislauf in Schwung und wirkt als Antagonist gegenüber der lähmenden Giftwirkung. Arzt: Spritzen von Antidote (Weckmittel) zur frühzeitigen Aufhebung von Narkosezuständen.
- ⑤ Gegengifte sind bisher nicht bekannt.
- ⑥ *Evtl. Heißwassermethode (43,3 - 45 °C), darf aber nicht ersetzen. Begrenzte Wirkung zur Inaktivierung des Giftes und zur Schmerzreduzierung.*

Giftige Lederseeigel [poisonous urchins, *Echinoidea*]

Im Gegensatz zu den gemeinen Seeigeln sind die Stacheln oft hohl und enthalten Gifte.

Symptome: Rötung und Schwellung der Einstichstelle, starke ausstrahlende, brennende Schmerzen, Taubheit bis Lähmung des betroffenen Körperteiles, hohes Fieber, Kreislaufbeschwerden, Sprachlosigkeit. In schweren Fällen Atemlähmung, Tod.

Seesterne [starfish, *Asteroidea*]

Die schleimigen Sekrete ihrer Körperoberfläche können, wenn sie über eine Wunde in die Blutbahn gelangen, toxisch wirken. Auch auf den Schleimhäuten der Nase und des Mundes erzeugen sie starke Reizungen.

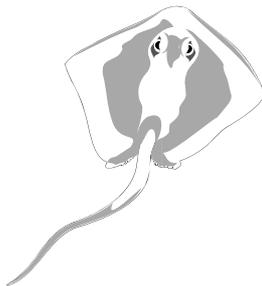
Besonders gefährlich: Dornenkronen [crown of thorns, *Acanthaster planci*]

Borstenwürmer [bristle worm, *Polychaeta*]

(Borsten teilweise giftig)

Die langen dünnen Borsten (der räuberischen Arten) brechen leicht ab. Sie dringen tief in die Haut ein, wobei zusätzlich Giftstoffe in die Haut gelangen.

Starke Entzündungen, heftige Schmerzen, Brennen und langanhaltender Juckreiz, die betroffenen Stelle wird taub, große Infektionsgefahr.

Stachelrochen, Stechrochen [stingray, *Trygonidae-Dasyatidae*]

haben einen oder mehrere mit Widerhaken versehene spitze Stachel (giftig) am Ende eines elastischen Schwanzes, mit dem sie gegen jene schlagen, von denen sie sich bedroht fühlen.

Symptome: sehr starke, pochende bis brennende Schmerzen, die von der Einstichstelle auf die betroffene Extremität ausstrahlen. Durchfall, Übelkeit, Schweißausbrüche, Angst, Schock.

Stachelrochen

- ① Wunde gründlich mit Frischwasser reinigen (Meerwasser nur im Notfall).
- ② Wunde für 30 bis 90 Minuten in 43,3 bis 45 °C heißes Wasser halten um den Schmerz zu reduzieren. Ggf. wiederholen.
Schmerzmittel.
- ③ Alle sichtbaren Stachelreste entfernen.
- ④ Bei Infektion: Antibiotika.

Adlerrochen [eagle rays, *Myliobatis aquila*]

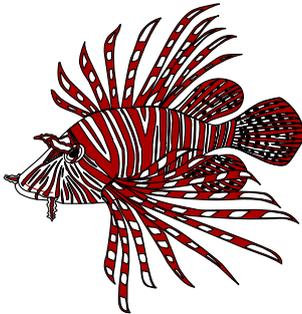
An der Basis des langen peitschenförmigen Schwanzes befinden sich 1-2 gesägte Giftstacheln. Adlerrochen können tiefe, stark blutende Wunden reißen.

Symptome: Schmerzhaft tiefe Wunden. Umgebung der Wunde färbt sich aschgrau-blaurot und schwillt stark an. Schweißausbrüche, starker Blutdruckabfall, Erbrechen.

Skorpionsfische [scorpionfish, *Scorpaenidae*]

Zu der Familie der Skorpionsfische gehören die Drachenköpfe, die Feuerfische, die Steinfische und die Teufelsfische. Drachenköpfe und Steinfische sind gut getarnte, sehr träge Bodenfische ("schwimmfaul").

Der vordere stachelstrahlige Teil der Rückenflosse (mit Giftdrüsen an der Basis der Flossenstrahlen) ist meist durch eine deutliche Einkerbung von dem nur kurzen, gliederstrahligen Teil getrennt.

**Rotfeuerfisch** [lionfish, *Pterois volitans*]

Bei Gefahr schwimmt der Rotfeuerfisch mit weit gespreizten Flossen auf seinen Gegner zu und versucht ihn zu rammen. Insbesondere in den langen Stacheln der Rückenflosse befindet sich ein sehr starkes Gift, ähnlich dem der Kobra.

Symptome: brennender Schmerz im Bereich der Einstichstelle, starke Schwellungen, unerträgliche Schmerzen. In ernsten Fällen: Atembeschwerden, Kreislaufkollaps, Ohnmacht, Todesfälle selten.

Steinfisch [stonefish, *Synanceja*]:

Der Steinfisch besitzt das stärkste bekannte, tödlich wirkende Fischgift. Es handelt sich um ein nicht stabiles Protein (Myotoxin) mit einem PH-Wert von 6. Es wird sowohl durch Hitze (2 Minuten bei 50 °C) als auch durch Laugen bzw. Säuren mit PH-Werten größer 9 oder PH-Werten kleiner 4 zerstört. Das lebensgefährliche Gift befindet sich in 13 dorsalen Flossenstrahlen sowie in 3 Analflossenstrahlen und 2 Bauchflossenstrahlen. Die Giftstacheln können selbst Badeschuhe durchstechen. Aufgrund seiner absolut perfekten Tarnung (teilweise ist er mit Algen bewachsen) wird er in seiner Umwelt kaum erkannt.

Die direkte Umgebung der Wunde wird blau, umgeben von einem roten Ring. Das betroffene Glied schwillt sehr stark an und wird heiß. Weitere Symptome: Atemlähmung, Herzversagen. Der Schmerz tritt sofort auf und nimmt über die ersten zehn Minuten oder länger stark zu. Da er nicht auszuhalten ist, führt er zur Bewusstlosigkeit. Geschieht dies unter Wasser besteht die Gefahr des Ertrinkens mit Todesfolge. 30% der bekannten Unfälle verliefen tödlich.

Steinfisch

Es gibt ein ANTISERUM von CSL (Commonwealth Serum Laboratories, Australien), welches auch gegen die Gifte der Rotfeuerfische wirksam sein soll. Injektion muss innerhalb der ersten halben Stunde erfolgen.

Dieses Antiserum muss lichtgeschützt bei 0 - 5 °C gelagert werden und darf nicht gefroren werden. Es ist extrem teuer.

Achtung: Gefährlich bei Allergikern (Pferdeserumallergie).

Petermännchen [weever, *Trachinus*]

Dieser Fisch gehört zu den Drachenfischen [*Trachinidae*]. Die vordere seiner zwei Rückenflossen wird von 5-7 giftführenden Stacheln gebildet, die sich bei Gefahr aufrichten. Auch der nach hinten gerichtete Kiemendeckeldorn enthält einen Giftapparat. Das Gift ist ein Eiweißgift, das auf das Nervensystem und auf das Blut wirkt.

Symptome: Stichwunde, extremer, scharfer brennend-stechender Schmerz, ohne Behandlung dauert er über mehrere Stunden bis zu mehreren Tagen an, ödemartige Schwellungen (ohne Behandlung über Tage bis Wochen), Tendenz zu Ohnmacht, Herzklopfen, Fieber mit Schüttelfrost, Phantasien, Erbrechen, Kopfschmerzen, Krämpfe und Atemlähmung, Tod möglich. Über Monate anhaltende Muskelversteifungen am betroffenen Glied sind möglich.

Häufig verschwinden die Symptome auch ohne Behandlung innerhalb von 24 Stunden.

Petermännchen

- ① Heißwassermethode: 30 bis 90 Minuten in 43,3 bis 45 °C heißem Wasser. Wiederholen, falls erneute Schmerzen.
- ② Reinigen und Desinfizieren der Wunde, ggf. Schmerzmittel, Beruhigungsmittel, Antihistaminika.
- ③ Behandlung durch Arzt erforderlich.
- ④ *Antiserum verfügbar in Jugoslawien (???, Information fragwürdig)*

alternativ (Norman, 1966):

Das Glied möglichst nahe der Wunde abbinden, dann mit der Binde in geeistes Wasser tauchen (mind. 5-10 Minuten), dann Binde entfernen und den verletzten Körperteil noch für mind. zwei Stunden im Eiswasser lassen.

Giftige Fische (Eiweißverbindungen) - Heißwassermethode

Da bei 55 °C alle Eiweiße denaturiert (zerstört) werden, wurde in der Vergangenheit eine Wärmebehandlung bei Verletzungen durch giftige Fische (Gifte = Eiweißverbindungen) empfohlen. Dabei wurde die verletzte Stelle für 30 min in 60 °C heißes Wasser gehalten um die Eiweißgifte zu zerstören.

aber: Die Anwendung von heißem Wasser (> 60 °C) wird heutzutage nicht mehr empfohlen, da der Patient dann meist anschließend in eine Brandverletztenstation eingeliefert werden muss!

Ergänzend zur Hauptbehandlung kann aber eine reduzierte Heißwasserbehandlung mit Temperaturen von 43,3 - 45 °C angewendet werden. Sie hat eine begrenzte Wirkung zur Inaktivierung des Giftes und zur Schmerzreduzierung. Zur Behandlung wird die verletzte Extremität in warmes Wasser gehalten und dann solange heißes Wasser zugefügt, wie es der Betroffene noch aushalten kann. Brandverletzungen dürfen dabei nicht verursacht werden.

9.2.2 Nicht giftige Tiere

Gemeine Seeigel [sea urchin, *Echinoidea*]

Stacheln mit Widerhaken, dringen tief unter die Haut ein, sind schwer zu entfernen und sie zerbrechen sehr leicht.

Seeigelstachel

Dickere Stachel mit Pinzette oder Kanüle entfernen. Wunden desinfizieren!

Alternativ:

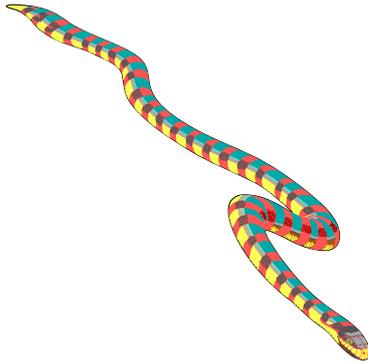
- a. Leukoplast 24 Stunden drauflassen (über Nacht), dann (morgens) ruckartig abziehen
- b. Wachs, kaltwerden lassen
- c. mit Pflanzenöl einweichen und nach 24 h (am nächsten Tag) mit Pinzette arbeiten
- d. Chirurgie

Wenn ein Seeigelstachel in eine Gelenkkapsel eingedrungen ist, besteht die Gefahr einer Gelenkversteifung. In diesen Fällen ist unbedingt ein Arzt aufzusuchen!

9.3 Biss- und Schnittverletzungen durch Meerestiere

9.3.1 Giftige Tiere

Seeschlange [sea snake, *Hydrophiidae*]



Seeschlangen sind wissbegierig, manchmal aggressiv. Durch sich schnell bewegende Gegenstände (z. B., wenn ein Taucher durch ein Boot geschleppt wird) werden sie angezogen.

Ihr Gift ist 2-10 mal giftiger als das der Cobra, aber in der abgegebenen Menge meist weniger: Die Menge ist aber bei einigen Arten ausreichend um drei Menschen zu töten. Aber nur etwa 25% der Gebissenen zeigen Symptome. Bei dem Gift handelt es sich um ein hitzebeständiges, nicht enzymatisches Protein. Es blockiert die neuro-muskuläre Leitung durch Wirkung auf die "postsynaptic membrane" und beeinflusst die Steuerung der motorischen Nerven (Muskelgift). Die Muskeln werden erst gelähmt und dann zerstört. An der Bissstelle direkt finden sich keine Symptome (keine lokalen Erscheinungen), da

es sich um ein Muskelgift handelt.

Die Symptome der Vergiftung treten verzögert auf, meist nach 30 bis 90 Minuten (bis zu 24 Stunden).

Der klinische Befund zeigt meist vier punktförmige Stichwunden (manchmal auch 1-20). Die Zähne bleiben in der Wunde.

Symptome:

1. Psychologische Reaktionen wie Euphorie (selten), Angst, Unruhe
2. Zunge fühlt sich dick an
3. trockener Rachen (Durst), manchmal Entwicklung von Übelkeit, Brechreiz und Erbrechen, allgemeine Starrheit und Schmerzen
Typisch ist dunkler (schwarzer) Urin (Harn).
4. Schwächung der Bewegungsfähigkeit bis hin zur Lähmung
(*meist aufsteigender Guillain-Barré Typ*): *Beine etwa 1 Stunde vor dem Körperstamm, dann Arme und Nacken. Andere Manifestation der Lähmung: ausgehend (zentral) vom Einstich, z. B.: Hand 6 Unterarm 6 Arm 6 anderer Arm 6 Körper 6 Beine.*
5. Entwicklung von Sprach- und Schluckschwierigkeiten aufgrund der Lähmung.
6. Beeinträchtigung der Atmung, Tod durch Atemlähmung.

Eintreten des Todes innerhalb weniger Stunden, bis spätestens nach einem Tag, danach ist die Überlebenschance recht groß.

Seeschlange

- ① Druckverband direkt über den betroffenen Bereich (Stück Bekleidung o.ä.), um den venösen und lymphatischen Abfluss aus dem Gebiet zu reduzieren. Die Blutzirkulation soll aber aufrecht erhalten bleiben. Falls sich keine Symptome zeigen, kann der Verband nach 18-24 Stunden entfernt werden.

(Die Entfernung des Giftes durch Absaugen wird nicht mehr gelehrt!

Ausnahme: Innerhalb von fünf Minuten nach Biss Einsatz des "The Extractor" (kommerzielle Absaugvorrichtung.)

- ② ggf. HLW!

- ③ Transport zur Behandlung. Dabei die Schlange zur Identifikation mitnehmen.

- ④ Behandlung:
Entfernen der Abbindung, Anwendung der üblichen ärztlichen Verfahren.
In ernsten Fällen: ANTISERUM von CSL (Commonwealth Serum Laboratories, Australien).
Achtung: Gefährlich bei Allergikern

Bezug in Deutschland: Info über Behring-Werke AG in Marburg oder das Deutsche Serum-Informationszentrum Wilhelma Zoo in Stuttgart.

Blauring-Oktopus [blue-banded octopus, *Hapalochlaena maculosa*]

Lebt an der australischen Ostküste. Er beißt bei Gefahr, dabei gelangt sein meist tödlich wirkendes Gift in das Opfer.

Symptome: brennende bis prickelnde Wundschmerzen; von der Bissstelle ausgehen Gefühlosigkeit und Lähmung (motorische Störungen), starker Blutdruckabfall, Übelkeit/Erbrechen, Todesfälle durch Atemlähmung möglich.

Blauring-Oktopus

- ① Falls Arm oder Bein betroffen:
Druckverband direkt über den betroffenen Bereich (Stück Bekleidung o.ä.), um den venösen und lymphatischen Abfluss aus dem Gebiet zu reduzieren. Die Blutzirkulation soll aber aufrecht erhalten bleiben. Falls sich keine Symptome zeigen, kann der Verband nach 18-24 Stunden entfernt werden.

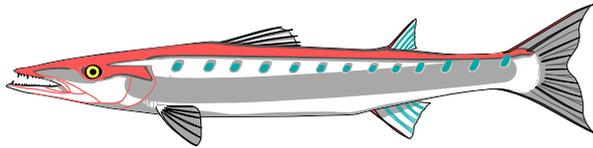
- ② Kein Absaugen!

- ③ Verletzten ins Krankenhaus bringen.
Auf Lähmung der Atemmuskulatur vorbereiten: ggf. künstliche Beatmung

9.3.2 Nicht giftige Tiere

Barrakuda, Pfeilhecht [*barracuda, Sphyraenidae*]

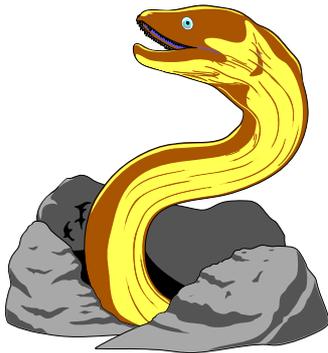
Gelegentlich kann es zu Angriffen durch Barrakudas kommen. Sie werden durch blitzende und blinkende Gegenstände (z. B. Juwelen, Tauchermesser) und bei Nachttauchgängen durch das Licht der Unterwasserlampen angelockt. Auch Faktoren wie trübes Wasser, Aufregung (Tumult)



unter Wasser, unregelmäßige Bewegungen, "Planschen" an der Wasseroberfläche und an einer Leine hängender Fisch steigern das Interesse und die Angriffslust der Tiere.

Meist erfolgen Überraschungsangriffe aus dem Stand, vorher kommt es normalerweise zu mehrfachen Umkreisungen des Opfers. Große, ältere Einzeltiere sind für gewöhnlich gefährlicher als Schwärme junger Barrakudas. In manchen Regionen gelten Barrakudas als angriffslustiger und gefährlicher als Haie, in anderen Gebieten werden sie dagegen als harmlos betrachtet. Im Gegensatz zum Hai wiederholt der Barrakuda seinen Angriff aber nicht. Der Biss des Barrakudas hinterlässt tiefe, klaffende Wunden ohne Rissränder. Die Bissbehandlung (Wundversorgung) erfolgt wie bei Verletzungen durch den Hai.

Muräne [moray eels, *Muraenidae*]



Angriffe durch Muränen sind möglich, erfolgen aber nur selten ohne Provokation (wie Eindringen in ihr Gebiet, Verletzungen z. B. durch eine Harpune). Durch "Anfüttern" werden die Tiere weniger ängstlich, dadurch wird die Angriffswahrscheinlichkeit für "Nahrung" gesteigert. Wenn eine Muräne zugebissen hat, bekommt man sie auch mit extremer Kraftanstrengung kaum los ohne dabei ihre Zähne zu zerbrechen, diese verbleiben dann in der Wunde. Um den Griff zu lockern, muss man die Muräne ablenken oder bewusstlos machen. Eine Ablenkung ist z. B. mit einem Köderfisch möglich, welcher attraktiver als der Arm des Tauchers

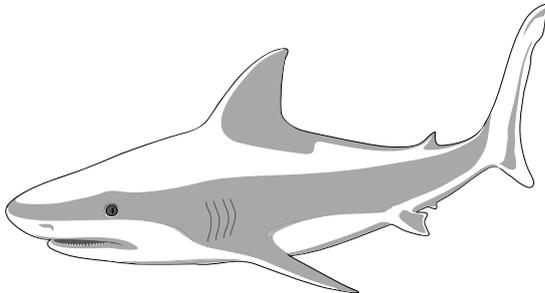
ist. Die Wunde selbst ist meist recht tief und stark blutend.

Muräne

- ① Die Wunde ist sorgfältig zu reinigen und alle Zahnfragmente sind zu entfernen. Zur Desinfektion wird die Wunde mit desinfiziertem (frischen) Wasser (mit oder ohne antiseptische Lösung) gespült.
- ② Die Wunde darf nicht zu eng gepflastert werden, da die Gefahr der Infektion besteht.
- ③ Bei Anzeichen von Infektion: Antibiotika, insbesondere auch bei tiefen Wunden an Hand und Fuß.

Hai [shark, *Selachoidi*]

Für den Menschen gefährlich sind etwa dreißig Haiarten (von 350 Arten); weltweit werden 40-100 Angriffe pro Jahr gemeldet. Eine erhöhte Angriffsgefahr besteht in der Dämmerung, in trübem Wasser und in der Nähe stark befahrener Seefahrtsstraßen. Hastige Bewegungen und Blut steigern ihre Aggressivität. Die Bisse erfolgen meist in die Extremitäten. Tiefe Bisswunden können tödlich sein; der Tod erfolgt dann meist durch den starken Blutverlust. Ebenso gefährlich sind aber auch Berührungen mit der Haihaut, dabei kommt es zu starken Abschürfungen und kräftigen Blutungen.



Als besonders gefährlich gelten:

- Weißer Hai [white shark, white pointer, *Carcharodon carcharias*] (greift ohne Vorwarnung alles an, was sich im Wasser bewegt, Tiefseebewohner, daher selten in Küstennähe)
- Tigerhai [tiger shark, *Galeocerdo cuvier*]
- Blauhai [blue shark, *Prionace glauca*]
- Gemeiner Grundhai [bull shark, *Carcharhinus leucas*]
- Makohai [mako shark]
- Hammerhai [hammerhead shark, *Sphyrnidae*]

Hai

- ① Stoppen der Blutungen (z. B. Druckverband, Abbinden bei Schlagaderverletzung) durch Verwendung jedes verfügbaren Materials ohne Rücksicht auf eine eventuelle Verschmutzung.
- ② Schocklagerung, bzw. ggf. die verletzten Körperteile höher lagern als das Herz. Gabe von Flüssigkeit bzw. Infusion von Blut oder Plasma hat höchste Priorität bis der Schockzustand ausreichend beherrscht wird. Ständige Kontrolle der Vitalfunktionen.
- ③ Schmerzmittel und Antibiotika zur Vermeidung von Sekundärinfektionen.

Doktorfisch [surgeonfish, *Acanthuridae*]

Doktorfische mit kleinem ausklappbaren "Skalpell" vor der Schwanzflosse.

Nashornfisch [unicornfishes, *Nasidae*]

Tiefe klaffende Schnittwunden, Blutverlust, Übelkeit, Entzündungen durch Sekundäreffekte

Seelöwe, Robbe [sea lions, seal, *Pinnepedia*], **See-Elefant** [elephant seal, *Mirounga*]

Die Männchen verteidigen während der Fortpflanzungsphase vehement ihr Territorium (d.h. den Küstenabschnitt, den sie für die Weibchen ihres Harems beanspruchen, einschließlich der angrenzenden Wasserzone), die Weibchen die Neugeborenen (jedoch nur an Land).

(Dr. E. Danulat, pers. Kommunikation)

Die Bissbehandlung (Wundversorgung) erfolgt wie bei Verletzungen durch den Hai.

Drückerfisch [triggerfish, *Balistidae*]

Am gefährlichsten ist der Titan-Drückerfisch. Er ist besonders angriffslustig, wenn er sein Gehege bewacht. Bei Tauchern kann er tiefe Fleischwunden an Armen und Beinen verursachen.

9.4 Elektrische Schläge

Einige Fische sind mit elektrischen Organen ausgestattet, insbesondere bestimmte Arten von Rochen, die Nilhechte aus Afrika, die elektrischen Aale (Zitteraal [*Electrophorus*] und Mormyridae [*Gymnotus*] aus Südamerika (sind keine Aale, sondern eher mit den Characiden und Karpfen verwandt), der elektrische Wels (Süßwasserfisch in Afrika, Zitterwels [*Malapterurus*]) und der nur im Meer lebende Himmelsgucker. Die Stärke und Abfolge möglicher Stromschläge sind je nach Art sehr unterschiedlich (zwischen 4 und 450 Volt).

Für den Taucher wirklich gefährlich ist nur eine Art, der elektrische Rochen (z. B. der **Torpedo- oder Zitterrochen** [torpedo ray, *Torpedinidae*]). Dieser kann Stromschläge bis zu 200 Volt aussteuern. Der Schock reicht aus um einen Taucher einen ernstlichen Schlag zu versetzen bzw. um einen großen Fisch zu töten.

9.5 Quetschungen

**Zehnfüßkrebse** [ten-legged crustaceans, *Decapoda*]

Quetschungen mit starken Blutergüssen, Abtrennung von Fingergliedern ist möglich

Krebse immer von hinten am Rückenschuld anpacken!

Riesenmuschel [gigant clam, *Tridacnidae*], auch als **Mördermuschel** bezeichnet.

Starke Quetschungen, Blutergüsse, Platzwunden.

Einklemmen von Beinen möglich, Rettungsmittel: Brecheisen oder mit Tauchermesser Schließmuskel zerstören.

9.6 Gefährliche Tiere im Süßwasser

Schlangen [snakes, *Ophidia*]

z. B. cottonmouth water snake (giftig), timber rattlesnake

Welse, Waller [catfish, *siluriformes*]

Vorkommen: weltweit im Süß- und im Salzwasser, einige Arten besitzen Giftdrüsen in den Stacheln der Rücken- und Brustflossen. Kein Gegengift.

Die folgenden Tiere sind i.d.R. nicht giftig, können dem Taucher aber gefährliche (teilweise lebensbedrohende) Bissverletzungen (+ ggf. Sekundärinfektionen) zufügen:

Piranyas (auch Piranhas, brasl.-port. Bez.) [piranhas, *Serrasalmus* (?)]

verfügen über in Reihen angeordnete, sehr scharfe Zähne in kräftigen Kiefern.

Greifen bei dichter Besiedlung auch Menschen an, werden durch Blutgeruch angelockt und können ihre Beute in wenigen Minuten skelettieren.

Alligatoren [alligator, *Alligatoridae*]

Schildkröten

z. B. alligator snapping turtle; common snapper; softshell turtle

Schnappschildkröte [snapping turtle, *Chelydra serpentina*]

ist sehr angriffslustig und wird gelegentlich dem Menschen durch Bisse gefährlich.

Hornhecht, Knochenhecht [gar, *Belonidae*]

Bisamratte [muskrat, *Ondatra zibethica*]

9.7 Genussgifte

Seegurke [sea cucumber, *Holothuridae*]

Werden in Asien als Delikatesse unter dem Namen "Trepang" angeboten. Bei unsachgemäßer Zubereitung kommt es durch ein starkes Gift (Holothurin) zu Verdauungsstörungen, Übelkeit, Erbrechen und in ernsten Fällen zu Lähmungen bis zum Tod.

Wenn das Gift in offene Wunden gelangt, kommt es zu brennenden Schmerzen und Entzündungen.

Miesmuschel [mussel, *Mytilidae*], **Auster** [oyster, *Ostreidae*]

Gifte aus Bakterien (insbesondere in fäkalienseuchten Gewässern) und Dinoflagellaten (einzellige Alge) werden durch die Filtrierer aufgenommen und angereichert. In einigen Gewässern (Japan) werden auch Schwermetalle (wie Cadmium und Quecksilber) aus chemischen Abwäs-

sern in bedenklichen Mengen aufgenommen.

Beim Genuss roher Muscheln gelangen pathogene Bakterien in den Magen-Darmtrakt.

Symptome bei Dinoflagellatengiften: Taubheit (beginnend an den Lippen), fortschreitende Lähmung der Gliedmaße, Tod durch Atemlähmung.

Symptome bei Bakteriengiften: Magen- und Leibschmerzen, starker Durchfall.

Allergische Symptome: Schwellungen, Hautausschläge, starker Juckreiz, Entzündungen der Augen, trockene Mundschleimhäute.

Stinkende und/oder vor dem Kochen offene Muscheln nicht essen!

Tetrodotoxische Fische:

Kofferrfisch [boxfish, *Ostracion*], **Kugelfisch** [pufferfish, *Tetraodon*], **Igelfisch** [spiny globfish, *Diodontidae*]

Das Gift Tetrodotoxin ist eines der stärksten Nicht-Protein-Gifte. Es wird auch durch Kochen oder Braten nicht zerstört. Nur speziell ausgebildete Köche können diese Fische zubereiten! Es kommt es immer wieder zu Todesfällen.

Symptome: 5-30 Minuten nach dem Genuss des Fisches prickeln die Lippe und die Zunge, dieses Gefühl breitet sich auf andere Körperteile aus. Dann folgen Gefühllosigkeit, Schwäche, Blutdruckabfall, Muskellähmung, Krämpfe und in etwa 60% der Fälle innerhalb von 6 bis 24 Stunden Tod durch Atemlähmung.

Ciguatoxische Fische:

Barrakuda, Roter Schnapper, Stachelmakrele, Doktorfisch, Drückerfische, Muränen, Soldatenfische, Papageifisch, Zackenbarsche, Kaninchenfische, Lippfische, Straßenkehrer, u.a.

Das Gift Ciguatoxin wird von den Fischen nicht selbst produziert, sondern über die Nahrungskette von ihnen aufgenommen und angereichert. Produzenten sind sesshafte einzellige Algen (Dinoflagellaten). Das Gift wird durch Kochen, Braten, Grillen oder Gefrieren nicht zerstört!

Symptome: Innerhalb von 6 Stunden nach dem Genuss des Fisches: Leibschmerzen, Schweißausbrüche, Schwäche und Durchfall. Zittern der Mundwinkel und Taubheit des Gaumens. Ausbreitung der Taubheiten auf die Extremitäten, Umkehr des Kalt-Warm-Empfindens möglich. In schweren Fällen: Atembeschwerden, Lähmung der Atemmuskulatur, Tod durch Atemlähmung möglich (etwa in 1% der Fälle).

Tetrodotoxin, Ciguatoxin

Magenspülung!

Kein Gegenmittel bekannt, daher nur Behandlung der Symptome möglich.
(künstliche Beatmung, HLW)

9.8 Sonstige Verletzungen

In aufgekratzten Wunden (z. B. von Insektenstichen) können sich im Meerwasser lebende Organismen einlagern. Dadurch kann es sehr leicht zur Entwicklung unangenehmer Geschwüre kommen.

9.9 Literatur zu Kapitel 9

Asang-Soergel, R. (1996): Giftige Meerestiere. Bestimmung - Vermeidung - Erste Hilfe. in: Divermaster 1/96.

Auerbach, P.S. (1991): A medical guide to hazardous marine life (2nd ed.). Mosby Year Book, St. Louis, MO, USA.

Ehm, O.F. (2003): Der neue Ehm. Tauchen noch sicherer. Tauchmedizin für Freizeittaucher, Berufstaucher und Ärzte. 9. Auflage, Albert Müller Verlag, Rüschlikon, Zürich.

Eichler, D. (1998): Gefährliche Meerestiere erkennen: Biologie, Gefahren, richtiges Verhalten, Erste Hilfe. BLV Verlagsgesellschaft, München.

Habermehl, G. (1994): Gift-Tiere und ihre Waffen (5.Aufl.). Berlin, Springer Verlag.

Hartmann, 1988, 1991, 1993, 1995, 1997: Verletzung durch gefährliche Meerestiere. Eigene Seminarnotizen, VDTL-Medizin-Seminar, Lübeck.

Mebs, D. (1989): Gifte im Riff. Wiss. Verl.-Ges., Stuttgart.

Norman, J.R. (1966): Die Fische. Eine Naturgeschichte. (Originalausgabe: A History of Fishes, 1963). Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 458 Seiten.

Schmid, P. (1985): Gefahr erkannt - Gefahr gebannt! Mit über 100 Tipps für Ihre Sicherheit am Meer. Verlag S. Naglschmid, Stuttgart.

United States, National Oceanic and Atmospheric Administration. Manned Undersea Science and Technology Office. (2001): NOAA Diving manual. Kap. 19.

U. S. Navy Diving Manual, Volume 1 (Air Diving), Rev. 3, February 1993 (incl. all changes to July 1996)

9.10. Ausgewählte Giftnotzentren (Stand: 02.07.2007)

Giftinformationszentrum Nord

der Länder Bremen, **Hamburg**, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (**GIZ-Nord**)

Pharmakol. und toxikol. Zentrum der Universität Göttingen
Robert-Koch-Str. 40, D-37075 **Göttingen**

Tel.: 0551 / 19 240 (24 Std.- Dienst)

Fax: 0551 / 383 18 81

Telefon für medizinisches Fachpersonal : **0551 / 38 31 80**

<http://www.giz-nord.de/php/>

Giftnotruf Berlin

Telefon: (030) 19 240 (Tag und Nacht)

Telefonische ärztliche Hilfe rund um die Uhr

C/o Institut für Toxikologie
Oranienburger Str. 285
13437 Berlin
Tel. 030 / 30686 - 711
Fax 030 / 30686 - 721
E-Mail: mail@giftnotruf.de

Während der Durchführung der richtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen bei einem Vergiftungsunfall sollte eine andere Person bereits **einen Arzt oder das Giftinformationszentrum anrufen**. Nicht ohne Rücksprache Erbrechen auslösen!

Bitte machen Sie folgende Angaben:

- **Wer hat sich vergiftet?**
- **Womit trat die Vergiftung ein?**
- **Wie viel wurde aufgenommen?**
- **Wann ereignete sich die Vergiftung?**
- **Welche Erscheinungen sind aufgetreten?**
- **Was wurde bereits unternommen?**

10. TAUCHERDIENST (THEORIE)

10.1. Tauchen unter erschwerten Bedingungen

10.1.1. Tauchen bei ungünstigen Wetterlagen (Schlechtwetter)

Forschungstauchereinsätze sind nicht zulässig
bei Windgeschwindigkeiten $> 11 \text{ m s}^{-1}$ (Windstärke 6)

Forschungstauchereinsätze sind nicht zulässig
bei Gewitter

Gewitter kündigen sich meist bereits im Vorwege durch eine ausgeprägte Wolkenbildung deutlich an. Haufenwolken, meist ambossförmig, reichen bis in große Höhen hinauf (bis zu 11 km). In ihnen steigt warme, feuchte Luft auf und kühl dabei stark ab. Gewitterfronten können sich mit bis 60 km/Stunde bewegen und befinden sich damit in einer Zeitskala ähnlich der eines Tauchganges. Gewitterbeobachtungen, wenn auch in scheinbar noch großer Entfernung, sind ebenso wie Gewittermeldungen bzw. Unwetterwarnungen im Rundfunk sehr ernst zu nehmen. Tauchgänge sind dann nicht mehr erlaubt. Auch nach Durchzug eines Gewitters sollte man mindestens eine Stunde warten, bevor man ins Wasser geht.



Die größte Gefahr bei Gewittern geht von Blitzen aus. Damit handelt es sich um elektrische Entladungen atmosphärischen Ursprungs zwischen Wolke und Erde. Es kommt dabei zu Entladungsströmen von bis zu 100.000 A und zur Entstehung von Temperaturen von bis zu 300.000 °C. Es werden durchschnittlich Energiemengen freigesetzt, die etwa 30 kg TNT entsprechen.

An Land findet man in einem Auto (*Faradaykäfig*) eine gute Zuflucht. Ist dies nicht möglich, sollte man möglichst eng zusammengekauert in einer Bodensenke Zuflucht suchen. Von einzelnen Bäumen, Strommasten und hohen Gebäuden ist Abstand zu halten.

Wird man trotz aller Vorsicht von einem Gewitter im Wasser überrascht, ist die Gefährdung an der Wasseroberfläche am größten. Metallene Ausrüstungsteile, die aus dem Wasser ragen, wirken wie ein "Blitzableiter". Aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit führt Meerwasser (*Salzwasser*) Blitzstrom besser ab als normaler Erdboden. Der Potentialtrichter ist damit kleiner als an Land. Es kommt aber beim Blitzeinschlag ins Wasser zu einer explosionsartigen Wasserverdampfung und damit zu einer starken Druckwelle entsprechend einer Sprengstoffexplosion unter Wasser. Folge ist bei den betroffenen Tauchern die Gefahr schwerer Barotraumata.

**Forschungstauchereinsätze sind nicht zulässig
bei **Nebel****

Nebel kann sich während eines Tauchganges unbemerkt bilden und wird dann erst am Ende des Tauchganges wahrgenommen. Insbesondere an der Ostseeküsten sollte ein Taucher darauf vorbereitet sein und deshalb immer einen Kompass mit sich führen. Ansonsten ist eine Rückkehr ans Ufer aufgrund mangelnder Orientierung unter Umständen nicht möglich.

10.1.2. Tauchen bei Strömung

Strömungen haben unterschiedliche Ursachen und Erscheinungsformen:

Gezeitenströme

Die Gezeiten (Ebbe und Flut) werden durch die Anziehungskräfte zwischen Mond und Erde, zwischen Sonne und Erde und durch die Zentrifugalkräfte (Rotation von Erde und Mond um den gemeinsamen Schwerpunkt *nahe der Erdachse*) verursacht. Je nach Stellung der Himmelskörper zu einander, kommt es periodisch zu unterschiedlich stark ausgeprägten Änderungen der Wasserstände. Die resultierenden Strömungen werden als Gezeitenströme bezeichnet. In der Nordsee (auch in der Deutschen Bucht) können Geschwindigkeiten von 1 m s^{-1} überschritten werden, in der Ostsee sind die Gezeitenströme deutlich geringer und in vielen Gebieten für Taucher unbedeutend. Während der Extreme der Wasserstände (Hoch- und Niedrigwasser) sind die Gezeitenströme am geringsten, teilweise kommen sie zum Stillstand. In Gebieten mit starken Gezeitenströmen (z.B. Deutsche Bucht) kann ohne Stromschutz meist nur während des Wechsels von Flut- zum Ebbstrom bzw. vom Ebb- zum Flutstrom getaucht werden. Dieser meist kurze Zeitraum um den "Kenterpunkt" wird als "Kenterzeit" bezeichnet. Wenn sich Erde, Mond und Sonne auf einer Achse befinden, addieren sich die Anziehungskräfte von Mond und Sonne. Diese durch extreme Hoch- und Niedrigwasser gekennzeichnete Phase heißt "Springtide", die Gezeitenströme sind dann besonders stark. Wirken die Kräfte von Mond und Sonne in bezug auf die Erde senkrecht zueinander, ist die resultierende Kraft minimal und damit sind auch die Gezeitenströme am geringsten. Diese Phase wird als "Nipptide" bezeichnet. Die Zeit, die zwischen Spring- und Nipptide vergeht, beträgt im Durchschnitt etwa 14,77 Tage.

Wetterabhängige Strömungen

In Abhängigkeit von Windstärke, Windrichtung und Wirkdauer kommt es nahe der Wasseroberfläche zur Ausbildung einer Strömung. Aufgrund der Wirkung der Corioliskraft wird sie auf der Nordhalbkugel um 45° nach rechts zur Richtung, wohin der Wind weht, abgelenkt. Wenn der Wind kräftig über einen längeren Zeitraum aus einer konstanten Richtung bläst, kann diese Strömung für Taucher bedeutsame Geschwindigkeiten erreichen. Auflandige Winde verursachen vor der Küste einen Wasserstau. Lässt der Wind nach oder ändert er deutlich seine Richtung, wird durch das abfließende Wasser eine ablandige Strömung verursacht.

In großen Meeresbecken, wie z.B. der Ostsee, kann es dann zur Ausbildung von Eigenschwingungen kommen.

Wellen (Seegang)

oszillierend, Brandungszone, Seekrankheit

Strömung vor, zwischen und hinter Unterwasserhindernissen

Vor Unterwasserhindernissen, wie z.B. Riffe, Wracks, Bühnen, kommt zu einem Stau des Wassers (Überdruckzone) und zu einer Beruhigung der Strömung. Auch im Strömungsschatten hinter dem Hindernis (Unterdruckzone) findet sich ruhiges Wasser. Dagegen wird das Wasser an den Seiten und oberhalb des Hindernisses beschleunigt und kann dabei so starke Strömungsgeschwindigkeiten erreichen, das ein Tauchereinsatz nicht mehr möglich ist. Auch die Ausbildung gefährlicher Wirbel ist dann möglich.

In engen Kanälen (z.B. Atollkanal) können ebenfalls starke Strömungen auftreten, die nach der Verengung eine Sogwirkung auf das umgebende Wasser ausüben, ähnlich der Injektorwirkung bei einigen Atemreglern. Auf den Malediven treten am Ende von Atollkanälen häufig auch abwärtsgerichtete Strömungen auf.

Verhalten beim Tauchen in Strömung

Tauchereinsätze sind so zu planen, dass die Taucher ohne übermäßige Kraftanstrengung zum Ausgangspunkt (Boot) zurückkehren können. Dies wird normalerweise dadurch erreicht, dass zu Beginn des Tauchganges gegen die Strömung getaucht wird. Die Rückkehr kann dann unter Ausnutzung der Strömung erfolgen. Ist dieses Verfahren nicht praktikabel, können bei starker Strömung "Drifftauchgänge" durchgeführt werden. Dabei lässt sich die Tauchergruppe mit der Strömung treiben und wird am Ende des Tauchganges von einem Boot aufgenommen oder sie wandert am Ufer zum Ausgangspunkt zurück. Damit der Bootsführer (Einsatzleiter) jederzeit die Position der Tauchergruppe kennt, ist bei Strömungstauchgängen die Kennzeichnung der Tauchergruppe durch eine Taucherboje an der Oberfläche unerlässlich.

Zur Ausrüstung bei Strömungstauchgängen gehört für jeden Taucher ein zweiter Lungenautomat (Oktopus), möglichst mit längerem Mitteldruckschlauch (80 cm), um eine möglicherweise notwendige Wechselatmung zu vereinfachen. Mit der Verwendung einer Vollgesichtsmaske wird einem Verlieren der Maske aufgrund starker Anströmung vorgebeugt. Da die Strömung auch auf die Einatemmembran und Luftdusche des Lungenautomaten drückt, sind Atemregler mit seitwärts angeordneter Einatemmembran (Steuermembran) bei Strömungstauchgängen zweckmäßig.

Tauchboote sollten neben einer ausreichenden Anzahl von Halteleinen eine etwa 30 - 50 m lange Strömungsleine (schwimmfähig) ausbringen, deren Ende mit einer Boje gekennzeichnet wird. Taucher, die beim Austauchen das Boot verpassen, können sich dann längs einer solchen Leine gegen die Strömung zum Boot vorziehen. Verankerte Tauchboote sollten überdies ein einsatzbereites Beiboot bereithalten, damit abgetriebene Tauchergruppen schnell eingesammelt werden können.

Aufstiegsübungen zur Erlangung von Sporttauchscheinen ohne ständigen Blickkontakt zum Boden oder zum verankerten Boot sind zu unterlassen, da die Abdrift während der Aufstiegszeit im freien Wasser nicht abgeschätzt werden kann.

**Forschungstauchereinsätze sind nicht zulässig
bei Strömungsgeschwindigkeiten des Wassers $> 1,0 \text{ m s}^{-1}$**

10.1.3. Tauchen bei Nacht

Tauchgänge bei Nacht sind Tauchereinsätze unter erschwerten Bedingungen. Es werden erhöhte Anforderungen an jeden einzelnen Taucher, die Tauchergruppe, deren Ausrüstung und an die Tauchstelle gestellt. Der Taucher muss eine gute Sehfähigkeit auch im Dunkeln besitzen, d.h. er darf nicht "nachtblind" sein.

Die Augen des Menschen können sich nicht unverzüglich auf das Sehen im Dunkeln umstellen, sondern benötigen einige Zeit um sich den veränderten Lichtverhältnissen anzupassen. Bei der Adaption kommt es zu drei Veränderungen:

- das Auge wird sensitiver auf die geringe Beleuchtung, d.h. mit zunehmender Anpassung erscheinen die Gegenstände heller
- es erfolgt eine Umschaltung vom Tagessehen (Farbe) auf Nachtsehen (keine Farbe)
- die Fähigkeit kleine Details zu sehen/zu lesen vermindert sich.

Die Hauptanpassung des Auges erfolgt in ca. 10 Minuten, die komplette Anpassung braucht etwa 30 Minuten. Durch Tragen von Brillengläsern mit Rotlicht-Filter über einen Zeitraum von 10-15 Minuten vor dem Tauchgang kann man die Augen schon vorher anpassen.

Der das Gesichtsfeld einschränkende Lichtkegel führt dazu, dass man die Unterwasserwelt wesentlich intensiver wahrnimmt. Der Taucher ist konzentrierter und "hört" die Stille der Umgebung erheblich deutlicher als tagsüber, der Tauchgang wird bewusster erlebt.

Zusätzlich zur normalen Ausrüstung sind mitzuführen:

1 Lampe pro Taucher

1 Notlicht pro Taucher (z.B. Leuchtstab)

mindestens 1 Ersatzlampe pro Gruppe

(alle Lampen mit voll aufgeladenen Batterien, Brenndauer deutlich länger als die geplante Einsatzzeit)

evtl. Signallampe, -blitz

Ausrüstung an Land / unter Wasser:

- Ausrüstungsplatz (Umkleidebereich) gut beleuchten

- **Beleuchtung für Ein-/Ausstiegstelle** (z.B. Gaslampe, Leuchtstab, Fackel), die auch aus der Ferne als Markierung erkennbar ist
- evtl. beleuchtete Leine unter Wasser spannen
- Lampenwache einteilen

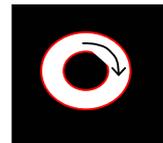
Ausrüstung am Boot:

- allgemein vorgeschriebene **Sichtzeichen** (z.B. Positionslaternen, Ankerlicht)
s.a. ZH 1/532 "Merkblatt: Einsatz und Bezeichnung von Taucherfahrzeugen oder sonstigen Geräten bei Unterwasserarbeiten"
- evtl. **beleuchtete Taucherflagge** (ist in einigen Ländern vorgeschrieben)
- Ankerleine mit **Beleuchtung in 3 m Wassertiefe**, evtl. auch am Anker
- Beleuchtung der Leiter (über und unter Wasser)
- **Notlampe an Bord**
- **Suchscheinwerfer**

Zeichensprache bei Nachttauchgängen von Tauchergruppen:

Als Zeichen unter Wasser empfehlen sich neben den frei vereinbarten Zeichen zwei beim Sporttauchen übliche Lichtsignale:

- | | | |
|-----------------------------|---|--|
| - alles in Ordnung | = | kreisende Bewegung mit der Lampe |
| - irgend etwas stimmt nicht | = | auf und ab mit der Lampe
(nicht nur mit dem Lichtkegel) |



Alle anderen Handzeichen werden im Lichtkegel der Lampe gegeben, den zweiten Taucher - dabei nicht blenden. Es können weitere Signale abgesprochen werden, ein "Zeichenchaos" muss jedoch vermieden werden. Lampen werden während eines Nachttauchganges grundsätzlich nur ausgeschaltet, wenn es die wissenschaftliche Aufgabe erfordert.

Zeichen an der Wasseroberfläche:

Lampen sind an der Wasseroberfläche auszuschalten. Nur zur Orientierung sollten sie nur kurzzeitig (bis zu ca. 10 Sekunden) eingeschaltet werden.

Im **Notfall** kann man mit **schnellen Auf- und Abwärtsbewegungen der Lampe** und Benutzung der **Signalpfeife** Hilfe herbeirufen. Evtl. Blitz/Nikosignalmittel einsetzen.

Tauchgangsvorbereitung:

- Tauchstelle kennzeichnen (Licht, Boje)
- evtl. an der Ausstiegstelle beleuchtete Leine quer zum Ufer auslegen und verankern
- auf dem Schiff das Rundumlicht setzen bzw. bereithalten
- evtl. beleuchtete Taucherflagge anbringen
- am Tauchplatz ggf. vorgeschriebenes Warnlicht setzen
- Unterwasserlicht an der Ankerleine/Haltevorrichtung der Austauschstufe(n) anbringen, Ankerbeleuchtung

- Leiter beleuchten
- Leuchtstäbe an den Flaschenventilen anbringen, (bei mehreren Tauchergruppen unterschiedliche Farben verwenden)
- den Bootsführer/die Lampenwache über die geplante Tauchzeit und die geplante Tauchrichtung informieren und Notsignale vereinbaren

Tauchgangsdurchführung:

Aufgrund des kleinen Lichtkegels hat man bei Nachttauchgängen ein intensiveres Wahrnehmungsvermögen. Leuchtet der Partner in eine andere Richtung, so wird er häufig "unsichtbar" (falls er keinen Leuchtstab am Rücken hat). Meistens ist er dann jedoch zu hören.

10.1.4. Tauchen in Höhlen

In der Zeitschrift TAUCHEN (9/93) wurde berichtet:

Florida 400 Tote / 30 Jahre

Primäre Fehler

1. **TRAINING**
95% der Taucher nicht "zertifiziert" oder "nur" 'open water diver'
2. **Führungsleine**
durchgehende, ununterbrochene Führungsleine vom Freiwasser ausgehend
(Problem: Höhle sieht beim Rückweg "total" anders aus.)
übersehende Verzweigungen, etc.
Änderung der Sichtweite (aufgewirbeltes Sediment, z.B. durch andere Tauchergruppe),
Leine mit Richtungsmarkierung
3. **Luftplanung**
1/3 für Weg hinein, 1/3 für Weg hinaus, 1/3 für Reserve (z.B. Luft für Partner für Rückweg),
2 m langer Oktopus-Schlauch
4. **Tiefe**
≤ 40 m, Tiefenrausch ("geringere Tiefe" kann nicht aufgesucht werden)
Beispiel: Taucher schwimmt im Tiefenrausch zur Leine einer anderen Gruppe und taucht an dieser in die verkehrte Richtung
5. **Licht**
1 Hauptlicht (mind. 20 Watt), Brenndauer > Tauchzeit
2 Reservelampen (hell genug; keine Minilampe)

Übungen:

Auffinden einer verlorenen Leine
Sonder-Handzeichen
Schwimmtechniken
Gebrauch der Leine
ausführliche Luftplanung
Üben von Notfallsituationen

Gefahr:

giftige Gase (CO₂) in Lufttaschen

10.1.5. Tauchen in kaltem Wasser

Tauchereinsätze in kaltem Wasser bedingen bei allen eingesetzten Tauchern gute Gesundheit, überdurchschnittliche Kondition, Abhärtung gegen Kälte und einen guten Ausbildungs- und Leistungsstand.

Als besondere Gefahren sind zu beachten:

- Unterkühlung (Hypothermie), [siehe hierzu Kapitel 6.2.](#)
- Vereisung von Atemregler und Ventil, [siehe hierzu Kapitel 3.11](#)

Tauchgänge sind bei den ersten Anzeichen einer Unterkühlung (Taucher friert und zittert) abubrechen!

Einer Unterkühlung des Tauchers ist vorzubeugen durch Verwendung eines Trockentauchanzuges mit Kopfhaube und Unterziehzeug. Eine warme Umkleidegelegenheit muss vorhanden sein. Um die Gefahren durch eine innere und/oder äußere Vereisung der Tauchgeräte zu vermindern, sind zwei vereisungssichere Atemregler (kaltwassertauglich nach EN 250) an zwei getrennt absperzbaren Flaschenventilabgängen zu verwenden. Die Atemluft muss entsprechend DIN 3188 trocken sein. Tauchgänge mit Austauschzeiten sollten unterbleiben.

10.1.6. Tauchen in Bergseen

Tauchereinsätzen in Bergseen unterliegen erschweren Umweltbedingungen:

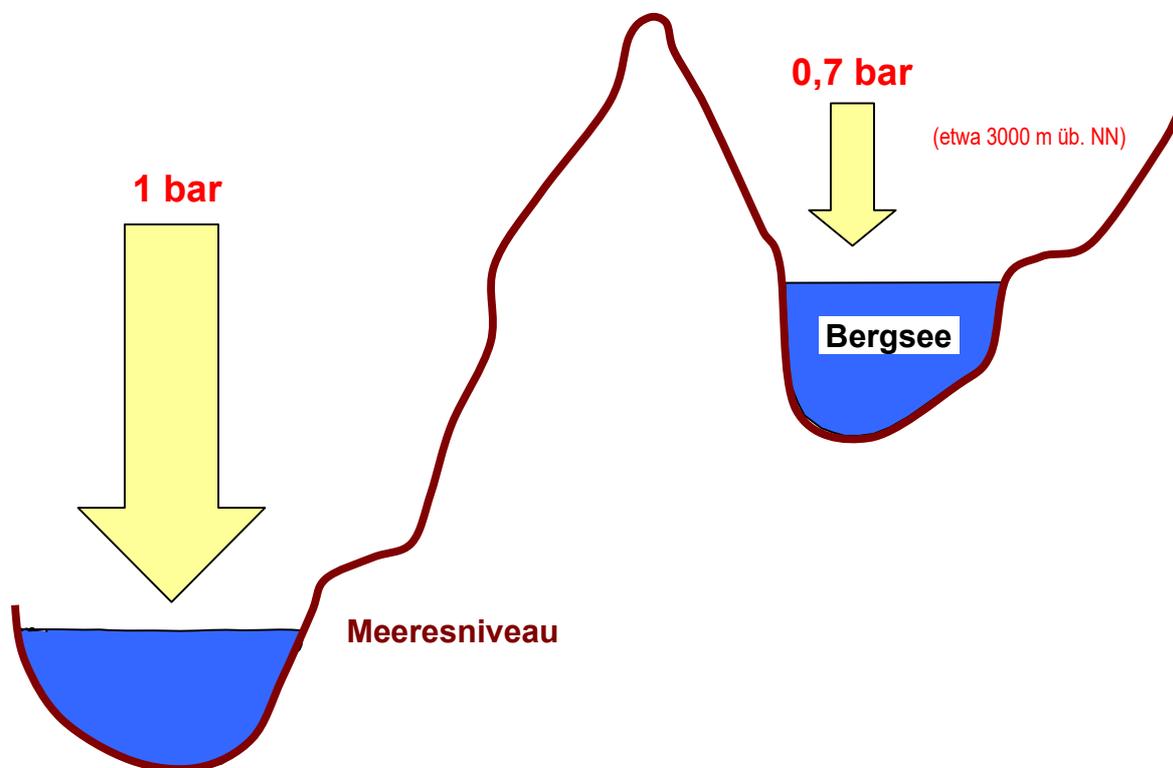
- Geringerer Luftdruck (→ Niedrigere Partialdrücke: N₂, O₂, etc.)
- Sehr niedrige Wassertemperaturen
- Starke Sonneneinstrahlung
- Gefahr des plötzlichen Wetterumschwunges

Vor einem Tauchereinsatz auf Bergseenniveau muss eine **12-stündige Akklimatisation** (besser: 24 Stunden) erfolgen. Damit wird u.a. auch die notwendige N₂-Entsättigung sichergestellt; andernfalls besteht eine erhöhte Tiefenrauschgefahr.

Tauchereinsätze in Bergseen sind sorgfältig zu planen. Die eingesetzten Taucher müssen über gute Kondition, Taucherfahrung, psychische Stabilität und sicheres Orientierungsvermögen verfügen und im Umgang mit der Ausrüstung sicher sein. Tauchgänge mit Haltezeiten auf Austauschstufen und Wiederholungstauchgänge sind zu vermeiden.

Der gegenüber dem Meeresniveau auf Höhe des Bergsees geringere **Luftdruck** wirkt sich entsprechend der geänderten Partialdrücke auf die Sättigungs-/Eliminationsvorgänge sehr stark aus. Tiefenmesser können je nach Bauart falsch anzeigen!

Beispiel



Meeresniveau	Bergsee
p_o (Oberfläche Meeresniveau) = 1 bar $p_1 = 2 \times p_o = 2$ bar Doppelter Druck in <u>10 m Wassertiefe</u> Druck in 10 m Wassertiefe: 2,0 bar	p_o (Oberfläche Bergsee) = 0,7 bar $p_1 = 2 \times p_o = 1,4$ bar Doppelter Druck bereits in <u>7 m Wassertiefe</u> d.h. <u>bereits</u> beim <u>Austauchen</u> von 7 m auf 0 m <u>Verdoppelung des Volumens</u> einer <u>ab-</u> <u>geschlossenen Gasmenge</u> Druck in 10 m Wassertiefe: 1,7 bar

Sporttaucher benutzen spezielle Bergsee-Austauchtabelle (z. B. "DECO 2000 / 701-1500 m üb. NN"), damit entfallen meist die aufwendigen Rechenübungen.

Tauchcomputer sind grundsätzlich bereits über Wasser einzuschalten, damit sie den aktuellen Luftdruck messen und in den Berechnungen berücksichtigen. Bei einigen Computern ist die Aktivierung eines besonderen Bergsee-Modus notwendig (dabei sind die Angaben in der Bedienungsanleitung beachten).

Forschungstaucher verwenden beim Bergseetauchen
 (in Höhen > 300 m über NN bzw. bei Luftdrücken < 970 mbar)
 das in der UVV „Taucherarbeiten“ [BGV C 23 / bisherige VBG 39]
 in der „Anlage 1, Abs. 8“ beschriebene Verfahren (s. u.)!

Bei Luftdrücken unter einem Wert von 970 mbar an der Tauchstelle muss die Austauchzeit um die in der Tabelle 5 [Korrekturtabelle für Tauchgänge in Höhen über 300 m („rechnerische Tauchtiefe“)] angegebenen Werte verlängert werden. Dies ist der Regel bei einer Höhenlage von 300 m über NN der Fall. In Abhängigkeit von wetterbedingten Luftdruckschwankungen kann diese Höhenlage aber auch etwas höher oder niedriger liegen.

Wichtige Begriffe:

- **Wirkliche Tauchtiefe in Metern**
Wird alternativ auch als wahre, tatsächliche oder effektive Tauchtiefe bezeichnet.
- **Rechnerische Tauchtiefe in Metern**
Wird alternativ auch als fiktive Tauchtiefe bezeichnet.

Die Bestimmung der wirklichen Tauchtiefe erfolgt mit einem entsprechend markiertem Grundtau!

Im Bereich des Sporttauchens kann die Tiefenbestimmung auch mit einem Tiefenmesser vom Typ „geschlossenes System“ mit Nullpunktjustierung geschehen. Ein Boyle-Mariottescher Tiefenmesser (offenes System, Kapillartiefenmesser) zeigt dagegen immer die rechnerische Tauchtiefe an!

Berechnung der rechnerischen Tiefe:

1. Bestimmung der tatsächlichen Tauchtiefe (s.o.).
2. Messung des aktuellen Luftdruckes mit Hilfe eines guten, geeichten Barometers oder ersatzweise Ermitteln der Höhe der Taucheinstiegstelle in Meter über NN.
3. Ablesen der rechnerischen Tauchtiefe aus der Tabelle 5 der Vorschrift.
Die rechnerische Tauchtiefe ist der Wert, der im Schnittpunkt der tatsächlichen Tauchtiefe mit der Spalte der Höhenlage bzw. des Luftdrucks liegt.

Beispiel	Tatsächliche Tauchtiefe:	30 m
	Höhenlage der Tauchstelle:	850 m
	Rechnerische Tauchtiefe:	36 m

Der Wert für die rechnerische Tauchtiefe ist die Grundlage für die Ablesung der Aus-tauchzeiten der Tabelle 2 bzw. 3.

10.2. Orientierung beim Tauchen

Definition Orientierung:

(lat. Oriens "Osten") " Ausrichtung nach Himmelsgegenden"
(aus: Der große Brockhaus)

Ziel:

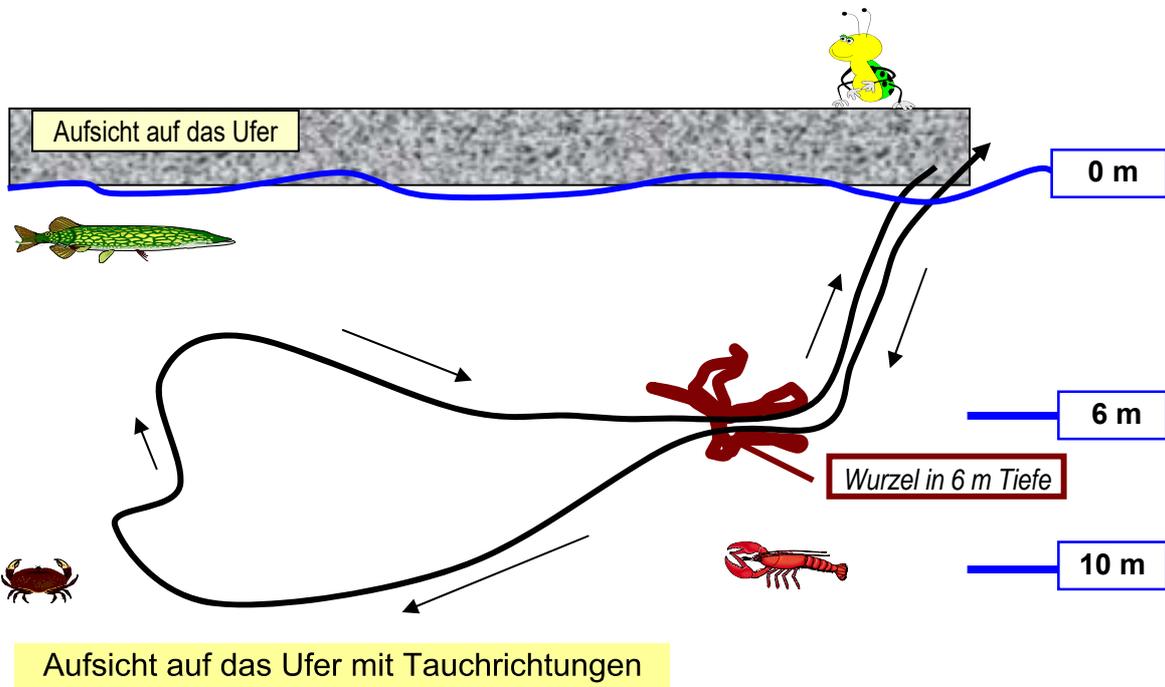
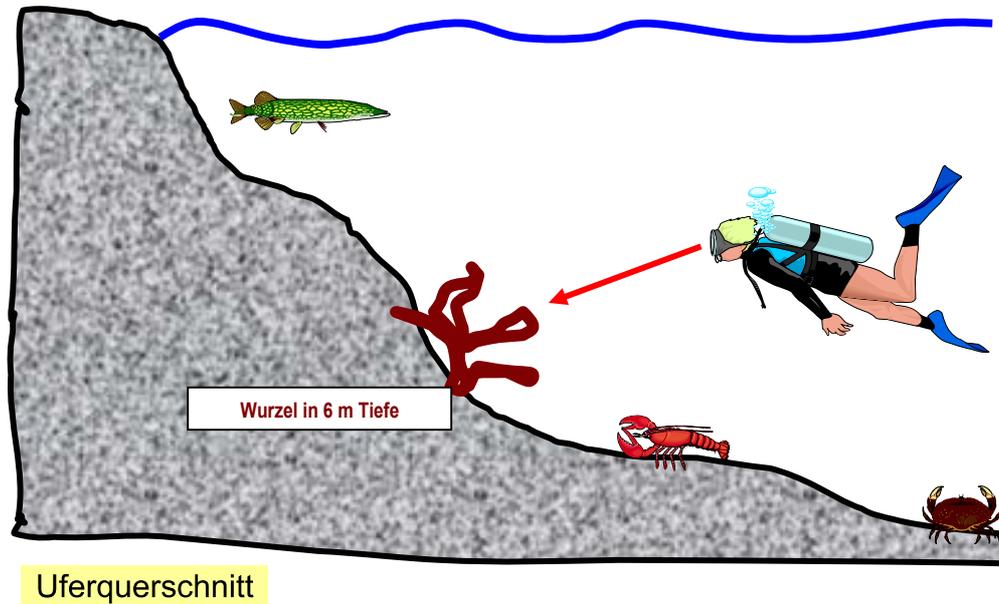
Standort- und Richtungsbestimmung mit verschiedenen Hilfsmitteln, z.B. Kompass, Sonne, Mond, Strömung, Uferbewuchs, -form, Wellenlinien im Sand, Dünung, markante Felsen, Wurzeln, Unrat, Trübung, Schleifspuren vom Anker usw.

Tauchen vom Ufer:

Am Einstieg auf 3 - 10 m abtauchen. Markante Dinge und ihre entsprechende Tiefenlage merken. Tauchgang durchführen.

Auf dem Rückweg in einiger Entfernung (Zeit) von der Einstiegstelle in der gemerkten Tiefe tauchen bis man am markanten Punkt ist, dann am Ufer entlang auf-tauchen.

Markante Dinge können sein: Bäume, Felsen, Unrat, Steine, Ankerblöcke usw. Ist eine Einstiegstelle stark frequentiert, so erkennt man sie u. U. auch an der Sedimentaufwirbelung.

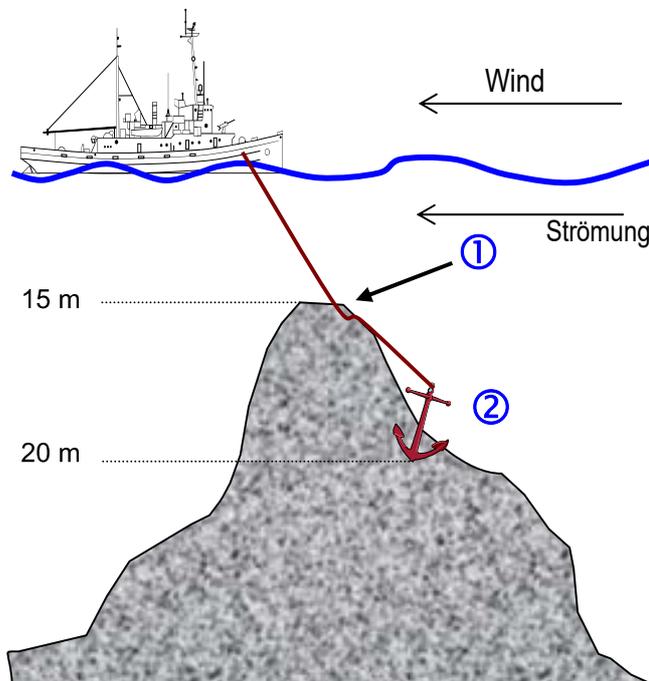


Tauchen vom Boot:

Vor dem Tauchgang Informationen einholen über den Tauchplatz:
 Riffformation, -tiefe, -plateautiefe, Ausrichtung nach der Himmelsrichtung,
 Wrack, -größe, -lage, -zustand, ist es betauchbar, um welches Schiff handelt es sich,
 Ladung, wie wird der Anker liegen, ...

Es gibt folgende Ankermöglichkeiten (in Wind-/Strömungsrichtung):

- 1) Der Anker wird "hinter" das Riff geworfen, das Boot treibt zurück, somit kreuzt das Ankerseil die Riffkante.

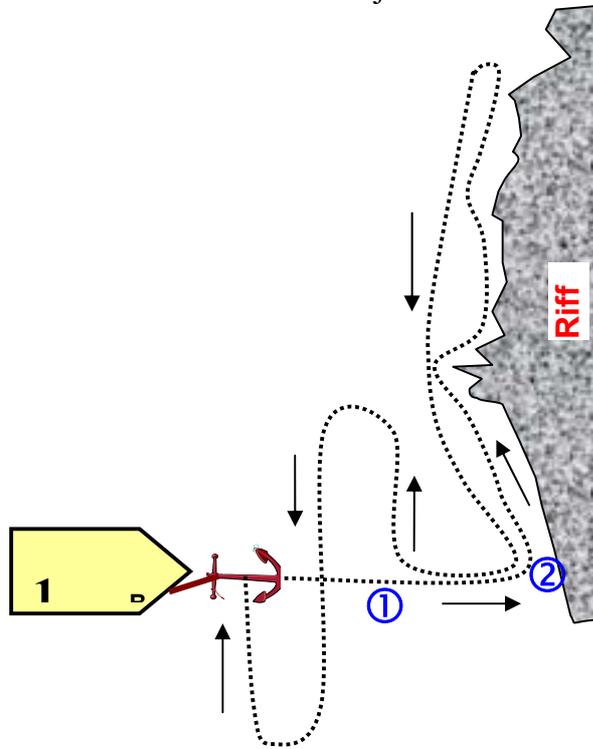


Vor dem Tauchgang beobachtet man die Ankerseilrichtung, evtl. den Sonnenstand.

Nun wird an der Ankerleine abgetaucht. Man merkt sich jeweils die Tiefe, in der das Tau das Riff kreuzt ① und die Tiefe, in der der Anker liegt ②.

Auf dem Rückweg sucht man
 a) entweder die Tiefe auf, in der der Anker liegt ②,
 b) taucht in Höhe der Riffkante ①
 c) oder zwischen diesen beiden Tiefen bis man auf den Kettenvorlauf oder die Ankerleine trifft. (Augen auf: evtl. ist der Anker durch Laminarien oder Ähnliches verdeckt.)

- 2) Der Anker liegt in Riffnähe (ist schonender für die Unterwasserwelt) / Schiff macht an einer Boje fest.



Wieder merkt man sich die Ankerseilrichtung, taucht an der Ankerleine ab, nimmt den vorgegebenen Kurs (Marschzahl) zum Riff ① und merkt sich die Entfernung (Zeit). Am Riff merkt man sich die Umgebung (markante Dinge) und die dazugehörige Tiefe ②.

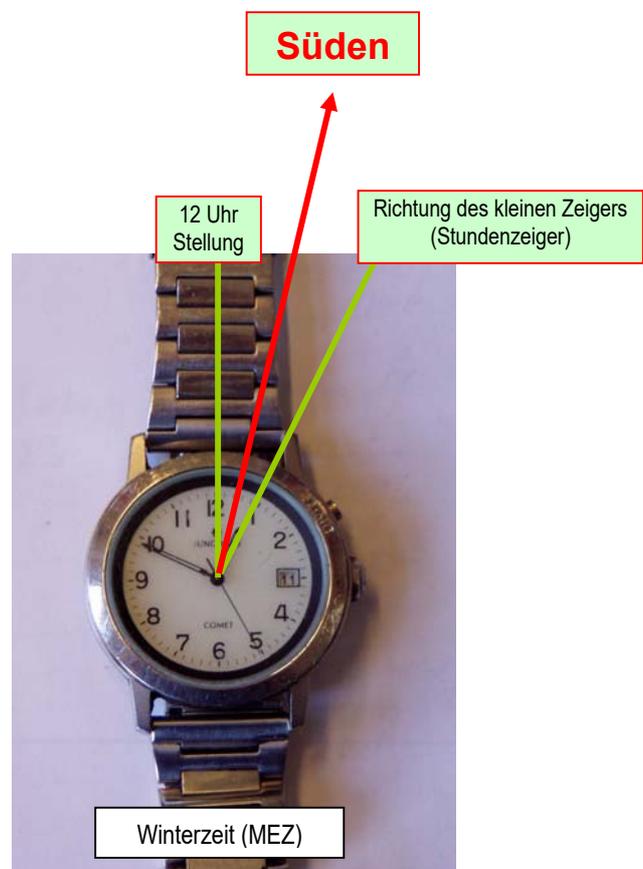
Auf dem Rückweg verlässt man am markanten Punkt ② auf dem vorgegebenen Kurs ① $\pm 180^\circ$ das Riff und taucht in Richtung Boot (Zeit). Auf Schleifspuren, Kettenvorlauf, Ankertampen (über sich), andere Tauchgruppen, den Bootsrumph oder Dekompressionsleine achten. Findet man den Anker nicht, so kann man in Zickzack-Kursen suchen (Beispiel).

Wissenswertes

Bestimmung der Himmelsrichtungen mit Hilfe einer Analoguhr (in unseren Breiten)

Weist der kleine Zeiger (Stundenzeiger) zur Sonne, so liegt Süden auf der Winkelhalbierenden zwischen dem kleinen Zeiger und der Zwölf, im rechten Winkel dazu nach rechts Westen. Bei eingestellter Sommerzeit erfolgt die Winkelbildung mit der Ziffer „eins“ oder alternativ durch Abziehen von einer Stunde von der aktuellen Uhrzeit.

Mit etwas Vorstellungsgabe kann man sich auch bei Verwendung einer Digitaluhr die Stellung der Zeiger vorstellen und ggf. auf einem Blatt Papier aufzeichnen.



Kompass

(pl. Kompass)

Definition Kompass:

ital. *compassare* "abschreiten, abmessen"

"Der Magnetkompass beruht auf der vom Erdmagnetismus ausgehenden, auf einen Magneten ausgeübten Richtkraft, die die Magnetnadel überall auf der Erde in den magnetischen Meridian einstellt."



Sinn des Kompassstauchens:

Orientierungshilfe bei schlechter Sicht, bei konturlosen Bodenverhältnissen, in freiem Wasser ohne Bodensicht usw.

Aufbau:

Das Kompassgehäuse besteht aus einem unmagnetischen Material. Es enthält eine Magnetnadel, die auf einer Pinne reibungslos gelagert ist. Diese frei bewegliche Magnetnadel richtet sich in Nord-Süd-Richtung aus. Zur Dämpfung ist der Kompass mit Öl gefüllt.

Der Kreis, den die Nadel beschreibt, ist in 360 Grad eingeteilt.

Die Kompassrose zeigt die Haupt-Himmelsrichtungen:

Gradzahl		englisch	französisch
0°	Nord	North	Nord
90°	Ost	East	Est
180°	Süd	South	Sud
270°	West	West	Ouest



Achtung:

Die Funktionsfähigkeit des Kompasses ist lageabhängig. Bei einer Neigung größer als 20° - 30° kommt es meist zu einer Blockierung der Nadelbeweglichkeit. Die Beweglichkeit der Nadel ist deshalb bei jeder Ablesung zu kontrollieren.

Kompassarten:**Marschkompass:** [Ablesung von OBEN](#)

Die Nadel bewegt sich **über** der Kompassrose (die z.B. auf dem Boden aufgemalt ist). Die "Südspitze" der Nadel richtet sich zum magnetischen Nordpol aus (ungleiche Pole ziehen sich an).

Peilkompass: [Ablesung von der Seite](#)

Im Vergleich zum Marschkompass ist die Anzeige um 180° versetzt. Man peilt das Ziel über den Kompass an (Kimme und Korn) und liest die "Marschzahl" im seitlichen Fenster ab.

Beispiel: Peile ich ein Ziel im Süden an, so sehe ich von Norden auf den Kompass und lese die Marschzahl 180 ab, obwohl die Magnetnadel nach Norden (0°) weist.

Taucherkompass: [Ablesbar von oben und von der Seite](#)

Bei den von Tauchern verwendeten Geräten handelt es sich meist um eine Kombination von Peil- und Marschkompass.

Von oben = Marschkompass, im Seitenfenster = Peilkompass.

Aufbau des Tauchkompasses:

Der Magnet ist zur Dämpfung in einem Ölbad gelagert.

Typ A

Der Kompass ist mit einem beweglichen Einstellring und Markierung (zwei Indexmarken, Gabel) für die Stellung des Nordpfeils ausgerüstet.

"Man taucht auf 0°."

Die Gradeinteilung ist entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn  orientiert und nicht drehbar.

Typ B

Auf der dicken Kompassrose ist der Nordpfeil aufgemalt, das seitliche Sichtfenster dient zum Ablesen der Marschzahl. Der äußere, bewegliche Einstellring ist mit einer Gradeinteilung und Markierung für die Nordpfeilstellung versehen.

"Man taucht nach Marschzahl."

Die Gradeinteilung ist im Uhrzeigersinn  orientiert.

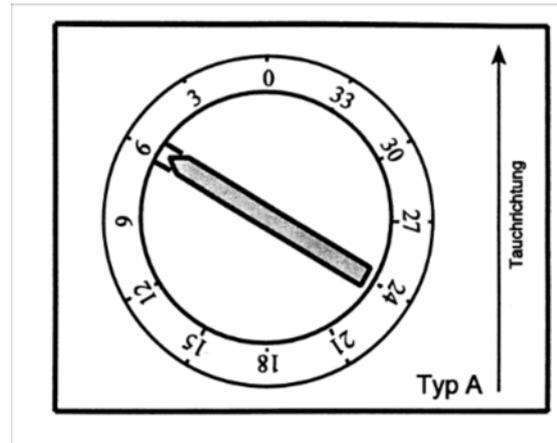
Typen A und B

Beide Arten haben reflektierende Markierungen und eine Peillinie, die der Tauchrichtung und Bewegungslinie entspricht.

Typ B ist Typ A vorzuziehen, da es eine Kombination aus Peil- und Marschkompass ist, wegen seiner Höhe weniger schnell verkantet und genauer abzulesen ist.

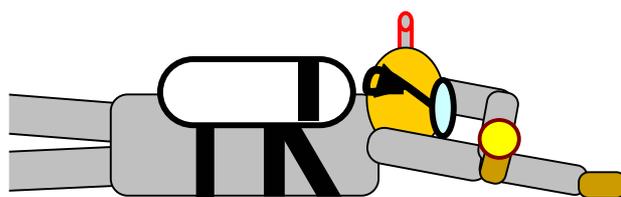
Kompasshaltung:

- a) Man sieht von oben auf den Kompass und achtet darauf, dass der Nordpfeil nicht aus der Markierung läuft (nur grobe Kursgenauigkeit).



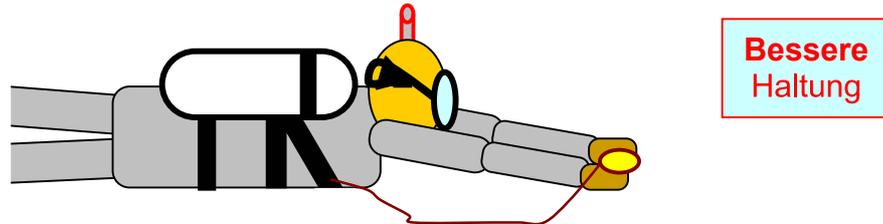
Die Schwimmrichtung ist immer nach 0°.

- b) Der Kompass ist am linken Arm befestigt, die linke Hand wird um den rechten Ellenbogen gelegt (Mittelfinger in die Vertiefung oberhalb des Gelenkes). Man taucht nach Marschzahl, indem man sie im seitlichen Sichtfenster abliest oder nach Nordeinstellung, wenn man von oben auf dem Kompass blickt.



Gute
Haltung

- c) Man hält den Kompass mit **beiden Händen** vor dem Körper und sieht auf das seitliche Fenster. Man erzielt eine große Kursgenauigkeit, da man nach Marschzahl taucht. Um genügend Bewegungsfreiheit zu haben, muss man den Kompass mit einem langen Band an der Ausrüstung befestigen.



Umgang mit dem Kompass: (Kurs und Gegenkurs)

Hinweg →: Tauchziel über die Peillinie anpeilen, im Seitenfenster die Marschzahl ablesen, die Peillinie auf die Marschzahl einstellen, Kompass in Vorhalte nehmen, Strecke tauchen.

Rückweg ←: (Gegenkurs auf Skala ablesen oder errechnen.): solange drehen, bis die neue Marschzahl (alte Marschzahl $\pm 180^\circ$) im Sichtfenster erscheint, Strecke tauchen.

Achtung: Die Peillinie muss immer identisch sein mit der Körperlängsachse und der Tauchrichtung.

Kompassablenkung (Deviation, Abweichung):

Da der Kompass magnetisch ist, wird er von eisenhaltigen Metallen angezogen (Schiff, Westenflasche, Lampe, Uhr, Tiefenmesser, Kamera, Metalle im Wasser, Stromleiter usw.). Daraus folgt: Peilung erst nehmen, wenn man "angerödelt" ist. In Gewässern mit Metallteilen kann man sich nicht unbedingt auf den Kompass verlassen. 30 cm Abstand zwischen dem Kompass und metallhaltigen Ausrüstungsgegenständen reichen meistens aus um eine Ablenkung auszuschließen.

Missweisung (Variation, Deklination, erdmagnetische Deviation):

Magnetischer Pol und geographischer Pol befinden sich nicht an demselben Ort. Als Missweisung wird die Winkelabweichung zwischen der magnetischen und der geographischen Nordrichtung bezeichnet. Sie ist orts- und zeitabhängig und kann u. a. der Seekarte entnommen werden. Die Missweisung ist positiv, wenn die Kompassrose nach Osten abweicht.

Inklination (vertikale Intensität des Magnetfeldes):

Die Erdmagnetlinien schneiden die Erdoberfläche in unterschiedlichen Winkeln und beeinflussen damit die Horizontallage der Kompassnadel. Kompass sind in der Regel nur für einen bestimmten Breitengrad-Bereich auf der Erde entsprechend korrigiert (ausgewuchtet). Ein für Deutschland gebauter Kompass (*am Südende etwas schwerer als am Nordende der Nadel*) ist deshalb auch nicht unbedingt in Australien oder in Südafrika verwendbar.

Pflege des Kompasses:

Stöße vermeiden, direkte Sonneneinstrahlung führt zur Erwärmung und Ausdehnung des Öles und kann Undichtigkeiten zur Folge haben. Den Kompass nach dem Tauchgang ausgiebig spülen, dazu evtl. aus dem Gehäuse nehmen, der Einstellring muss sich gut drehen lassen aber einrasten.

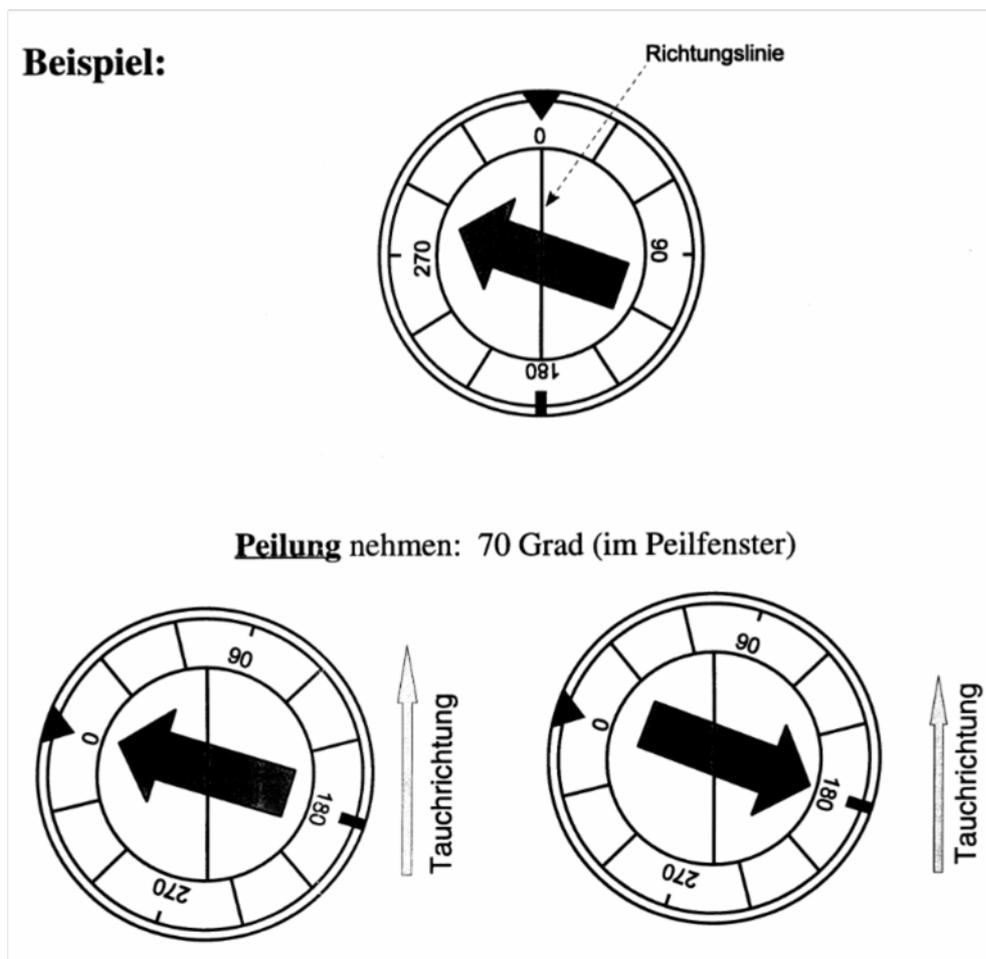
Tipps:

- Kompass, Uhr und Computer nicht am selben Arm tragen (Magnetismus), aber so, dass alle Instrumente ohne viel Bewegung abzulesen sind
- Auf ausreichenden Abstand zwischen Lampe, Westenflasche und Kompass achten.
- Beim reinen Kompassstauchen verliert man schnell seinen Partner, man neigt zum schnellen Tauchen, dreht sich selten um, da man sonst neu peilen muss. Der Partner sollte in diesen Fällen Kontakt mit dem Kompassstauchen halten (z. B. an der Befestigung festhalten oder eine Handleine verwenden).
- Dem Partner unbedingt die Tauchrichtung anzeigen!
- Kompass etwa alle 3 bis 10 Sekunden ablesen. In dunklen Gewässern schwimmt der Partner schräg über dem Gruppenführer und beleuchtet dessen Kompass.

Kompasskurse:Gerader Kurs:

Peilung vom Hinweg plus oder minus 180° (Halbkreis) ergibt die Marschzahl für den Rückkurs.

Beispiel:	Hinweg = 80°	Rückweg = 260°	($80^\circ + 180^\circ$)
	Hinweg = 180°	Rückweg = $360^\circ = 0^\circ$	($180^\circ + 180^\circ$)
	Hinweg = 240°	Rückweg = $420^\circ = 60^\circ$	

**Hinweg:**

Einstellring drehen,
bis die 70° -Markierung
in die Tauchrichtung weist
(0° -Markierung = Nordrichtung).

Rückweg:

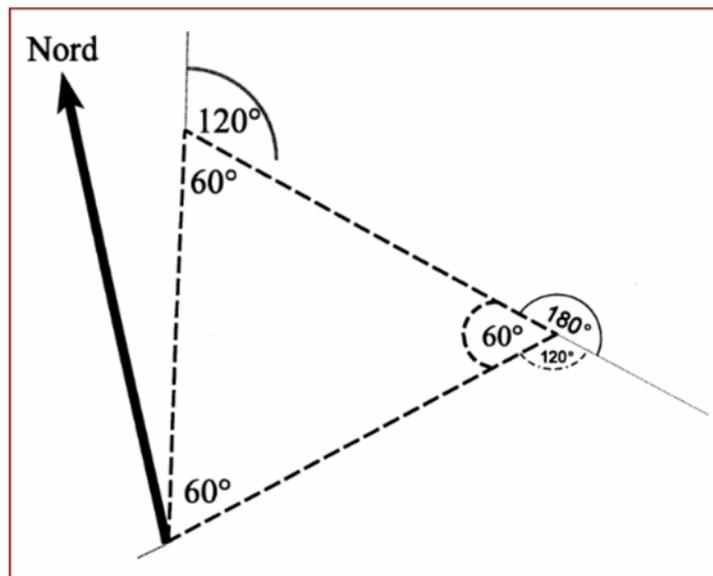
Der Taucher dreht sich so lange, bis er im
Peilfenster 250° abliest oder bis die Magnet-
nadel auf die
 180° -Markierung des Ringes zeigt.

Dreieckskurs:

Ein **gleichseitiges** Dreieck (Seitenlänge $a = b = c$) hat gleiche Innenwinkel. Nach Pythagoras ist die Summe der Winkel eines Dreiecks 180° , so dass die Innenwinkel eines gleichseitigen Dreiecks jeweils 60° betragen.

Tauche ich diesen Kurs **rechtsherum**, so muss ich für die neue Strecke nicht 180° , sondern nur 120° (180° minus 60° Innenwinkel) zum alten Kurs **hinzuaddieren**.

Beispiel: 1. Strecke = 140° , 2. Strecke = 260° , 3. Strecke = 20° ($260^\circ + 120^\circ - 360^\circ$)



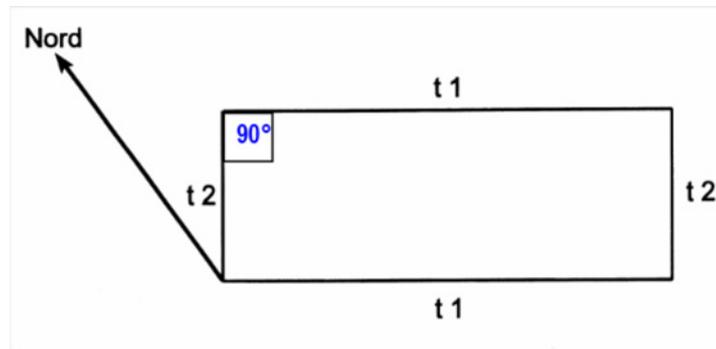
Tauche ich den Kurs **linksherum**, so muss ich 120° vom alten Kurs **abziehen**.

Beispiel: 1. Strecke = 160° , 2. Strecke = 40° , 3. Strecke = 280° ($40 - 120 + 360$)

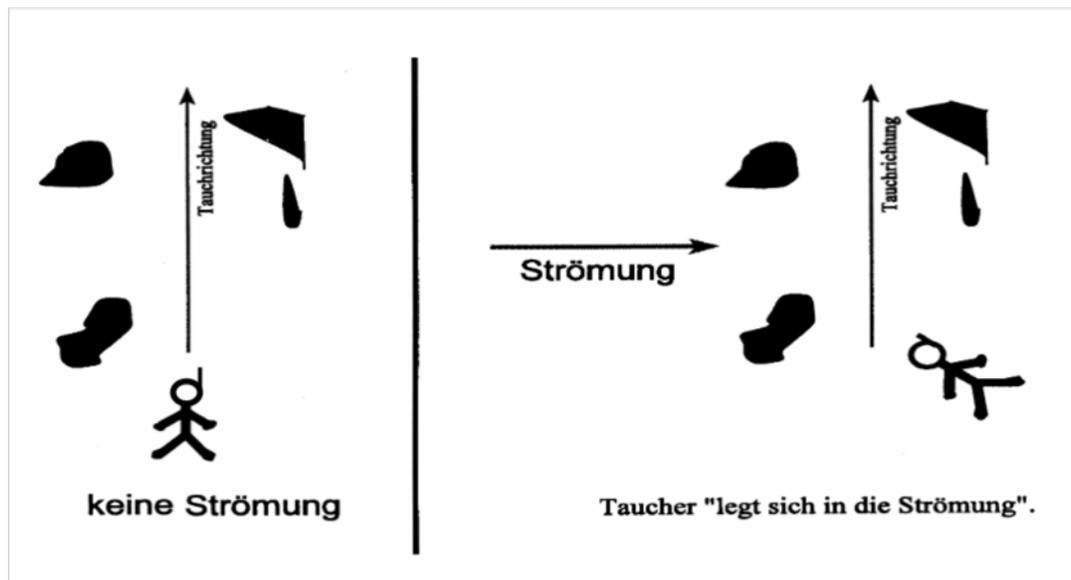
Um identische Entfernungen zu erzielen muss ich entweder die gleiche Anzahl von Flossenschlägen tätigen oder bei gleichbleibendem Tempo identische Zeiteinheiten tauchen.

Rechteckkurs:

Ich wechsele 3 x den Kurs und addiere [rechtsherum] oder subtrahiere [linksherum] jeweils 90° zum bzw. vom vorhergehenden Kurs. Wichtig ist, dass die **gegenüberliegenden Seiten gleichlang** sind (Zeit, Anzahl der Flossenschläge, Luftverbrauch).

Kompasskurs bei Strömung:

Man nimmt die Peilung und merkt sich markante Dinge auf/neben der Peillinie und taucht dann gegen die Strömung dorthin, nimmt eine neue Peilung, taucht ... usw.. Je nach Stromstärke muss man sich unterschiedlich stark "in die Strömung legen".



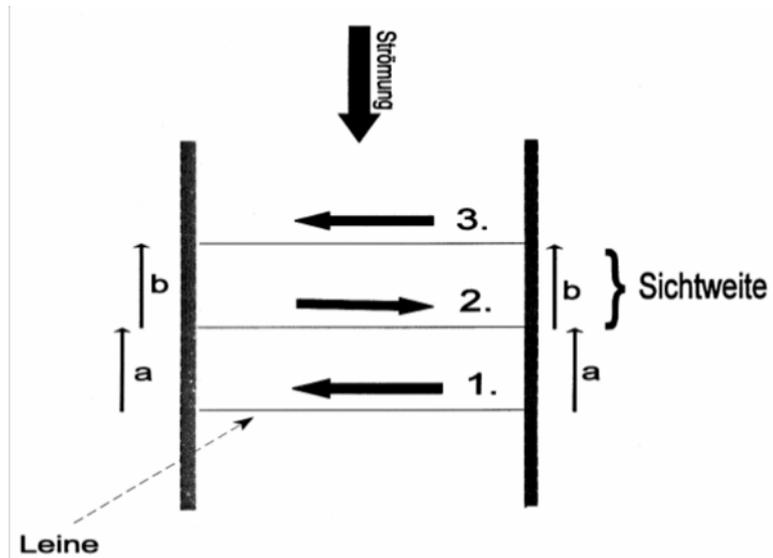
Das exakte Tauchen entlang von Dreieckskursen bei Strömung ist problematisch, da der Versatz nur schwer beurteilt werden kann.

Suchtechniken:

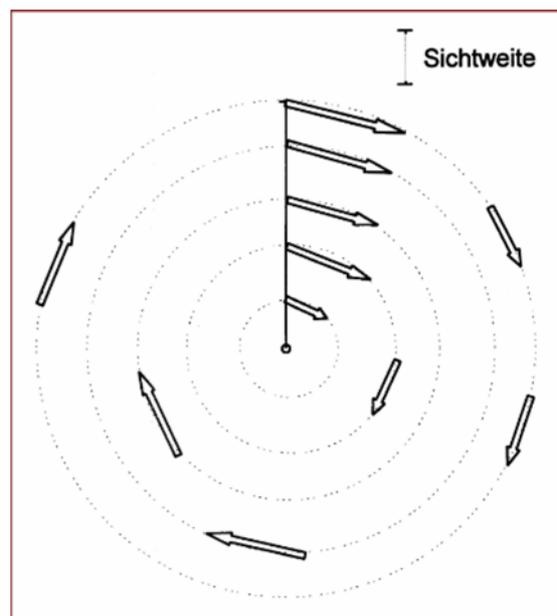
1) Suche in parallelen Tracks

Leine von Ufer zu Ufer spannen (2 Leinenhalter), an der Leine entlang tauchen. Je nach Sichtweite die Leine stromaufwärts neu legen und entlang tauchen.

Es wird stromaufwärts gesucht, damit keine Sichtbehinderung durch aufgewirbelte Sedimente besteht. (Verwendung von zwei Grundgewichten, damit die Leine nicht auftreibt.)

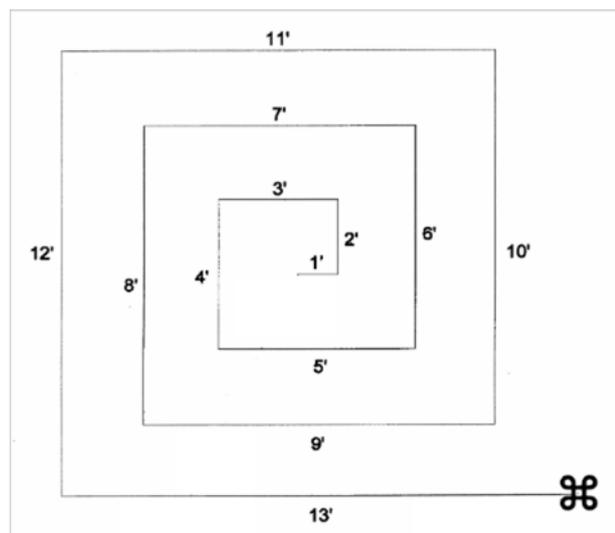


- 2) Einen schweren Gegenstand (Grundgewicht) versenken, mit Oberflächenboje markieren. Eine Leine kurz oberhalb des Grundgewichtes festmachen und dann das Gewicht am selben Punkt (Fixpunkt) in immer größer werdenden Kreisen umrunden. Die gespannte Leine sorgt für den größer werdenden Radius. Abstandspunkte für die „Leinenverlängerung“ sind auf einem Grundtau zu markieren.



3) Suche in sich erweiternden Quadranten

Ich tauche meinen Kurs. In Nähe des Objektes schwenke ich auf die Haupthimmelsrichtungen und schwimme eine kleine Strecke (z. B. 10 sec in O), schwenke wieder im Uhrzeigersinn und tauche 20 sec in Richtung S, schwenke wieder um 90° im Uhrzeigersinn und tauche 30 sec in W, schwenke wieder um 90° im Uhrzeigersinn und tauche 40 sec nach N, usw. So tauche ich einen immer größeren Kreis und stoße irgendwann auf das gesuchte Objekt. Die Zeitangaben lassen sich durch Anzahl der Flossenschläge ersetzen. Die Zeitangaben sind entsprechend den Unterwassersichtverhältnissen größer oder kleiner anzusetzen.



Kreuzpeilung

Bestimmung des Standortes durch möglichst gleichzeitige Peilung zweier Landmarken mit dem Kompass. Die Landmarken sollten am besten im rechten Winkel gesehen werden und sich im Standort "kreuzen". Keine Winkel $< 30^\circ$ oder $> 150^\circ$ zu benutzen, da ansonsten die Peilung zu ungenau wird.

Kreuzpeilung ohne Hilfsmittel:

Jeweils zwei hintereinander stehende Landmarken in Deckung bringen.

Literaturhinweis:

Sonderbrevet "Orientierung"
 von Werner Scheyer und Gabi Tode
 64 Seiten
 ISBN 3-927913-33-2

Eigene Notizen:

11. Literatur

Die folgende Literatur stellt nur eine kleine Auswahl dar. *In kursiver Schrift finden sich persönliche Anmerkungen.* Die Preisangaben und die Auflagennummern sind eventuell nicht mehr aktuell.

Ein guter Überblick über die deutsche Sporttaucher-Literatur ist der Katalog vom Buchservice Naglschmid, dem Fachversand für Tauchsportliteratur.

(Buchservice Naglschmid, Senefelderstr. 10, 70178 Stuttgart, Tel.: 07 11 / 62 68 78)

11.1. Wissenschaftliches Arbeiten unter Wasser

Heine, John. 1999. Scientific Diving Techniques; A Practical Guide for the Research Diver. Best Publishing Company. Book No. B0992 \$44.50 - Plus S&H – ISBN 0-941332-69-1

In diesem Buch werden die wissenschaftlichen Arbeitsmethoden unter Wasser hervorragend beschrieben. Zu jedem Kapitel gibt es umfangreiche Literaturangaben. John Heine ist Forschungstaucher und war Präsident der amerikanischen AAUS (Academy of Underwater Sciences).

NOAA Diving Manual, Diving for Science and Technology. 4th Edition. NOAA Diving Manual (soft cover), NTIS Order Number: PB99-102600INQ. Price: \$79,00; for customers outside the U.S., Canada, and Mexico, \$115,00

Dies ist das klassische Lehrbuch für Forschungstaucher. Inzwischen ist es in der 4. Auflage erschienen.

M. Dean, B. Ferrari, I. Oxley, M. Redknap and K. Watson (Eds.). 1995. Archaeology Underwater. The NAS Guide to Principles and Practice. Edited by: Nautical Archaeology Society, ISBN 1-873132-25-5, 332 Seiten, 25,00 £.

Praktische Anleitung zur Durchführung von Unterwasserarbeiten für Archäologen.

Robert A. Patzner. 1989. Meeresbiologie, Anleitung zum praktischen Arbeiten. Naglschmid, 1. Aufl., Stuttgart. ISBN 3-925342-57-5, 22,00 €.

Wiss. Lehrbuch für Studenten der Biologie, die meeresbiologisch arbeiten wollen. Für Lehrende dient es der Planung entsprechender Praktika.

Unterwasserarchäologie: Denkmalschutz und Archäologie unter Wasser / Deutsche Gesellschaft zur Förderung der Unterwasserarchäologie e. V. (Hrsg.). 1997. Preis: etwa 10,10 €. Bielefeld: Delius Klasing; Stuttgart: Ed. Naglschmid, (Lehrbriefe für den Tauchsport: Tauchsport-Seminare). ISBN 3-89594-054-2

Für den Sporttaucher geschriebene Einführung in die Unterwasserarchäologie, die aber auch den Forschungstaucher lehrreich die grundlegenden UW-Arbeitsmethoden beschreibt.

Archäologie unter Wasser 1, Forschungen und Berichte zur Unterwasserarchäologie zwischen Alpenrand und Nordmeer. 1995. Archäologische Informationen aus Baden-Württemberg. Heft 33. Herausgegeben vom Landesdenkmalamt Baden-Württemberg in Verbindung mit der Kommission für Unterwasserarchäologie im Verband der Landesarchäologen in der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart.
ISBN 3-927714-29-1

Berichte verschiedener Autoren über neue Ausgrabungen und Forschungen in Deutschland, von den Seen des Alpenvorlandes bis in die Nord- und Ostsee.

N. C. Flemming & M. D. Max (Eds. on behalf of the World Underwater Federation Scientific Diving). A General Code of Practice. Best Publishing Company. B0399: \$39,95 - Plus S&H – Edited by (CMAS)

Willi Xylander / Friedrich Naglschmid. 1985. Gewässerbeobachtung, Gewässerschutz. Ein Leitfaden zur erfolgreichen Umweltarbeit. Edition Freizeit und Wissen, Verlag S. Naglschmid, Stuttgart. 12,90 €.

Dieses Buch ist insbesondere ein Leitfaden für die Jugendarbeit im Verein.

11.2. Normen, Regeln, Vorschriften, Technik, UW-Fotografie

DIN EN 250, Ausgabe: 2000-03, Atemgeräte - Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft - Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 250:2000 . 61,20 €. Bestellungen an: Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, Telefon: 030 2601-0, Telefax: 030 2601-1260, E-Mail: postmaster@beuth.de, Internet: www.beuth.de

Hubertus Bartmann. Taucher-Handbuch. 2002. Neuerscheinung (4. Auflage), 2 Bände, Preis: 129,00 €. Ewa 2800 Seiten, 25 Register, 12 farbige Klappkarten, zahlreichen Tabellen und s/w-Abbildungen. Mit automatischem Ergänzungsdienst 4x jährlich zum Seitenpreis von 0,21 €. Ecomed. ISBN 3-609-75380-3

Standard-Handbuch für Taucher. Dieses Buch sollte in jedem Taucherbetrieb vorhanden sein, da es insbesondere neue technische Änderungen bei Tauchgeräten und neue gesetzliche Bestimmung gut dokumentiert.

United States Navy Diving Manual, Revision 4. 1999. Defense Dept. - U.S. Navy - Naval Sea Systems Command. US-Preisempfehlung*: \$176,00 (*suggested retail price). Preis: 214,57 €. Ringeinband - 1042 Seiten - Claitors Pub Div. Erscheinungsdatum: 20. Januar 1999 Auflage: 4th; five-volume set. ISBN: 1579804543

Richtlinien für den Einsatz von Forschungstauchern. 1988. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Zentralstelle für Unfallverhütung und Arbeitsmedizin, Fachausschuss „Tiefbau“. Bestell-Nr.: ZH 1/540, Ausgabe: April 1988. Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln

Pflicht-Lektüre für jeden Forschungstaucher.

Unfallverhütungsvorschrift Taucherarbeiten. 2001. (BGV C23 /bisherige VBG 39) vom 1. Oktober 1979 in der Fassung vom 1. Januar 2001. Mit Durchführungsanweisungen vom Januar 2001. Stand Januar 2001. Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit.

Zu beziehen von: Tiefbau-Berufsgenossenschaft, technischer Aufsichtsdienst, Landsberger Straße 309, 80687 München, Abruf-Nr. 184.

Diese Vorschrift enthält die für Forschungstaucher gültige Austauschtable und die Regelungen zum Vorhalten von Sauerstoff und Druckkammer am Tauchereinsatzort.

Pflicht-Lektüre für jeden Forschungstaucher.

Herbert Frei. 1998. Spiegelreflex Fotografie unter Wasser. Delius Klasing Edition Naglschmid. Taschenbuch. ISBN: 3895940658. 144 S., Preis: etwa 20,35 €.

Das Standardwerk zum Thema.

Herbert Frei. 1995. Nikonos Handbuch. Taschenbuch - 167 Seiten - Delius Klasing. Preis: etwa 20,35 €. ISBN: 389594002X

11.3. Tauchtechnik

Werner Scheyer. 1992. Flaschen. Ventile. Reserveschaltungen. Technik und Funktion.

Preis: 15,80 €. Taschenbuch - 132 Seiten - Delius, Klasing, Bielefeld. ISBN: 3927913081

Werner Scheyer. 1994. Lungenautomat. Technik und Funktion der Atemregler. Taschenbuch - 144 Seiten - S. Naglschmid, Stuttgart. Auflage: 2., überarb. Aufl. . Preis: 15,80 €.

ISBN: 3927913529

Werner Scheyer. 1995. Kompressor. 2. Auflage. Bielefeld: Delius Klasing; Stuttgart: Ed. Naglschmid (Lehrbriefe für den Tauchsport: Tauchsport-Seminare). Preis: 9,85 €. ISBN 3-89594-029-1

Sehr gutes Technikheft über Aufbau und Funktion von Atemluft-Verdichter (nur kleinere Anlagen).

Alexander Fertig. 1997. Handbuch für den Taucher. Kohlhammer, Stuttgart. 225 Seiten. Preis: 31,70 €. ISBN 3170122231

Lehrbuch für professionelle Taucher (Berufstaucher, Feuerwehrtaucher). Schwerpunkte sind Tauchausrüstung/Gerätekunde und die Tauchpraxis/Einsatztaktik.

11.4. Tauchmedizin

Michael Almeling, Frank Böhm, (Wilhelm Welslau). 1998- .Handbuch Tauch- und Hyperbarmedizin. Loseblattwerk in 2 Arbeitsordnern, ca. 1.638 Seiten, Format 17 x 24 cm, über 500 Farb- und SW-Abbildungen. Ecomed. ISBN 3-609-72390-4. Fortsetzungspreis 78,00 €. Mit automatischem Ergänzungsdienst zum Seitenpreis von etwa 0,29 €. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG
Standardwerk für Tauchmediziner.

Carl Edmonds, Christopher Lowry, John Pennefather and Robyn Walker. 2002. Diving and Subaquatic Medicine. 4th ed. Arnold, London. 98,50 USD (Vertrieb in den USA durch Oxford University Press, New York). 738 Seiten. ISBN 0-340-80630-3. Im deutschen Buchhandel etwa 120,00 €.
Das Standardwerk der Tauchmedizin. Ist auch für Laien mit guten englischen Sprachkenntnissen überwiegend verständlich. Viele „neue tauchmedizinische Erkenntnisse in Deutschland“ sind in diesem Buch schon Jahre vorher veröffentlicht worden.

P. B. Bennett and D. H. Elliott (Eds.). 2002. Physiology and medicine of diving. 5. Geb. Auflage, 800 Seiten, 285 Abb., Saunders, Preis: £ 95,00 ISBN 0702025712.
Klassisches Standardwerk der Tauchmedizin seit über 30 Jahren.

Albert A. Bühlmann. 1995. Tauchmedizin: Barotrauma, Gasembolie, Dekompression, Dekompressionskrankheit. 4., überarb. und erweiterte Auflage. Springer, Berlin. ISBN: 3-540-58970-8
Das medizinische Standardwerk zur Thematik der Dekompressionskrankheit.

Rudolf B. Holzapfel. 1993. Praxis der Tauchmedizin: Physiologie – Pathologie – Therapie. 2., überarb. Auflage. Stuttgart. Thieme. Preis: 20,35 €. ISBN: 3-13-631302-X

Oskar F. Ehm, Max Hahn, Uwe Hoffmann, Jürgen Wenzel. 2003. Der neue Ehm. Tauchen noch sicherer. Tauchmedizin für Freizeittaucher, Berufstaucher und Ärzte. Preis: 49,90 €. Gebundene Ausgabe - 605 Seiten - Müller Rüschnikon, Cham. 9. völlig überarbeitete, erweiterte und revidierte Auflage. ISBN: 3275012169
Der „Ehm“ ist das klassische deutsche Tauchmedizinbuch sowohl für Sport- und Berufstaucher als auch für Ärzte. Die erste Auflage erschien 1974.

Willibald Psyrembel. 2001. Psyrembel Therapeutisches Wörterbuch. 2. überarb. u. erg. Auflage. 990 Seiten, 547 Abb., 242 Tab. Gebunden. Preis: 34,95 €. Verlag Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin. ISBN 3-11-016828-6
Tauchmedizinische Abhandlungen (von Ärzten) lassen sich ohne dieses klassische Nachschlagewerk von Nicht-Medizinern kaum verstehen.

Manfred Oehmichen, Ulrich van Laak, Klaus Püschel, Michael Birkholz (Hrsg.). 1994. Der Tauchunfall: Erscheinungsform – Diagnose – Vorbeugung. Lübeck: Schmidt-Römhild. ISBN: 3-7950-0711-9

K.-H. Hoffmann, W. Krenz und E. Peter, (Autorenkollektiv). 1977. Praktische Hinweise für den Gesundheits- und Arbeitsschutz bei Taucherarbeiten. Verlag Tribüne, Berlin, 1977.
Dies war das Standard-Lehrbuch für Taucher in der DDR.

Hubertus Bartmann und Dr. Claus-Martin Muth, 2003. Notfallmanager Tauchunfall. 2. überarbeitete Auflage, 544 Seiten. Broschüre. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech. Preis: 28,00 €. ISBN 3-609-68842-4.
Gehört in jeden Rettungskoffer!

Tauchmedizinische Fortbildung, Band 1-7. 1997. Hrsg. H.-J. Roggenbach. Verlag Stephanie Naglschmid.
Band 4. 1997. ISBN 3-925342-28-1. Preis: 24,80 €.
Band 5. 1999. ISBN 3-89594-989-2. Preis: 24,80 €.
Band 6. 2001. ISBN 3-89594-982-5. Preis: 24,80 €.
Band 7. 2003. ISBN 3-89594-998-1. Preis: 24,90 €.
Vorträge einer tauchmedizinischen Fortbildungsveranstaltungsreihe des Verbandes Deutscher Sporttaucher e. V. (VDST). Es wird ein breites Spektrum relevanter Themen abgedeckt. Empfehlenswert zur Fortbildung auch für Forschungstaucher.

11.5. Gefahren unter Wasser (Giftige Meerestiere)

Gerhard G. Habermehl. 1994. Gift-Tiere und ihre Waffen. 245 Seiten. Springer Verlag, Berlin. 5. Auflage. Preis: 19,95 €.
Das Handbuch gibt eine ausführliche Übersicht über giftige Tiere, die chemische Struktur und pharmakologische Wirkung der Gifte sowie über Erste-Hilfe-Maßnahmen und die Verhütung von entsprechenden Unfällen.

Dietrich Mebs. 1989. Gifte im Riff. Toxikologie und Biochemie eines Lebensraumes. Preis: etwa 28,65 €. Wissensch. Verl.-Ges., Stuttgart

Dietrich Mebs. 2002. Venomous and Poisonous Animals. Medpharm Scientific Publishers. 339 Seiten. ISBN: 3887630939.

Paul S. Auerbach . 1997. A medical guide to hazardous marine life. Preis: \$19, 95 (Paperback) - Publisher: Best Publishing Company. Überarb. Auflage. ISBN: 0941332551

Dieter Eichler. 1998. Gefährliche Meerestiere erkennen: Biologie, Gefahren, richtiges Verhalten, Erste Hilfe. Preis: 15,95 € - München. BLV. ISBN 3-405-15335-2

Peter Schmid. 1991. Gefahr erkannt, Gefahr gebannt. 100 Tipps für Ihre Sicherheit am Meer. Preis: 15,80 €. Verlag Delius, Klasing, Bielef. Taschenbuch.

11.6. Tauchpraxis

Thilo Künneht. 2002. Handbuch Tauchsicherheit. 160 Seiten, 30 Farbbilder. Verlag Müller-Rüschlikon, Cham, Schweiz. Preis: 12,90 €. ISBN: 3-275-014420-0.
Planung von Tauchgängen, Vermeidung von Unfällen, Retten und helfen.

John Heine. 1996. Cold Water Diving. Book No. B0811. Best Publishing Company. Preis: \$19,95 (zzgl. Versandkosten). ISBN 0-941332-52-7
Mit vielen Photos versehenes Buch zum Thema Eistauchen. John Heine ist Forschungstaucher und war Präsident der amerikanischen AAUS (Academy of Underwater Sciences).

Monika Rahimi. 2001. Tauchen ohne Angst. Mental- Tipps. Atemtechnik. Übungen Taschenbuch. 143 Seiten. BLV Verlagsgesellschaft mbH. 2., durchgesehene Auflage. Preis: 9,95 €. ISBN: 3405161193

Dietmar Mitzinger. 1996. Atemtechnik. Bielefeld: Delius Klasing; Stuttgart: Ed. Naglschmid (Lehrbriefe für den Tauchsport: Tauchsport-Seminare). Preis: etwa 10,15 €. ISBN 3-89594-053-4

VDTL (Verband Deutscher Tauchlehrer e.V.). 1994. Tauchen lernen II: Spezialkurse zum Tauchsportabzeichen. Preis: 11,50 €. - Taschenbuch - Kohlhammer, Stuttgart. ISBN: 3-17-011799-8
*Das Buch enthält die notwendigen Lehrunterlagen für die Spezialkurse Wasserrettung, Kompass-Orientierung/Gruppenführung (KOG), Großgruppenführung, Strömungstauchen, Nachtauchen, Wracktauchen, Eistauchen/Tauchen in kalten Gewässern und Bergseetauchen. Zu jedem Kurs gibt es Kontrollfragen mit Antworten. Besonders vorteilhaft, dass hier alle Kurse in einem Band zusammengefasst sind; dadurch muss nicht für jeden Kurs ein eigenes Buch gekauft werden.
Auch für Forschungstaucher ist dies Buch eine notwendige und sinnvolle Ergänzung zur Ausbildung.*

VDTL (Verband Deutscher Tauchlehrer e.V.). 1998. Tauchen lernen, Bd. 3: Vom Fortgeschrittenen zum Tauchlehrer. Preis: 35,00 €. - Taschenbuch - Kohlhammer, Stuttgart. ISBN: 3-17-014170-8
Offizielles Lehrbuch des Verbandes Deutscher Tauchlehrer (VDTL e.V.). Dieses Buch eignet sich gut als Grundlagenlehrbuch für die Ausbildung von Forschungstauchern. Im Vergleich zu anderen Tauchsportbüchern werden in diesem Buch u. a. auch die Themen Gewässerbiologie und Umwelt, Bootsführung, Tauchen und Psyche abgedeckt.

Axel Stibbe. 2001. Sporttauchen: der sichere Weg zum Tauchsport. 320 Seiten. Delius Klasing / Ed. Naglschmid, Stuttgart. 9. Auflage. Preis: 26,00 €
Offizielles Lehrbuch des Verbandes Deutscher Sporttaucher (VDST e.V.). Dieses Buch eignet sich als Grundlagenlehrbuch auch für die Ausbildung von Forschungstauchern.

Thomas Kromp, Hans J. Roggenbach, Peter Bredebusch. 2001. Praxis des Tauchens. Gebundene Ausgabe - 408 Seiten - Delius Klasing. 4., überarb. Aufl. Preis: 24,90 €. ISBN: 389594047X

PADI®. 1993. Adventures In Diving. Fortgeschrittenes Training für den Open Water Taucher. ISBN 3-907515-12-9
Dieses umfangreiche Buch enthält die notwendigen Lehrunterlagen für die Spezialkurse, wie sie im PADI®-Ausbildungssystem vorgesehen sind. Zu jedem Kapitel gibt es Multiple-Choice-Fragen mit Lösungen. Auch für Forschungstaucher ist dies Buch eine notwendige und sinnvolle Ergänzung zur Ausbildung.

Rudolf B. Holzapfel. 2003. Richtig Tauchen. Broschiert. 128 Seiten. BLV Verlagsgesellschaft mbH. Etwa 10. Auflage. Preis: 10,95 €. ISBN: 3405160278
Preiswertes Lehrbuch des Tauchsports. Knapp und bündig gehalten, deckt aber alle Bereiche für den Tauchanfänger gut ab.

J. R. Norman. 1966. Die Fische. Eine Naturgeschichte. (Originalausgabe: A History of Fishes, 1963). 458 Seiten. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

11.7. Technisches Tauchen

T. Mount, B. Gilliam, R. Bohrer, L. H. Taylor, L. H. Somers, J. Crea and R. Nordstrom. 2002. Mischgas Tauchen, die ultimative Herausforderung für technische Taucher. 3. Auflage, 400 Seiten. Preis: 42,00 €. (Vertrieb durch: Consodata ONE-TO-ONE, Semmelweisstraße 8, 82152 Planegg, Tel.: 089 857 09 145, Fax: 089 857 09 131, Internet: www.bluepoint.de, Email: info@bluepoint.de) ISBN: 3-933680-45-X
Gutes und umfangreiches Lehrbuch zum Thema Mischgastauchen, übersetzt aus dem Amerikanischen.

Bernd Aspacher. 2000. Enzyklopädie des Technischen Tauchens. Preis: 60,00 €. Zu bestellen bei: Dr. B. Aspacher, Schwarzklingenweg 3, 73733 Esslingen [Bernd@Aspacher.de].
Sehr empfehlenswertes Buch für das technische Tauchen und für das Höhlentauchen.

Mit Nitrox tauchen – aber sicher! 1998. Nitrox Diver Ausbildungsmanual. Offizielles Lehrmittel der deutschsprachigen Landesverbände SUSV, VDST, FLASSA, TSVÖ und LTSV. 3. Auflage. Hrsg. SUSV (Schweizer Unterwasser-Sport-Verband)

Heinz K. J. Lettnin. 1998. Tauchen mit Mischgas. Theorie, Technik, Anwendung. 129,90 DM. Gebundene Ausgabe - 300 Seiten - Springer Verlag. 3., neubearb. Aufl. ISBN: 3540644415

11.8. Tauchen in Höhlen

J. Prosser und H. V. Grey (Eds.). 1992. NSS Cave Diving Manual: An Overview. (Sec. Printing 1998). Published by: The Cave Diving Section of the National Speleological Society, Inc., P. O. Box 959, Branford, Florida 32008-0950, USA. Preis: 25,00 USD plus Versandkosten.

Bestellung via Email: nss@caves.org (*preiswerter als über Buchhandel*)

Hinweis (März 2004): Es ist vermutlich inzwischen eine neue Auflage erschienen. Offizieller Preis etwa 32,95 USD (ermäßigt: 29,70 USD). Siehe hierzu unter:

<http://www.scubadivingbooks.com/scubadivingbooks/cavedivingmanual.htm>

Bei NSS für 25,00 USD. Siehe <http://caves.org/service/bookstore/diving.html>

Dies ist das Standard-Lehrbuch für Höhlentaucher.

Sheck Exley. 1986. Basic Cave Diving – a blueprint for survival. 5. neue Auflage. Published by: The Cave Diving Section of the National Speleological Society, Inc., P. O. Box 959, Branford, Florida 32008-0950, USA. Preis: 10,00 USD plus Versandkosten. Bestellung via Email: nss@caves.org (*preiswerter als über Buchhandel*)

Einfaches Manual für Höhlentaucher. Jedes Kapitel beginnt zur Abschreckung mit der Schilderung eines Tauchunfalls.

J. L. Zumrick, J. J. Prosser und H. V. Grey. 1988. NSS Cavern Diving Manual. 1. Aufl. Published by: The Cave Diving Section of the National Speleological Society, Inc., P. O. Box 959, Branford, Florida 32008-0950, USA. Preis: 15,00 USD plus Versandkosten. Bestellung via Email: nss@caves.org (*preiswerter als über Buchhandel*)

Lehrbuch für „Höhlentaucher“, die nur soweit in Höhlen tauchen, dass sie das Sonnenlicht/Tageslicht während des gesamten Tauchganges noch sehen können.

Bernd Aspacher. 2000. Enzyklopädie des Technischen Tauchens. Preis: 60,00 €.

Zu bestellen bei: Dr. B. Aspacher, Schwarzklingenweg 3, 73733 Esslingen

[Bernd@Aspacher.de].

Sehr empfehlenswertes Buch für das technische Tauchen und für das Höhlentauchen.

11.9. Trainingslehre

Uwe Hoffmann. 1995. Sporttauchen: technisch-methodische Hilfen für die Anfängerausbildung. 1. Aufl. Bockenem: Sport-Fahnenmann-Verl. (Schwimmen, Bd. 2). Preis: 19,00 €. ISBN: 3-88565-024-X

Das Buch enthält viele Übungsvorschläge (mit Skizzen) für die Praxis.

Dietmar Lüchtenberg. 1998. Tauchsporttraining. 2., überarb. Neuauflage. Meyer und Meyer, Aachen. Preis: 16,90 €. ISBN 3-89124-286-7

Es werden zahlreiche Trainingsübungen in übersichtlicher Form dargestellt. U. a. werden dabei Trainingsziele und Belastungsdosierung nach neusten trainingswissenschaftlichen Erkenntnissen beschrieben.

Jürgen Kolenda. 1990. Trainingstips für Flossenschwimmen. 1990. Verl. Nagelschmid, Stuttgart (Edition Leistungssport Flossenschwimmen). Preis: 9,95 €. ISBN 3-925342-45-1

11.10. Tauchzeitschriften / Mitteilungsblätter

Divemaster- das Fachmagazin für Tauchtechnik, Tauchmedizin und Tauchausbildung. MIT-Press, Stuttgart, Erscheinungsweise: vierteljährlich. Jahresabo ab 31,00 €.

Lektüre für alle Forschungs- und Sporttaucher zur Weiterbildung.

Rodale's Scuba Diving: The magazine divers trust. ISSN 1060-9563. Erscheint monatlich (ausgenommen Februar und Dezember). Preis für 10 Ausgaben (Ausland): 29,97 USD, für Tauchlehrer kostenlos!

Interessantes Magazin für Sporttaucher. Es werden auch Trends aufgezeigt, die Deutschland erst später erreichen.

Tiefbau. Amtliches Mitteilungsblatt der Tiefbau-Berufsgenossenschaft. Jahresabonnementspreis: 42,00 €, Studenten/Auszubildende 21,00 €, Einzelheft 4,00 €. Bei TBG-Mitgliedsbetrieben ist der Bezugspreis im Mitgliedsbeitrag enthalten. Vertrieb: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Paosostraße 7, 81243 München, Tel.: 089 / 829960-0. ISSN: 0944-8780

In diesem Organ werden Änderungen von Vorschriften für Tauchereinsätze veröffentlicht. Sollte in jedem Taucherbetrieb vorhanden sein.

11.11. Bestimmungsbücher (Meeresbiologie)

(Auswahl und Kommentare von Frank Donat, Universität Oldenburg)

Matthias Bergbauer und Bernd Humberg. 1999. Was lebt im Mittelmeer? Ein Bestimmungsbuch für Taucher und Schorchler. Kosmos Naturführer. 1. Auflage. Stuttgart. Preis: 24,50 €. ISBN: 3-440-07733-0.

Sehr kompakter aber vielfältiger Farbfotoführer. Gute Gliederung, rel. viel Informationen zu den Arten.

- David Erwin und Bernard Picton. 1987. Guide to inshore marine life. Immel Publishing London. 1. Auflage. Preis: £12.95 (+ £1.20 p&p), 21,49 EUR (bei amazon.de). ISBN: 0907151345.
Für den Bereich östlicher Atlantik/Nordsee. Schöne Farbfotos, gut für Einsteiger.
- R. Fechter und G. Falkner. 1990. Weichtiere. Mosaik Verlag München. ISBN: 3576034145.
Ein sehr schöner Farbfoto-Führer für die Weichtiere Europas (Salz-, Süßwasser- und Landschnecken; Salz- und Süßwassermuscheln und Tintenschnecken). Kostete ehemals 29,80 DM (bei Amazon.de nur gebraucht erhältlich).
- P. Gloer, C. Meier-Brook und O. Ostermann. 1992. Süßwassermollusken. DJN, 10. Auflage. Für ehemals nur 10,00 DM beim Deutschen Jugendbund für Naturbeobachtung, Justus-Strandes-Weg 14, 22337 Hamburg zu bestellen. ISBN: 3-923376-02-2.
Der beste, mir bekannte Führer für Schnecken und Muscheln des Süßwassers (S/W-Fotos & Zeichnungen). Vollständig, leicht zu benutzen, mit Roter Liste und Verbreitungskarten.
- Helmut Göthel. 1997. Farbatlas Meeresfauna. Niedere Tiere und Fische. Ulmer 2. Auflage. Stuttgart. Preis: 24,90 €. ISBN: 3800173689
Typischer Bildbestimmungsband - schöne Farbfotos.
- Klaus Janke und Bruno P. Krämer. 2003. Düne, Strand und Wattenmeer. Tiere und Pflanzen unserer Küsten. Kosmos Naturführer. Stuttgart. 4. Aufl. 2003. 319 S. m. über 360 Farbfotos. Preis: 12,90 €. ISBN: 3440095762.
Eigentlich für den Strandwanderer gedacht, findet man hier aber auch viele Lebewesen, die einem beim Tauchen in der Nordsee begegnen.
- Peter Kornmann und P.-H. Sahling. 1983. Meeresalgen von Helgoland. Benthische Grün-, Braun- und Rotalgen. Sonderabdruck aus Helgoländer Wissenschaftl. Meeresunters. 29 [1977], Nachdruck 1993, 289 S. + Anhang.) Hamburg (Biologische Anstalt Helgoland).
Ein sehr detaillierter SW-Fotobestimmungsschlüssel mit vielen Informationen, der bei der Biologischen Anstalt auf Helgoland erhältlich ist (war?).
- G. Luther. 1987. Seepocken der deutschen Küstengewässer. Biologische Anstalt Helgoland.
Ein detaillierter Bestimmungsschlüssel (Strichzeichnungen), der bei der Biologischen Anstalt auf Helgoland erhältlich ist (war?).
- Steven Weinberg. 1998. Rotes Meer, Indischer Ozean. Delius Klasing. 1. Auflage. Bielefeld. Preis: ca. 15,00 €. ISBN: 3-7688-1202-2.
Ein sehr gutes Einsteigerbuch (mit Farbfotos) für den subtropischen Bereich.

Erich Ziegelmeier. 1984. Die Schnecken (Gastropoda) der deutschen Meeresgebiete und brackigen Küstengewässer. Biologische Anstalt Helgoland 1966, unveränderter Nachdruck 1989.

Ein detaillierter S/W-Fotobestimmungsschlüssel, der bei der Biologischen Anstalt auf Helgoland erhältlich ist (war?).

Erich Ziegelmeier. 1974. Die Muscheln (Bivalvia) der deutschen Meeresgebiete. Biologische Anstalt Helgoland, 1957, veränderter Nachdruck 1974.

Ein detaillierter S/W-Fotobestimmungsschlüssel, der bei der Biologischen Anstalt auf Helgoland erhältlich ist (war?).

Notizen:

Anhang A **Austauchtabelle der BGV C23 [VBG 39]**

Nachfolgend wiedergegeben sind die Tabellen: 2 (Druckluft), 6, 1 und 5 aus der Anlage 1 der UVV „Taucherarbeiten“ (BGV C23 /bisherige VBG 39) in der Fassung vom 1. Januar 2001.

Tauchtiefe 12 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
165	1:00	-	-	-	-	-	-	1:00	Ja
170	0:45	-	-	-	-	-	3	3:45	Ja
180	0:45	-	-	-	-	-	5	5:45	Ja
210	0:45	-	-	-	-	-	10	10:45	Nein
240	0:45	-	-	-	-	-	15	15:45	Nein
270	0:45	-	-	-	-	-	25	25:45	Nein
300	0:45	-	-	-	-	-	30	30:45	Nein
330	0:45	-	-	-	-	-	35	35:45	Nein
360	0:45	-	-	-	-	-	40	40:45	Nein

Tauchtiefe 15 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
80	1:15	-	-	-	-	-	-	1:15	Ja
90	1:00	-	-	-	-	-	3	4:00	Ja
100	1:00	-	-	-	-	-	5	6:00	Ja
110	1:00	-	-	-	-	-	7	8:00	Ja
120	1:00	-	-	-	-	-	12	13:00	Ja
130	1:00	-	-	-	-	-	15	16:00	Ja
140	1:00	-	-	-	-	-	20	21:00	Ja
150	1:00	-	-	-	-	-	25	26:00	Ja
160	1:00	-	-	-	-	-	25	26:00	Nein
170	1:00	-	-	-	-	-	30	31:00	Nein
180	1:00	-	-	-	-	-	35	36:00	Nein
210	1:00	-	-	-	-	-	45	46:00	Nein
240	1:00	-	-	-	-	-	60	61:00	Nein
270	1:00	-	-	-	-	-	70	71:00	Nein

Tauchtiefe 18 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Austauschstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekompression [min:sec]	Wiederholungstauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
50	1:30	-	-	-	-	-	-	1:30	Ja
55	1:15	-	-	-	-	-	3	4:15	Ja
60	1:15	-	-	-	-	-	5	6:15	Ja
70	1:15	-	-	-	-	-	7	8:15	Ja
80	1:15	-	-	-	-	-	15	16:15	Ja
90	1:15	-	-	-	-	-	20	21:15	Ja
100	1:15	-	-	-	-	-	25	26:15	Ja
110	1:15	-	-	-	-	-	30	31:15	Ja
120	1:15	-	-	-	-	-	35	36:15	Ja
130	1:00	-	-	-	-	3	40	44:00	Ja
140	1:00	-	-	-	-	5	45	51:00	Ja
150	1:00	-	-	-	-	7	50	58:00	Ja
160	1:00	-	-	-	-	10	50	61:00	Ja
170	1:00	-	-	-	-	12	55	68:00	Ja
180	1:00	-	-	-	-	15	60	76:00	Nein
210	1:00	-	-	-	-	20	70	91:00	Nein

Tauchtiefe 21 m										
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich	
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m			
35	1:45	-	-	-	-	-	-	1:45	Ja	
40	1:30	-	-	-	-	-	3	4:30	Ja	
45	1:30	-	-	-	-	-	5	6:30	Ja	
50	1:30	-	-	-	-	-	7	8:30	Ja	
60	1:30	-	-	-	-	-	15	16:30	Ja	
70	1:30	-	-	-	-	-	20	21:30	Ja	
80	1:15	-	-	-	-	3	25	29:15	Ja	
90	1:15	-	-	-	-	5	30	36:15	Ja	
100	1:15	-	-	-	-	7	35	43:15	Ja	
110	1:15	-	-	-	-	10	40	51:15	Ja	
120	1:15	-	-	-	-	15	45	61:15	Ja	
130	1:15	-	-	-	-	20	50	71:15	Ja	
140	1:15	-	-	-	-	25	55	81:15	Ja	
150	1:00	-	-	-	3	25	60	89:00	Nein	
180	1:00	-	-	-	5	40	75	121:00	Nein	

Tauchtiefe 24 m	Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
			18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
			25	2:00	-	-	-	-		
30	1:45	-	-	-	-	-	3	4:45	Ja	
35	1:45	-	-	-	-	-	5	6:45	Ja	
40	1:45	-	-	-	-	-	7	8:45	Ja	
45	1:45	-	-	-	-	-	10	11:45	Ja	
50	1:45	-	-	-	-	-	15	16:45	Ja	
60	1:30	-	-	-	-	3	20	24:30	Ja	
70	1:30	-	-	-	-	5	30	36:30	Ja	
80	1:30	-	-	-	-	10	35	46:30	Ja	
90	1:30	-	-	-	-	15	40	56:30	Ja	
100	1:15	-	-	-	3	20	45	69:15	Ja	
110	1:15	-	-	-	3	25	50	79:15	Ja	
120	1:15	-	-	-	3	30	60	94:15	Ja	
130	1:15	-	-	-	5	30	65	101:15	Ja	
140	1:15	-	-	-	10	35	70	116:15	Nein	
150	1:15	-	-	-	10	40	75	126:15	Nein	

Tauchtiefe 27 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Austauschstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekompression [min:sec]	Wiederholungstauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
20	2:15	-	-	-	-	-	-	2:15	Ja
25	2:00	-	-	-	-	-	3	5:00	Ja
30	2:00	-	-	-	-	-	5	7:00	Ja
35	2:00	-	-	-	-	-	10	12:00	Ja
40	1:45	-	-	-	-	3	12	16:45	Ja
45	1:45	-	-	-	-	3	15	19:45	Ja
50	1:45	-	-	-	-	5	20	26:45	Ja
60	1:45	-	-	-	-	7	30	38:45	Ja
70	1:45	-	-	-	3	12	35	51:45	Ja
80	1:30	-	-	-	3	17	40	61:30	Ja
90	1:30	-	-	-	5	25	50	81:30	Ja
100	1:30	-	-	-	10	30	55	96:30	Ja
110	1:30	-	-	-	12	30	65	108:30	Ja
120	1:30	-	-	-	15	35	70	121:30	Ja
130	1:15	-	-	3	20	40	75	139:15	Nein

Tauchtiefe 30 m	Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
			18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
			15	2:30	-	-	-	-		
20	2:15	-	-	-	-	-	3	5:15	Ja	
25	2:15	-	-	-	-	-	5	7:15	Ja	
30	2:15	-	-	-	-	-	10	12:15	Ja	
35	2:00	-	-	-	-	3	12	17:00	Ja	
40	2:00	-	-	-	-	5	17	24:00	Ja	
45	2:00	-	-	-	-	7	20	29:00	Ja	
50	2:00	-	-	-	-	10	25	37:00	Ja	
60	1:45	-	-	-	3	15	35	54:45	Ja	
70	1:45	-	-	-	5	20	40	66:45	Ja	
80	1:45	-	-	-	10	25	50	86:45	Ja	
90	1:30	-	-	3	12	30	60	106:30	Ja	
100	1:30	-	-	3	17	35	65	121:30	Ja	
110	1:30	-	-	3	20	40	75	139:30	Nein	

Tauchtiefe 33 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Austauschstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekompression [min:sec]	Wiederholungstauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
12	2:45	-	-	-	-	-	-	2:45	Ja
15	2:30	-	-	-	-	-	3	5:30	Ja
20	2:30	-	-	-	-	-	5	7:30	Ja
25	2:15	-	-	-	-	3	7	12:15	Ja
30	2:15	-	-	-	-	3	12	17:15	Ja
35	2:15	-	-	-	-	5	15	22:15	Ja
40	2:00	-	-	-	3	7	20	32:00	Ja
45	2:00	-	-	-	3	10	25	40:00	Ja
50	2:00	-	-	-	5	15	30	52:00	Ja
60	2:00	-	-	-	10	20	40	72:00	Ja
70	1:45	-	-	3	12	25	50	91:45	Ja
80	1:45	-	-	3	15	30	60	109:45	Ja
90	1:45	-	-	5	20	35	65	126:45	Ja
100	1:45	-	-	10	25	40	75	151:45	Nein

Tauchtiefe 36 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Austauschstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekompression [min:sec]	Wiederholungstauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
10	3:00	-	-	-	-	-	-	3:00	Ja
15	2:45	-	-	-	-	-	3	5:45	Ja
20	2:45	-	-	-	-	-	7	9:45	Ja
25	2:30	-	-	-	-	3	12	17:30	Ja
30	2:30	-	-	-	-	5	17	24:30	Ja
35	2:15	-	-	-	3	10	20	35:15	Ja
40	2:15	-	-	-	3	12	25	42:15	Ja
45	2:15	-	-	-	5	15	30	52:15	Ja
50	2:00	-	-	3	7	20	35	67:00	Ja
60	2:00	-	-	3	12	25	45	87:00	Ja
70	2:00	-	-	5	15	30	55	107:00	Ja
80	2:00	-	-	7	20	35	65	129:00	Ja
90	1:45	-	3	12	25	40	75	156:45	Nein

Tauchtiefe 39 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
8	3:15	-	-	-	-	-	-	3:15	Ja
10	3:00	-	-	-	-	-	3	6:00	Ja
15	3:00	-	-	-	-	-	5	8:00	Ja
20	2:45	-	-	-	-	3	7	12:45	Ja
25	2:45	-	-	-	-	5	15	22:45	Ja
30	2:30	-	-	-	3	7	20	32:30	Ja
35	2:30	-	-	-	5	10	25	42:30	Ja
40	2:15	-	-	3	7	15	30	57:15	Ja
45	2:15	-	-	3	10	20	35	70:15	Ja
50	2:15	-	-	3	10	25	45	85:15	Ja
60	2:15	-	-	5	15	30	55	107:15	Ja
70	2:00	-	3	10	20	35	65	135:00	Ja
80	2:00	-	3	12	25	40	75	157:00	Nein

Tauchtiefe 42 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
7	3:30	-	-	-	-	-	-	3:30	Ja
10	3:15	-	-	-	-	-	3	6:15	Ja
15	3:00	-	-	-	-	3	5	11:00	Ja
20	3:00	-	-	-	-	3	12	18:00	Ja
25	2:45	-	-	-	3	7	17	29:45	Ja
30	2:45	-	-	-	5	10	25	42:45	Ja
35	2:30	-	-	3	7	15	30	57:30	Ja
40	2:30	-	-	3	10	20	35	70:30	Ja
45	2:30	-	-	5	12	25	40	84:30	Ja
50	2:30	-	-	5	15	25	45	92:30	Ja
60	2:15	-	3	10	17	30	60	122:15	Ja
70	2:15	-	5	12	25	40	75	159:15	Nein

Tauchtiefe 45 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
6	3:45	-	-	-	-	-	-	3:45	Ja
10	3:30	-	-	-	-	-	3	6:30	Ja
15	3:15	-	-	-	-	3	7	13:15	Ja
20	3:00	-	-	-	3	5	12	23:00	Ja
25	3:00	-	-	-	3	7	20	33:00	Ja
30	2:45	-	-	3	5	12	25	47:45	Ja
35	2:45	-	-	3	7	15	30	57:45	Ja
40	2:45	-	-	5	10	20	40	77:45	Ja
45	2:30	-	3	5	12	25	45	92:30	Ja
50	2:30	-	3	7	15	30	55	112:30	Ja
60	2:15	3	5	12	20	35	65	142:15	Nein

Tauchtiefe 48 m									
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
5	4:00	-	-	-	-	-	-	4:00	Ja
10	3:45	-	-	-	-	-	5	8:45	Ja
15	3:30	-	-	-	-	3	7	13:30	Ja
20	3:15	-	-	-	3	7	15	28:15	Ja
25	3:15	-	-	-	5	10	20	38:15	Ja
30	3:00	-	-	3	7	15	30	58:00	Ja
35	3:00	-	-	5	10	20	35	73:00	Ja
40	2:45	-	3	7	15	25	45	97:45	Ja
45	2:45	-	5	10	17	30	50	114:45	Ja
50	2:30	3	5	10	20	30	60	130:30	Ja
60	2:30	3	7	15	25	40	75	167:30	Nein

Tauchtiefe 50 m										
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich	
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m			
5	4:15	-	-	-	-	-	-	4:15	Ja	
10	3:45	-	-	-	-	3	5	11:45	Ja	
15	3:30	-	-	-	3	5	12	23:30	Ja	
20	3:30	-	-	-	5	7	17	32:30	Ja	
25	3:15	-	-	3	5	12	25	48:15	Ja	
30	3:15	-	-	5	7	15	35	65:15	Ja	
35	3:00	-	3	5	10	20	40	81:00	Ja	
40	3:00	-	5	7	15	25	50	105:00	Ja	
45	2:45	3	5	10	17	30	55	122:45	Ja	
50	2:45	3	7	12	20	35	65	144:45	Nein	

Tauchtiefe 54 m		(Austauchzeit im Original in rot)								
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich	
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m			
5	4:15	-	-	-	-	-	3	7:15	Nein	
10	4:00	-	-	-	-	3	7	14:00	Nein	
15	3:45	-	-	-	3	5	12	23:45	Nein	
20	3:30	-	-	3	5	10	17	38:30	Nein	
25	3:30	-	-	5	7	15	30	60:30	Nein	
30	3:15	-	3	5	10	20	35	76:15	Nein	
35	3:15	-	5	7	12	25	45	97:15	Nein	
40	3:00	3	5	10	15	30	55	121:00	Nein	
45	3:00	5	7	12	20	35	60	142:00	Nein	

Tauchtiefe 57 m		(Austauchzeit im Original in rot)							
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
5	4:30	-	-	-	-	-	3	7:15	Nein
10	4:15	-	-	-	-	3	7	14:15	Nein
15	4:00	-	-	-	3	7	15	29:00	Nein
20	3:45	-	-	3	5	10	20	41:45	Nein
25	3:30	-	3	5	7	15	30	63:30	Nein
30	3:30	-	5	7	10	20	40	83:30	Nein
35	3:15	3	5	7	15	25	50	108:15	Nein
40	3:15	3	7	10	20	30	60	133:15	Nein

Tauchtiefe 60 m		(Austauchzeit im Original in rot)							
Tauchzeit [min]	Aufstieg bis zur ersten Aus- tauchstufe [min:sec]	Haltezeiten während des Auftauchens auf den Austauschstufen [min]						Gesamtzeit der Dekom- pression [min:sec]	Wiederholungs- tauchgang möglich
		18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m		
5	4:45	-	-	-	-	-	5	9:45	Nein
10	4:15	-	-	-	3	5	7	19:15	Nein
15	4:00	-	-	3	5	7	15	34:00	Nein
20	4:00	-	-	5	7	12	25	53:00	Nein
25	3:45	-	3	5	10	20	35	76:45	Nein
30	3:30	3	5	7	12	25	45	100:30	Nein
35	3:30	3	5	10	15	30	55	121:30	Nein

Tabelle 6: Zeitzuschlag für das Austauchen nach Wiederholungstauchgängen (siehe Abschnitt 9 der Erläuterungen (Anlage 1 der UVV „Taucherarbeiten“))

Tauchtiefe des Wiederholungstauchganges	Oberflächenintervall (in min)*									
	-30	-45	-60	-90	-120	-180	-240	-300	-360	-720
-15 m	110	90	80	70	60	50	40	30	20	15
-18 m	85	70	60	55	50	40	30	20	10	10
-20 m	65	55	50	45	40	30	25	15	10	10
-23 m	55	45	45	40	35	25	20	15	10	5
-26 m	50	40	35	35	25	25	15	15	10	5
-29 m	45	35	35	30	25	20	15	10	10	5
-32 m	40	30	30	25	25	20	15	10	10	5
-35 m	35	30	25	25	20	20	15	10	5	5
-38 m	30	25	25	20	20	15	15	10	5	5
-41 m	30	25	25	20	20	15	10	10	5	5
-44 m	25	25	20	20	15	15	10	10	5	5
-47 m	25	20	20	20	15	15	10	10	5	5
-50 m	25	20	20	15	15	15	10	10	5	5

* Oberflächenintervall ist die Zeit zwischen Beendigung der Dekompression des ersten Tauchganges und Beginn des Wiederholungstauchganges (angegeben in min).

Tabelle 1: Maximale Aufenthaltszeit unter Wasser bei Tauchtiefen bis 10,5 m (In Minuten) (siehe § 16 der UVV Taucherarbeiten)

Tauchtiefe [m]	Oberflächenintervall * [in Stunden]		
	12	6	4
7,5	360	360	360
9	360	330	300
10,5	270	250	240

* Oberflächenintervall ist die Zeit zwischen Beendigung der Dekompression des ersten Tauchganges und Beginn des Wiederholungstauchganges.

Tabelle 5: Korrekturtabelle für Tauchgänge in Höhen über 300 m („rechnerische Tauchtiefe“) (siehe Abschnitt 8 der Erläuterungen)

Tauchtiefe	Tatsächliche Höhenlage / atmosphärischer Druck					
	300-500 m 970-950 mbar	-1000 m -900 mbar	-1500 m -850 mbar	-2000 m -800 mbar	-2500 m -750 mbar	-3000 m -700 mbar
5 m	9 m	9 m	9 m	9 m	12 m	12 m
6 m	9 m	9 m	9 m	12 m	12 m	15 m
7 m	9 m	9 m	12 m	12 m	15 m	15 m
8 m	9 m	12 m	12 m	15 m	15 m	18 m
9 m	12 m	12 m	15 m	15 m	18 m	18 m
10 m	12 m	15 m	15 m	15 m	18 m	21 m
11 m	15 m	15 m	15 m	18 m	18 m	21 m
12 m	15 m	15 m	18 m	18 m	21 m	24 m
13 m	15 m	18 m	18 m	21 m	21 m	24 m
14 m	18 m	18 m	21 m	21 m	24 m	27 m
15 m	18 m	18 m	21 m	24 m	24 m	27 m
16 m	18 m	21 m	21 m	24 m	27 m	30 m
17 m	21 m	21 m	24 m	24 m	27 m	30 m
18 m	21 m	24 m	24 m	27 m	30 m	30 m
19 m	21 m	24 m	27 m	27 m	30 m	33 m
20 m	24 m	24 m	27 m	30 m	30 m	33 m
21 m	24 m	27 m	27 m	30 m	33 m	36 m
22 m	24 m	27 m	30 m	30 m	33 m	36 m
23 m	27 m	27 m	30 m	33 m	36 m	39 m
24 m	27 m	30 m	30 m	33 m	36 m	39 m
25 m	27 m	30 m	33 m	36 m	39 m	42 m
26 m	30 m	30 m	33 m	36 m	39 m	42 m
27 m	30 m	33 m	36 m	39 m	42 m	45 m
28 m	30 m	33 m	36 m	39 m	42 m	45 m
29 m	33 m	36 m	36 m	39 m	45 m	48 m
30 m	33 m	36 m	39 m	42 m	45 m	48 m
31 m	36 m	36 m	39 m	42 m	45 m	51 m
32 m	36 m	39 m	42 m	45 m	48 m	51 m
33 m	36 m	39 m	42 m	45 m	48 m	54 m
34 m	39 m	39 m	42 m	45 m	51 m	54 m
35 m	39 m	42 m	45 m	48 m	51 m	57 m
36 m	39 m	42 m	45 m	48 m	54 m	57 m
37 m	42 m	45 m	48 m	51 m	54 m	60 m
38 m	42 m	45 m	48 m	51 m	54 m	60 m
39 m	42 m	45 m	48 m	54 m	57 m	60 m
40 m	45 m	48 m	51 m	54 m	57 m	
41 m	45 m	48 m	51 m	54 m	60 m	
42 m	45 m	48 m	54 m	57 m	60 m	
43 m	48 m	51 m	54 m	57 m		
44 m	48 m	51 m	54 m	60 m		
45 m	48 m	54 m	57 m	60 m		
46 m	51 m	54 m	57 m	60 m		
47 m	51 m	54 m	60 m			
48 m	54 m	57 m	60 m			
49 m	54 m	57 m	60 m			
50 m	54 m	57 m				