



Grundlagen des Sporttauchens

Tauchtheorie zum Deutschen Tauchsportabzeichen DTSA* (CMAS *)

Herausgeber:
Hessischer Tauchsportverband e.V.

Erstellt im Rahmen der hessischen DOSB/VDST-Übungsleiterausbildung

Überarbeitet von

- | | |
|---------------------|-------------|
| • Carsten Schneider | VDST TL** |
| • Uwe Breidenstein | VDST TL** |
| • Frank Ostheimer | VDST TL**** |
| • Hansi Hähner | VDST TL*** |



Version 3.2, Stand 01.07.2008

© 2008 Hessischer Tauchsportverband e.V., Frankfurt

Verantwortlich: Frank Ostheimer, HTSV

Alle in diesem Werk enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse usw. wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und von ihnen mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Diese Dokumentation erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit. Daher erfolgen die gemachten Angaben usw. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des HTSV e.V. und der Mitarbeiter. Sie alle übernehmen deshalb keinerlei Verantwortung und Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten. Geschützte Warennamen und Warenzeichen werden nicht besonders gekennzeichnet. Aus dem Fehlen solcher Hinweise kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen oder ein freies Warenzeichen handelt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne Genehmigung des Fachbereichs Ausbildung des HTSV reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Es ist ferner ohne schriftliche Genehmigung des Verbandes nicht gestattet, Abbildungen des Buches zu scannen, im PC, auf CD oder irgend einem anderen Speichermedium zu speichern, zu verändern oder einzeln oder zusammen mit anderen Bildvorlagen zu manipulieren.

Inhaltsverzeichnis

1. DIE ABC-AUSRÜSTUNG	4
DIE TAUCHERMASKE	4
DER SCHNORCHEL.....	5
DIE FLOSSEN.....	5
ANWENDUNG DER ABC-AUSRÜSTUNG.....	6
PFLEGETIPS	7
DIE ACHT UNTERWASSER - PFLICHTZEICHEN	8
2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DES TAUCHENS OHNE GERÄT	9
LUFTBESTANDTEILE	9
LUFTDRUCK - WASSERDRUCK	9
LUFT UND WASSER UNTER DRUCK	11
LUFTDRUCKVERHÄLTNISSE IN DER LUNGE BEIM TAUCHEN OHNE GERÄT	12
WAS PASSIERT BEIM TAUCHEN OHNE GERÄT ?	13
3. MEDIZINISCHE GRUNDLAGEN DES TAUCHENS OHNE GERÄT	15
HYPERVENTILATION	17
DER WASSER NASE REFLEX	19
ESSOUFFLEMENT.....	19
4 GERÄTETAUCHEN.....	20
DAS BOYLE-MARIOTTE'SCHE GESETZ BEIM GERÄTETAUCHEN.....	20
5 DIE AUSRÜSTUNG DES GERÄTETAUCHERS.....	21
DER ATEMREGLER (LUNGENAUTOMAT).....	23
ZWEISTUFIGER ATEMREGLER	24
DRUCKLUFTTAUCHGERÄT.....	26
UNTERWASSERMANOMETER – LUFTINTEGRIERTER TAUCHCOMPUTER	27
TAUCHCOMPUTER FINIMETER	27
RETTUNGS- UND TARIERHILFE (JACKET).....	28
NOTWENDIGKEIT UND HANDHABUNG DES JACKETS.	28
6 MATHEMATISCHE, PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DES GERÄTETAUCHENS.....	30
TAUCHEN UND RECHNEN	30
DIE DEKOMPRESSIONSTABELLE.....	33
DIE DEKOMPRESSION	36
HÖREN UNTER WASSER.....	38
FARBENSEHEN UNTER WASSER	38
6 MEDIZINISCHE GRUNDLAGEN DES GERÄTETAUCHENS	39
TAUCHUNFÄLLE	39
DER DEKOMPRESSIONSUNFALL.....	39
SYMPTOME DES DEKOMPRESSIONSUNFALLS	39
BEHANDLUNG DES DEKOMPRESSIONSUNFALLS.....	40
DER LUNGENÜBERDRUCKUNFALL	40
DER TIEFENRAUSCH	42
VERHALTEN BEI TAUCHUNFÄLLEN.....	43
7 TAUCHEN UND UMWELT	44

1. Die ABC-Ausrüstung

Die Tauchermaske

Jeder Schwimmer weiß, daß man unter Wasser alles verschwommen sieht. Der Grund dafür ist, daß das Wasser die Linsenwirkung des Auges weitgehend aufhebt. Erst mit der Tauchermaske kann man wieder so scharf und deutlich sehen, als blicke man in ein Aquarium. Durch den veränderten Brechungsindex des Wassers (1,33) gegenüber der Luft (1,0) erscheinen allerdings alle Dinge näher und größer. Die Entfernungs- und Größenverhältnisse im Wasser sind etwa $\frac{1}{3}$ vergrößert und $\frac{1}{4}$ verkürzt. 4 Meter Entfernung sehen wie 3 Meter aus.

Schwimmb Brillen

Sie ermöglichen Sicht auch unter Wasser, sind jedoch in erster Linie als Augenschutz gedacht und zum tauchen nicht geeignet, da die Nase nicht mit eingeschlossen ist und somit das zunehmende Anpressen der Schwimmbrille durch den Wasserdruck nicht durch Nachblasen von Atemluft aus der Nasenöffnung ausgeglichen werden kann.

Schnorchelmasken und Vollgesichtsmasken

Masken mit angesetztem Schnorchel sind als lebensgefährlich abzulehnen. Vollgesichtsmasken mit direktem Anschluß an ein Atemgerät, werden im allgemeinen nur von Berufstauchern verwendet. Für den Sporttaucher ist diese Maske ungeeignet, da die Möglichkeit der Wechselatmung nicht gegeben ist.

Taucherhalbmasken

Die Halbmaske ist die einzige Maske, die für den Sporttaucher geeignet ist. Sie bedeckt Augen und Nase und ermöglicht durch den Nasenerker den Druckausgleich. Je nach Bedarf können die Sicherheitsgläser auch durch optische Gläser ersetzt werden. Die Form (Dichtung) der Maske muß auf das eigene Gesicht passen, beim Fachhändler verschiedene Modelle ausprobieren



Taucherhalbmasken

Der Schnorchel

Durch den Schnorchel wird unsere Atemöffnung an den Hinterkopf verlegt. Wir können ohne für die Atmung den Kopf aus dem Wasser heben zu müssen, von der Oberfläche aus die Unterwasserwelt ständig im Auge behalten.

Der Schnorchel sollte aus einem starren Rohr bestehen, maximal 35 cm lang und einen Durchmesser von 1,8 - 2,5 cm haben. Bei längeren und dickeren Schnorcheln besteht die Gefahr der Pendelatmung. Das Mundstück muß flexibel und anatomisch geformt sein. Die Verbindung zum Atemrohr darf nicht aus einem Faltenschlauch bestehen, denn in den Falten sammelt sich Wasser und dies kann dann beim Einatmen zu einem Hustenreiz führen. Außerdem gelangt beim schnellen Schwimmen nicht genügend Luft durch den gequetschten Faltenschlauch in unsere Lunge. Um von anderen Wassersportlern besser erkannt zu werden, sollte der Schnorchel am oberen Ende eine signalfarbene Markierung tragen.



einfacher Schnorchel



Schnorchel mit Ausblasventil

Die Flossen

Die Flossen bewirken eine Vergrößerung der Fußfläche und damit einen erhöhten Vortrieb. Eine gute Flosse sollte ein weiches, gut passendes Fußbett und ein härteres Flossenblatt haben. Ein abgewinkeltes Flossenblatt ermöglicht eine bessere Kraftübertragung auf den Fuß. Die Flossen sollten fest, aber bequem am Fuß sitzen. Im Schwimmbad und für das Schnorcheln sind Flossen mit Fußteil zu bevorzugen, während beim Gerätetauchen (in Verbindung mit Füßlingen des Kälteschutzanzuges) meist die offene Form mit Fersenband Verwendung findet. Die Härte des Flossenblattes sollte dem Trainingszustand angepasst sein. Zu Beginn nicht zu hart.



Schwimm oder Schnorchelflosse



Geräteflosse (für Füßlinge/Kälteschutz)

Anwendung der ABC-Ausrüstung

Übung: Maske ausblasen

Wir tauchen 1-2 Meter tief ab und richten den Körper im Wasser senkrecht auf, so daß der Kopf in Richtung Wasseroberfläche zeigt. Die Maske durch ziehen am oberen Rand fluten, dann den Kopf nach hinten legen, Blick zur Wasseroberfläche. Mit einer Hand die Maske am oberen Rand leicht an die Stirn drücken, mit kurzen Stößen Luft durch die Nase in die Maske einblasen. Dies so lange wiederholen, bis die Luft das Wasser aus der Maske verdrängt hat. Diese Übung muß ruhig und sauber durchgeführt werden. Es erfordert einige Übung!

Muß beim Abtauchen ein Druckausgleich in der Maske herbeigeführt werden, so wird ähnlich wie beim Maskenausblasen Luft durch die Nase in die Maske eingeblasen, bis diese wieder locker auf dem Gesicht aufliegt.

(siehe Kapitel: Der Druckausgleich).



Maske ausblasen

Schnorchel

Der Schnorchel wird entweder mit dem Schnorchelhalter am Maskenband befestigt oder einfach unter das Maskenband geschoben. Beim Tauchen eingedrungenes Wasser wird an der Oberfläche durch einen kurzen, kräftigen Ausatemstoß aus dem Schnorchel hinausgeblasen.

Flossen

Beim Schnorcheln in Bauchlage werden die Arme nach vorne gestreckt, die Beine führen den Kraul-Beinschlag aus (kein Fahrradfahren!).

Nie mit Flossen am Beckenrand laufen, Unfallgefahr! (Flossendefekt).

Übung: Abtauchen Kopfwärts

Phase I

Der Taucher gleitet mit leichtem Flossenschlag an der Oberfläche. Die Arme werden vorgehalten, der Körper nimmt eine horizontale Schwimmelage ein. Der anzutauchende Punkt in der Tiefe wird fixiert.

Phase II

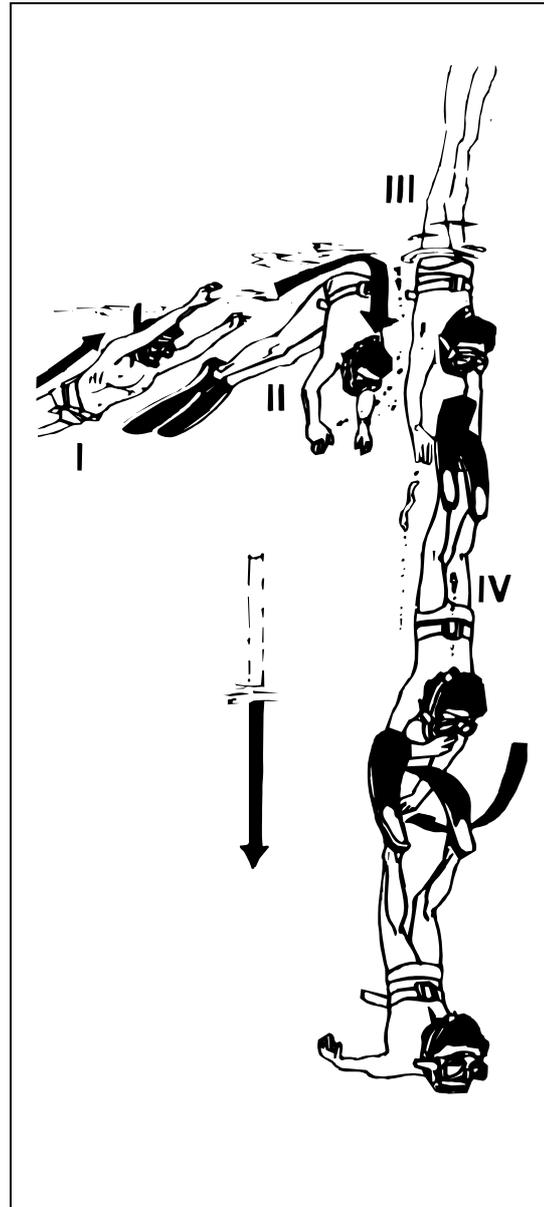
Nach einem letzten Flossenschlag und tiefer Einatmung wird der Oberkörper vertikal abgewinkelt.

Phase III

Die Beine werden geschlossen über Wasser gestreckt in die Vertikale geschwungen. Durch den Auftriebsverlust der über Wasser ragenden Beine wird der Körper stark unter Wasser gedrückt.

Phase IV

Erst wenn der Körper, inkl. Flossen, vollständig eingetaucht ist, setzt der Flossenschlag wieder ein. Gleichzeitig wird der Druckausgleich ausgeführt.



Abtauchen

Auftauchen

Es wird immer langsam aufgetaucht mit max. 10 m/min, beim Tauchen mit DTG nahe der Oberfläche bis zu 3m/min. Während des Aufstiegs achtet man auf Hindernisse Schwimmer, Boote. Eine Hand nach oben strecken, langsam um die eigene Achse drehen und nach oben schauen. An der Oberfläche den Schnorchel ausblasen.

Pflegetips

Die ABC-Ausrüstung vor direkter Sonneneinstrahlung und Berührung mit Sonnenschutz, Hautcremes und anderen Fetten schützen. Nach Gebrauch im Salzwasser mit Süßwasser abspülen und im Schatten trocknen.

Die acht Unterwasser - Pflichtzeichen



2. Physikalische Grundlagen des Tauchens ohne Gerät

Luftbestandteile

Die uns umgebende Luft besteht nicht aus einem einzelnen Gas, sondern aus einem Gasgemisch. Trockene Luft setzt sich wie folgt zusammen:

	Einatemluft	Ausatemluft
	ca. Vol %	ca. Vol %
O ₂ = Sauerstoff	21	17
N ₂ = Stickstoff	78	78
CO ₂ = Kohlendioxyd	0,03	4
Rest = Edelgase	1	1

Da bei der Atmung Sauerstoff (O₂) zu Kohlendioxid (CO₂) umgewandelt wird, unterscheidet sich die Zusammensetzung der Ein- und Ausatemluft.

Luftdruck - Wasserdruck

Wer hat sich schon einmal nach dem Gewicht der Luft gefragt, vom Druck der Luft hört man etwas im Wetterbericht. Für uns Taucher ist es aber notwendig mehr über diese Dinge zu wissen, denn nur so können wir auch die physikalischen Gegebenheiten unter Wasser verstehen.

Alle Gegenstände haben eine Gewichtskraft (m * g). Auch Luft hat eine Masse und somit eine Gewichtskraft. Bei einer Höhe der atmosphärischen Luftsäule von 80-100 km kommt eine große Masse Luft zustande. Entscheidend ist jedoch die Gewichtskraft auf eine bestimmte Fläche.

Gewichtskraft pro Flächeneinheit nennt man **Druck**.

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$$

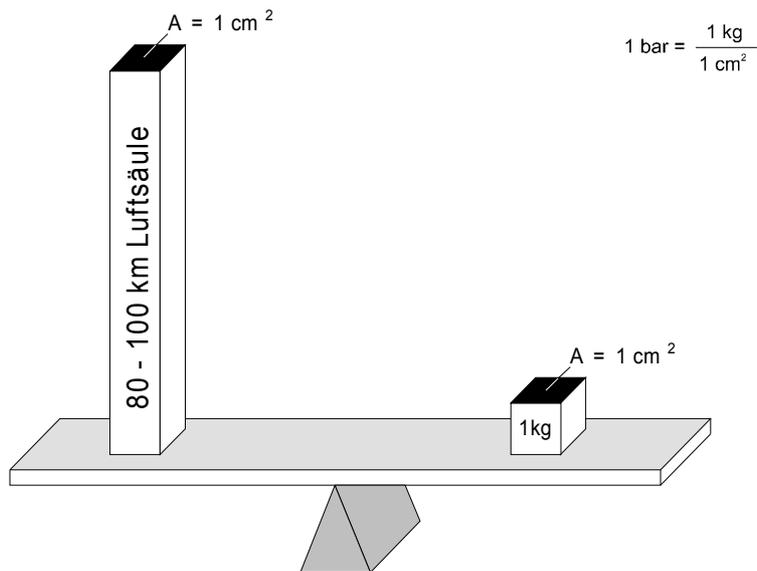
Über jedem cm² Erdoberfläche steht eine Luftsäule, die ein Masse von 1 kg hat.

Diese Masse entspricht einer Gewichtskraft von 10 Newton. Newton (N) ist die physikalische Einheit für Kraft (F). Die Abkürzung für die Fläche ist A.

10 Newton pro cm² bezeichnet man als **1 bar**.

$$1 \text{ bar} = \frac{10N}{1\text{cm}^2} \approx \frac{1Kg}{1\text{cm}^2}$$

Es lastet also auf jedem Quadratzentimeter des menschlichen Körpers eine Gewichtskraft von 10 N. Die Oberfläche des Menschen beträgt 15000 - 18000 Quadratzentimeter. Ein Gewicht von 15 - 18 Tonnen, das auf einer derartigen Fläche aufliegt, erzeugt ebenfalls einen Druck von einem bar. Eine Belastung des menschlichen Körpers ergibt sich hieraus nicht.



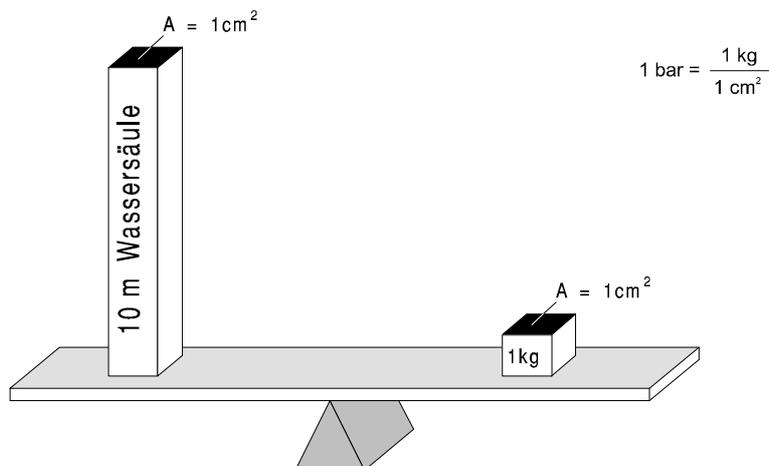
Gewicht der Luftsäule

Die festen und flüssigen Bestandteile unseres Körpers (z.B. Knochen und Blut) zeigen keine Wirkung bei diesem Druck bzw. sind nicht zusammendrückbar (inkompressibel). Für die luftgefüllten Teile des Körpers gilt: Dem Druck von Außen wirkt ein gleicher Druck von Innen entgegen. Beispielsweise steht die Luft in der Lunge auch unter diesem Druck. Darum wird unser Körper nicht zusammengequetscht, und wir Spüren diesen Druck nicht.

Da Wasser schwerer ist als Luft, hat bereits eine Wassersäule von 10m eine Gewichtskraft von 10 N/cm^2 (1Bar). Somit verdoppelt sich bereits in 10 Meter Wassertiefe der uns umgebende Druck.

Es gilt:

$$\text{Umgebungsdruck in bar} = \frac{\text{Tauchtiefe in Meter}}{10} + 1(\text{Umgebungsdruck})$$



Gewicht der Wassersäule

Luft und Wasser unter Druck

Luft (Gas) kann im Gegensatz zu Wasser (Flüssigkeit) komprimiert werden. Den Zusammenhang zwischen dem Druck und dem zur Verfügung stehenden starren Raum beschreibt das

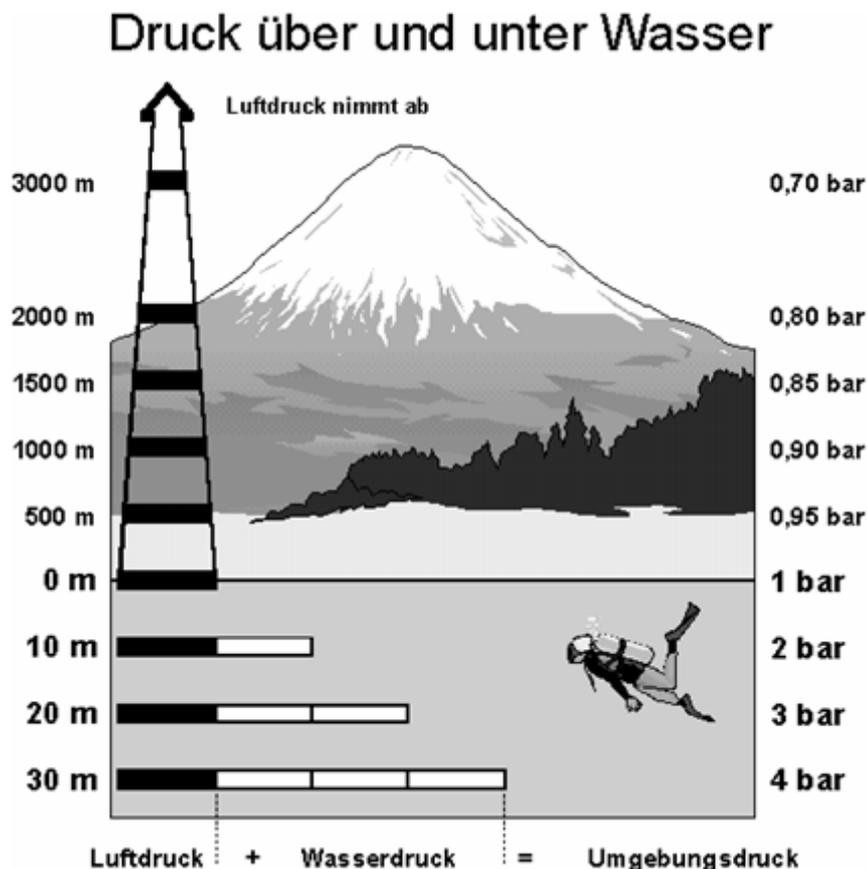
BOYLE-MARRIOTTESCHE-GESETZ:

"Bei gleichbleibender Temperatur steht für eine gegebene Gasmenge der Druck im umgekehrten Verhältnis zu seinem Volumen."

In einem Raum befindet sich ein Ballon mit 10 l Volumen bei einem Umgebungsdruck von 1 bar. Erhöht man diesen Druck auf 2 bar, so verringert sich das Volumen auf 5 l (die Hälfte). Das Produkt aus dem Druck und aus dem Volumen bleibt aber stets gleich (10 l x 1 bar = 5 l x 2 bar = 10 barl). Bei einer Erhöhung des Druckes auf 4 bar verringert sich das Volumen auf 2,5 l, die Multiplikation des Druckes mit dem Volumen ergibt auch jetzt wieder denselben Wert (2,5 l x 4 bar = 10 barl) (Die Einheit „barliter“ ist Physikalisch unsauber, erleichtert uns aber die Berechnung der Gasmengen in den DTGs sehr.)

$10\text{ l} \times 1\text{ bar} / 5\text{ l} \times 2\text{ bar} / 2,5\text{ l} \times 4\text{ bar} / 2\text{ l} \times 5\text{ bar} = 10\text{ barliter}$

Volumenveränderung einer abgeschlossener Luftmenge bei Druckerhöhung gemäß BOYLE-MARIOTTE

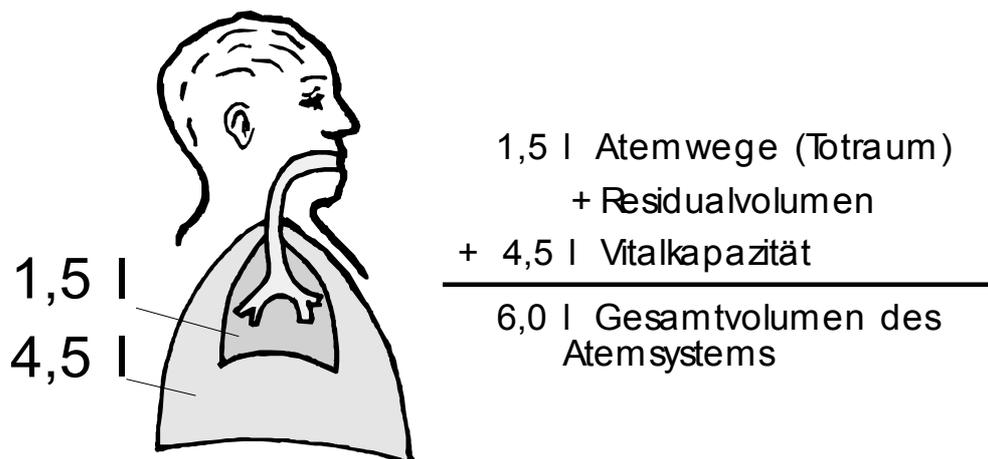


So wie wir eben einen Ballon von 10 Liter Inhalt im Gedankenversuch auf 30 Meter Tiefe gezogen haben, wobei das Volumen kleiner, der Druck entsprechend größer wurde, so verhält sich auch die luftgefüllte Lunge des Freitauchers (Taucher ohne Gerät). Ihm steht nur ein Luftvolumen von ca. 6 Litern zur Verfügung, das sich ebenfalls als abgeschlossene Gasmenge nach dem BOYLE-MARIOTTESCHEN-GESETZ verhält.

Luftdruckverhältnisse in der Lunge beim Tauchen ohne Gerät

Bedingt durch sein relativ kleines Lungenvolumen kann der Mensch nur kurze Zeit die Luft anhalten. Die Grenze beim Tauchen ohne Gerät kann man im allgemeinen mit 2 Minuten ansetzen. Die Geschwindigkeit beim Abtauchen bedeutet keine Gefahr, wenn wir den Druckausgleich vornehmen.

Es soll hier erklärt werden, warum es für den Menschen eine bestimmte Tauchtiefe gibt, die er nicht ohne Gefahr einer gesundheitlichen Schädigung überschreiten kann und auch dass nur bei vollen Lungen und nach langem Training.



Volumenverhältnisse der Lunge (Durchschnittswerte)

Bezeichnungen der Lungenvolumina

- Totraum :** Luftmenge in den Atemwegen
- Residualvolumen :** "Größe" der Lunge nach vollständigem Ausatmen
- Restkapazität :** Summe aus Totraum und Residualvolumen
- Vitalkapazität :** Luftmenge, die bei maximaler Ein- bzw Ausatmung bewegt werden kann

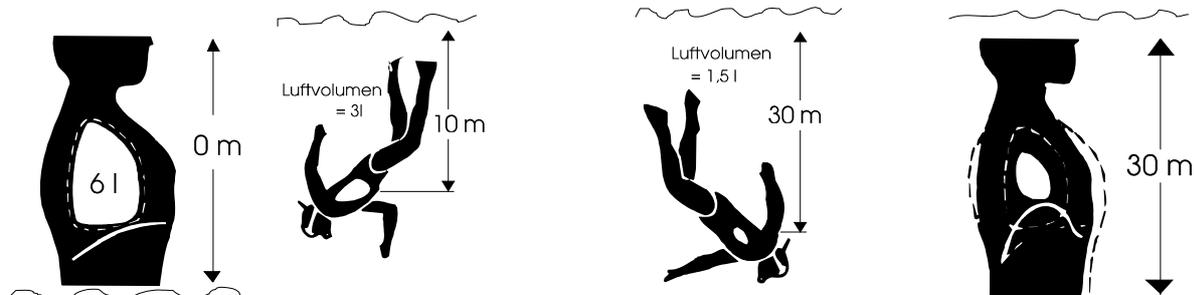
Was passiert beim Tauchen ohne Gerät ?

Die Lungen werden maximal gefüllt (etwa 6 l). Beim Abtauchen nimmt der Umgebungsdruck mit steigender Tiefe zu, dadurch wird der Brustkorb zusammen und der Bauch eingedrückt, was zu einem Höherentreten des Zwerchfelles führt. Dadurch steigt auch im Brustinnern der Druck an (Druckerhöhung = Volumenverkleinerung nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz). In einer Wassertiefe von 30 Metern, Drucksteigerung auf das 4-fache, ist das Luftvolumen in der Brust auf ein Viertel verkleinert. Die 6 Liter Gesamtkapazität sind auf einen Raum von 1,5 Litern zusammengedrückt, dieser entspricht aber dem Volumen der Restkapazität, d.h. dem Teil des Lungeninhaltes, der nach tiefer Ausatmung noch luftgefüllt bleibt. Durch den ebenfalls 4-fachen Druck in dem Lungenvolumen herrscht aber noch Druckgleichheit zwischen dem Innern der Lunge und dem umgebenden Wasser.

Nun ist jedoch die Tiefengrenze erreicht. Wird noch tiefer getaucht, steigt der Außendruck weiter an. Der Druck im Brustinnenraum kann jedoch nicht mehr gesteigert werden, da der Brustkorb nicht mehr ohne Verletzung verkleinert werden kann. Im Brustkorb entsteht ein **relativer Unterdruck**. Dies ist für den Taucher das gefährliche Stadium. Es wird das im großen Blutkreislauf unter dem Außendruck stehende Blut in den kleinen Lungenkreislauf und die Alveolen der Lunge hineingesogen.

Blut und Gewebeflüssigkeit wird in die Lunge gesaugt. Es kommt dabei zu einem Lungenödem, einem Zustand, der dem Ertrinken ähnlich ist, da auch hierbei die Lunge mit Flüssigkeit gefüllt ist.

Bei einer Überschreitung der Grenztiefe für Freitaucher kommt es schnell zu einem Kollaps des Herzens, dadurch zu Bewußtlosigkeit und anschließendem Ertrinken.



Die Grenzen des Tieftauchens schematisch gesehen.

----- *Exkurs zum Apnoetauchen* -----

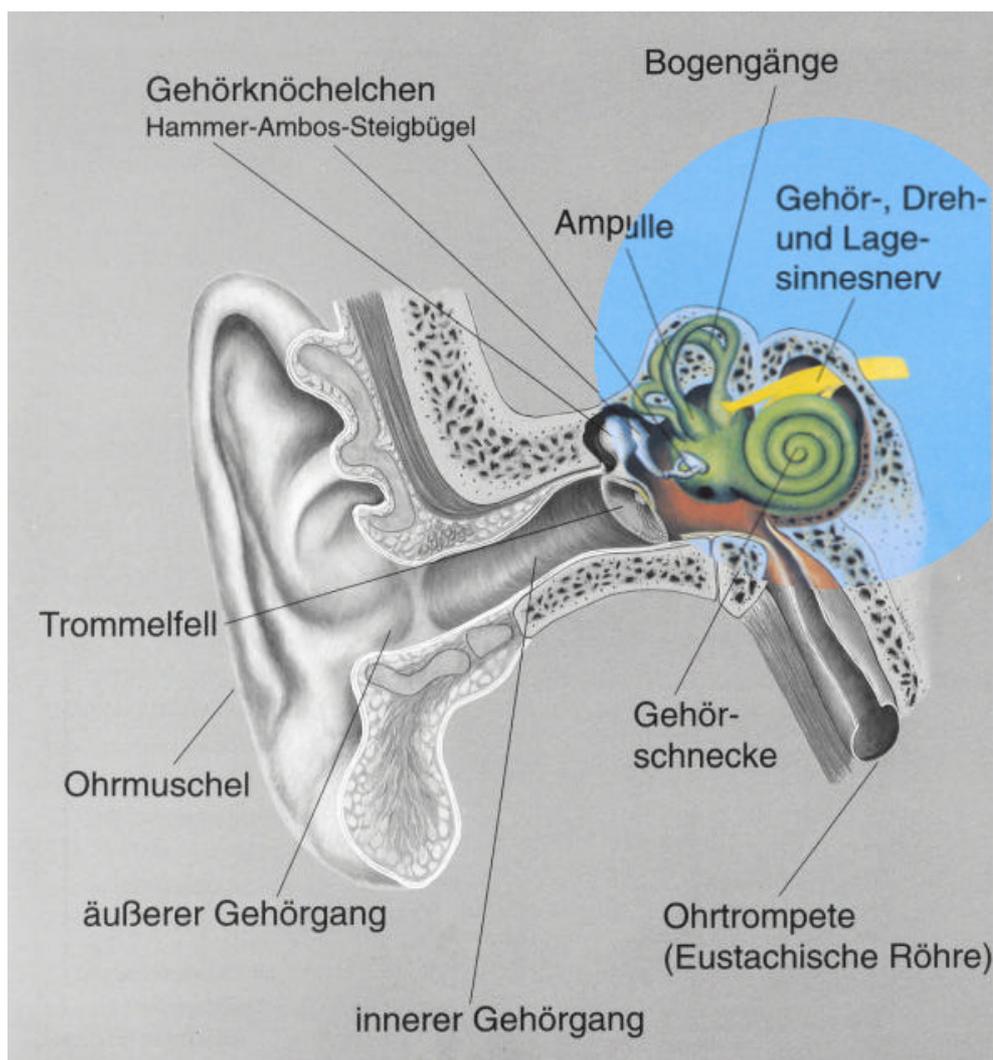
Alle Physiologen nahmen bis vor einigen Jahren an, daß die Grenze des Tieftauchens alleine von der Kompressibilität des Brustkorbes abhinge und daß diese sich nach dem Verhältnis der Totalkapazität zum Restvolumen errechnen ließe. Nun haben in der Tat die Rekordtieftaucher E. Majorca, J. Mayol und R. Croft, eine ungewöhnlich große Vitalkapazität. Angela Bandini stellte im Oktober '89 als erste Frau einen Rekord von 107m auf. Im Herbst 1992 erreichte Umberto Pelizzari die neue Rekordtiefe von 120m, der aktuelle Rekord (1998) liegt bei 131m.

Besonders eingehend wurde R. Croft untersucht. Zur Zeit seines Rekordes am 12.8.1968 war er 33 Jahre alt, hatte eine Vitalkapazität von 7,8 Litern und ein Residualvolumen von 1,3 Litern. Mit diesem Volumenverhältnis hätte er knapp 60 Meter tauchen können. Er tauchte in einer Zeit von 2 Minuten und 28 Sekunden 72 Meter tief. Um keine Luft für den Druckausgleich in einer Maske zu verbrauchen, trug er Spezialunterwasserkontaktlinsen und eine salzwassergefüllte Taucherbrille, die nur die Augen bedeckte. Die Tauchtiefe wurde also nicht durch Atemnot und nicht durch einen zu hohen Kohlendioxidanstieg im Blut begrenzt, sondern durch den Unterdruck im Brustkorb. Durch komplizierte Messungen konnte bei Croft festgestellt werden, daß in 39,5 Meter Tiefe bereits zusätzlich 850 ml Blut im Brustkorb angesammelt wurden, die den Unterdruck teilweise ausglich. Die Fotoaufnahmen in 72 Meter Tiefe zeigten den Brustkorb stark zusammengedrückt, den Bauch erheblich eingezogen. Der Bauchinhalt hatte sich also offenbar unter Hochdrängen des Zwerchfelles in den Brustkorb verlagert. Als Ausdruck der Verkleinerung des Brustkorbes zeigten sich um die Brust herum kleine Hautfalten.

Es ist ganz sicher, daß die großen Tauchtiefen der Rekordtaucher das Ergebnis eines jahrelangen Trainings und einer entsprechenden Konstitution sind, wobei durch eine allmähliche Anpassung die Fähigkeit erworben wurde, den Unterdruck im Brustkorb durch weitere Volumenverkleinerung und durch Blutverschiebungen auszugleichen. Für Otto-Normaltaucher sind 30 Meter in jedem Fall genug.

3. Medizinische Grundlagen des Tauchens ohne Gerät

Luftdruckverhältnisse im Mittelohr (Druckausgleich) Wasser ist nicht kompressibel, damit auch die Flüssigkeiten in unserem Körper. Wie verhalten sich aber die luftgefüllten Hohlräume? Zu Schädigungen kann es überall dort kommen, wo Luft Zutritt hat, also in den Lungen, im Hals-Nasen-Rachenraum sowie in den dazugehörigen Hohlräumen. Außer beim Ohr, bei dem ein künstlicher Druckausgleich herbeigeführt werden muß, vollzieht sich der Druckausgleich in den Hohlräumen automatisch. Durch zunehmende Tiefe und zunehmenden Druck wölbt sich das Trommelfell nach innen in Richtung Mittelohr und erzeugt einen empfindlichen Schmerz. Es besteht ein relativer Unterdruck im Mittelohr. Diesen müssen wir ausgleichen, sonst reißt das Trommelfell und es kann zu Gleichgewichtsstörungen durch Schockwirkung des eindringenden, kalten Wassers kommen. Um die Druckdifferenz zwischen Mittelohr und äußerem Gehörgang auszugleichen, pressen wir durch die Eustach'sche Röhre (Verbindung zum Nasenrachenraum) Luft ins Mittelohr. Dies geschieht durch Zuhalten der Nasenflügel und Ausführung einer nicht zu kräftigen Schnaubbewegung (Valsalva Manöver). Durch dieses Pressen öffnet sich die Eustachische Röhre und es entsteht Druckausgleich im Mittelohr, der Schmerz hört auf, da das Trommelfell wieder die Normalstellung einnimmt. Der Druck im Mittelohr und im äußeren Gehörgang sind in diesem Moment gleich groß.

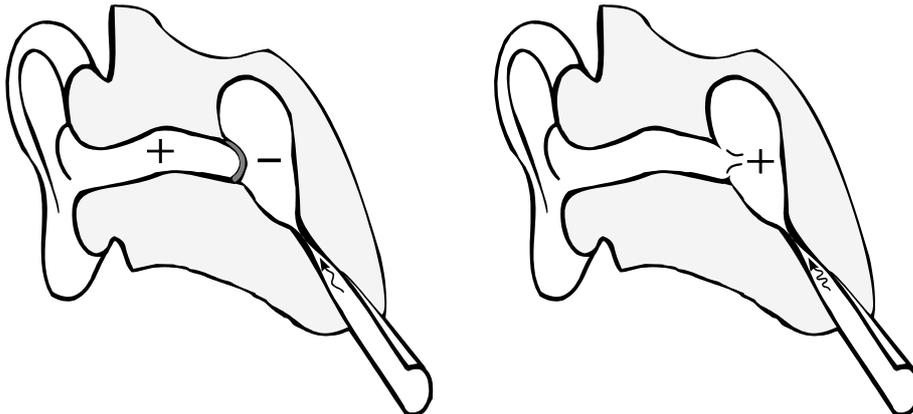


Das Ohr in der Querschnittsdarstellung

© HTSV - Foliensatz

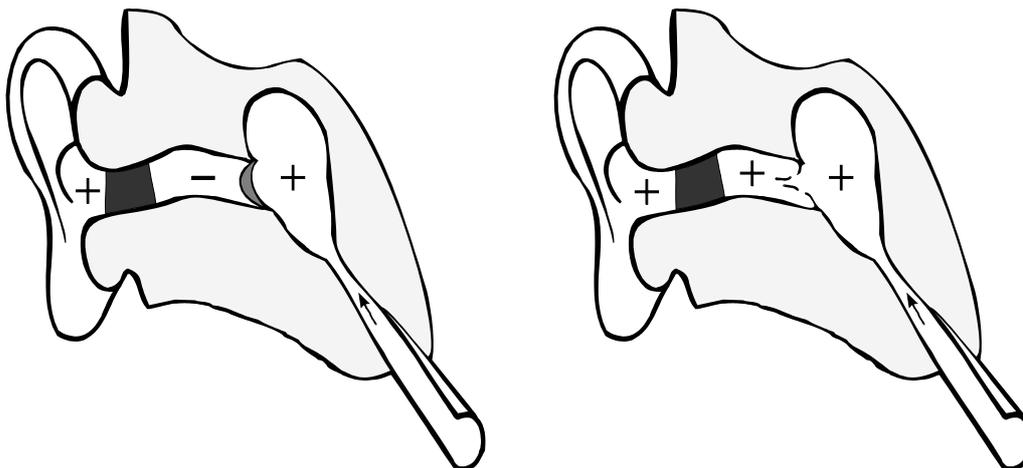
Weiteres Abtauchen erfordert weiteren Druckausgleich. Beim Auftauchen entweicht der Überdruck aus dem Mittelohr von selbst durch die Eustachische Röhre. Durch Erkältung oder Schnupfen schwellen die Schleimhäute in der Eustachischen Röhre an, so daß **kein** Druckausgleich mehr möglich ist. Im Mittelohr herrscht ein relativer Unterdruck, der das Trommelfell nach innen saugt. Die Gefahr eines Risses des Trommelfells ist sehr groß.

Es darf auf gar keinen Fall getaucht werden .



Verhinderter Druckausgleich bei Erkältung

Ohrenstopfen dürfen beim Tauchen nicht verwendet werden! Ohrenstopfen hindern uns beim Druckausgleich und führen ebenfalls zu Trommelfellrissen.



Zwischen Ohrenstopfen und Trommelfell entsteht ein relativer Unterdruck, das Trommelfell wölbt sich nach außen. Es kommt zu Schmerzen, da kein Druckausgleich im Gehörgang stattfinden kann. Der Ohrenstopfen wird durch den hohen Außendruck in das Ohr hineingepreßt. Das Trommelfell zerreißt nach außen, dadurch kommt Druckausgleich zustande.

Hyperventilation

Vor dem Streckentauchen versuchen manche Taucher durch ein längeres, bewußt ausgeführtes schnelles und tiefes Ein- und Ausatmen eine Leistungssteigerung in Bezug auf die Tauchstrecke bzw. Tauchzeit zu erzielen. Diesen sehr gefährlichen Vorgang nennt man Hyperventilation (wörtl. übersetzt: Überatmen).

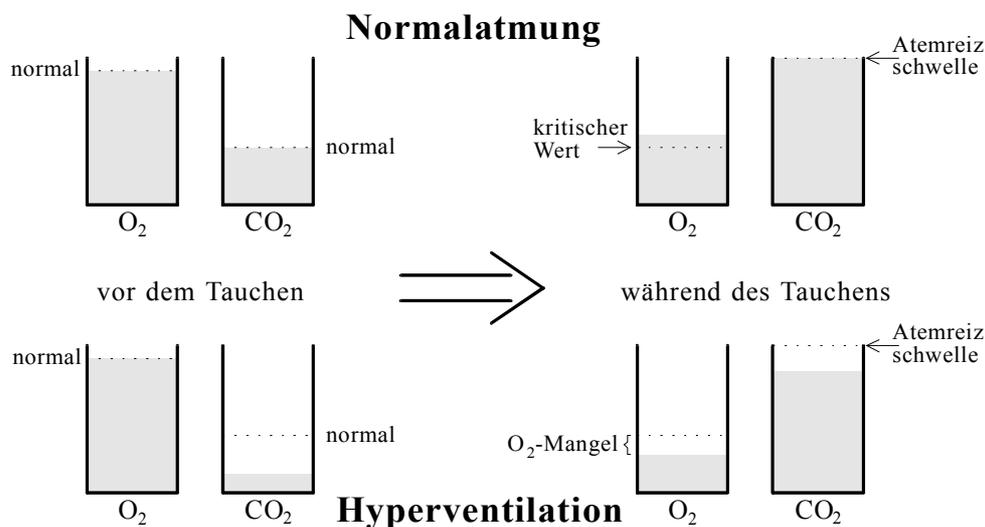
Streckentauchen nach Normalatmung:

Während des Apnoetauchens wird der im Körper gespeicherte Sauerstoff (O_2) verbraucht und in Kohlendioxid (CO_2) umgewandelt. Die O_2 - Bindung des Sauerstoffes erfolgt am roten Blutfarbstoff (Hämoglobin), welcher auch den Transport im Körperkreislauf zum Gewebe besorgt. Erreicht der steigende CO_2 - Spiegel einen bestimmten Grenzwert, so wird ein Reizsignal an das Atemzentrum gestellt. Der Taucher hat somit das dringende Bedürfnis, den Apnoetauchgang zu beenden und wieder einzuatmen. Für den Tauchenden besteht in der Regel keine Gefahr, denn zum Zeitpunkt des Atemreizes ist das Gehirn noch ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Nach dem Auftauchen wird der Taucher mit ein paar tiefen Atemzügen das überflüssige CO_2 abatmen und es wird sich nach ganz kurzer Zeit wieder ein normaler CO_2 - Gehalt einstellen.

Streckentauchen nach Hyperventilation

Das Hämoglobin ist bei normaler Atmung schon zu 97 % mit Sauerstoff gesättigt. Eine weitere Sauerstoffanreicherung im Blut ist durch Hyperventilation unter Normaldruckatmung faktisch nicht mehr möglich.

Wird nun unmittelbar vor dem Abtauchen hyperventiliert, so wird durch die vermehrte Ausatmung mehr CO_2 (Kohlendioxid) abgeatmet und der CO_2 - Druck im Blut sinkt weit unter normal. Der Apnoetaucher kann somit für einen längeren Zeitraum unter Wasser verweilen, bis ein erneuter Atemreiz erfolgt. Ist der im Blut gespeicherte Sauerstoff aufgebraucht bevor der CO_2 - Gehalt die Atemreizschwelle erreicht, so entsteht ein Sauerstoffmangel im Gehirn, was zur plötzlichen Bewußtlosigkeit führen kann (Schwimmbad-Black-out). Der Begriff "Black-out" stammt aus dem englischen (black = schwarz, out = aus) und bedeutet eine plötzliche, ohne Vorwarnung und Anzeichen eintretende Bewußtlosigkeit. Die nächsten beiden Grafiken (Abb. 15 + 16) zeigen, daß nach Hyperventilation O_2 -Mangel eintreten kann, bevor die Atemreizschwelle erreicht wird. Ohne Hyperventilation setzt die Atemreizschwelle (automatisierter Zwang zur Einatmung) ein, bevor es zu einem O_2 -Mangel kommen kann.

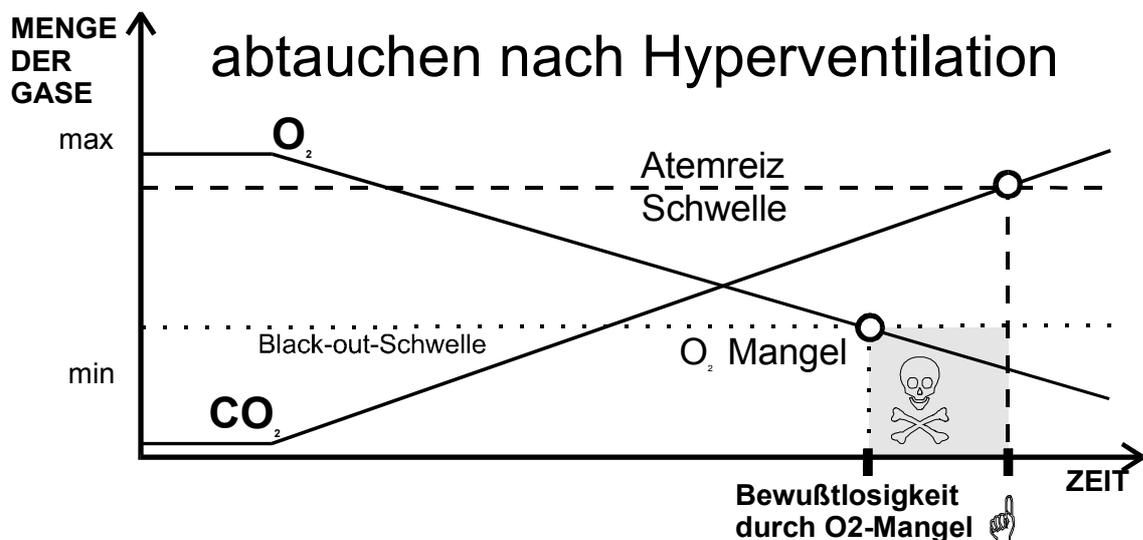
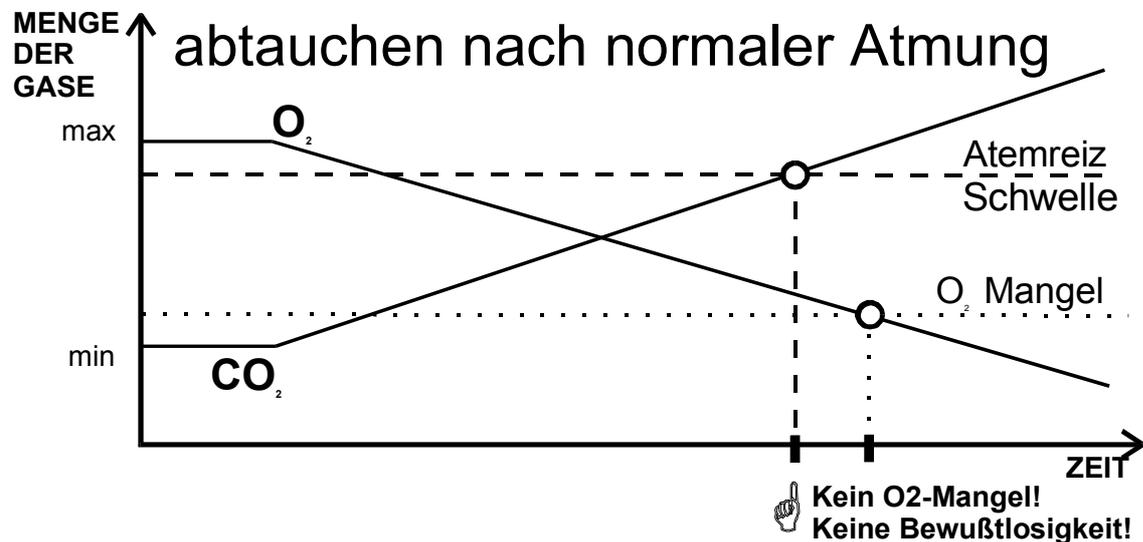


Auswirkung der Hyperventilation

Die meisten Unfälle beim Streckentauchen werden durch vorhergehende Hyperventilation verursacht. Eine Hyperventilation vor Strecken- und Zeittauchen ist deshalb auf jeden Fall zu unterlassen. Drei bis fünf tiefe Atemzüge vor dem Start werden nicht als Hyperventilation bezeichnet.

Strecken- und Zeittauchen sollte aus den oben genannten Gründen nie unbeobachtet ausgeführt werden. Im Sporttaucherbereich gilt grundsätzlich die Regel

"Tauche nie alleine".



Grafische Darstellung des Schwimmbad-Black-out

Der Wasser Nase Reflex

Der Wasser Nase Reflex ist eine angeborene Schutzfunktion, die uns vor dem Ertrinken schützen soll! Das funktioniert folgendermaßen: Sobald die Nase ins Wasser eingetaucht wird reagieren die Sinneszellen im Eingangsbereich der Nase sofort und geben den Impuls an das Zentrale Nervensystem die Atmung zu blockieren. Dieser Schutzmechanismus ist besonders gut zu beobachten bei 2-3 Wochen alten Kleinkindern im Schwimmbad! Wenn diese untertauchen besteht keine Gefahr das sie sich verschlucken, denn bei Ihnen ist der Wasser Nase Reflex noch voll in Funktion. Man nennt das auch positiver Wasser Nase Reflex! Das funktioniert natürlich nur solange, bis das Atemzentrum Signal zum Einatmen gibt! Dieser Reflex kann aber ab 6 Monaten verloren gehen. Also stellt der Wasser Nase Reflex für uns beim Tauchen ein Problem dar! Beim Tauchen kann es jeder Zeit vorkommen, das man entweder Wasser in die Maske bekommt oder, das die Maske unabsichtlich vom Gesicht geschlagen wird, etwa durch einen Flossenschlag eines Voraustauchenden. Dann muss ruhig weitergeatmet werden. Wenn man nun aber eine Blockade der Atemwege hat entsteht Panik, beim anschließenden Einatmen können heftige Störungen bis zum Stimmritzenkrampf auftreten, obwohl der Lungenautomat genug Luft liefert. In diesem Fall kann man beim Auftauchen noch nicht einmal ausatmen, was einen Lungenüberdruck Unfall zur Folge hat! In solch einem Fall muss man ruhig bleiben und die Maske wieder aufsetzen und ausblasen! Dies funktioniert natürlich nur, wenn man den Wasser Nase Reflex unterdrücken kann. Das kann durch verschiedene Übungen gelernt und trainiert werden.

Essoufflement

Der Begriff Essoufflement kommt vom Französischen und bedeutet „außer Atem geraten“. Die eigentliche Ursache ist die Ermüdung der Atemmuskulatur. Mit zunehmender Tauchtiefe und dadurch steigendem Umgebungsdruck steigt auch die Dichte der Luft, so dass die Luft nicht mehr laminar sondern turbulent strömt. Dadurch steigt der Atemwiderstand an und die Atemmuskulatur wird stärker belastet. Dadurch treten Ermüdungserscheinungen auf und die Atmung wird schneller und flacher. Die Atmung verschiebt sich dabei in den Bereich der inspiratorischen Reserve, d.h. in den Bereich zwischen normaler und tiefster Atmung. Durch die dann entstehende Hechelatmung ist die Sauerstoffaufnahme reduziert, gleichzeitig steigt die CO₂-Konzentration im Blut an. Das wiederum hat zur Folge, das Atemzentrum Signal gibt zum Einatmen. Es kann zu Kopfschmerzen, Lufthunger, später Schwindel, Bewusstseinsstrübung und Übelkeit, zuletzt zur Bewusstlosigkeit kommen. Der Taucher selbst erkennt seine Lage wahrscheinlich nicht selbst, er ist dann auf seinen Buddy angewiesen, der sofort handeln muss und diesen in flachere Bereiche bringen muss. Er muss versuchen muss ihn zum tieferen ausatmen zu bringen. Schwimmen gegen die Strömung, starke Anstrengung, schlecht gewartete Atemregler können Ursachen sein in Essoufflement zu kommen.

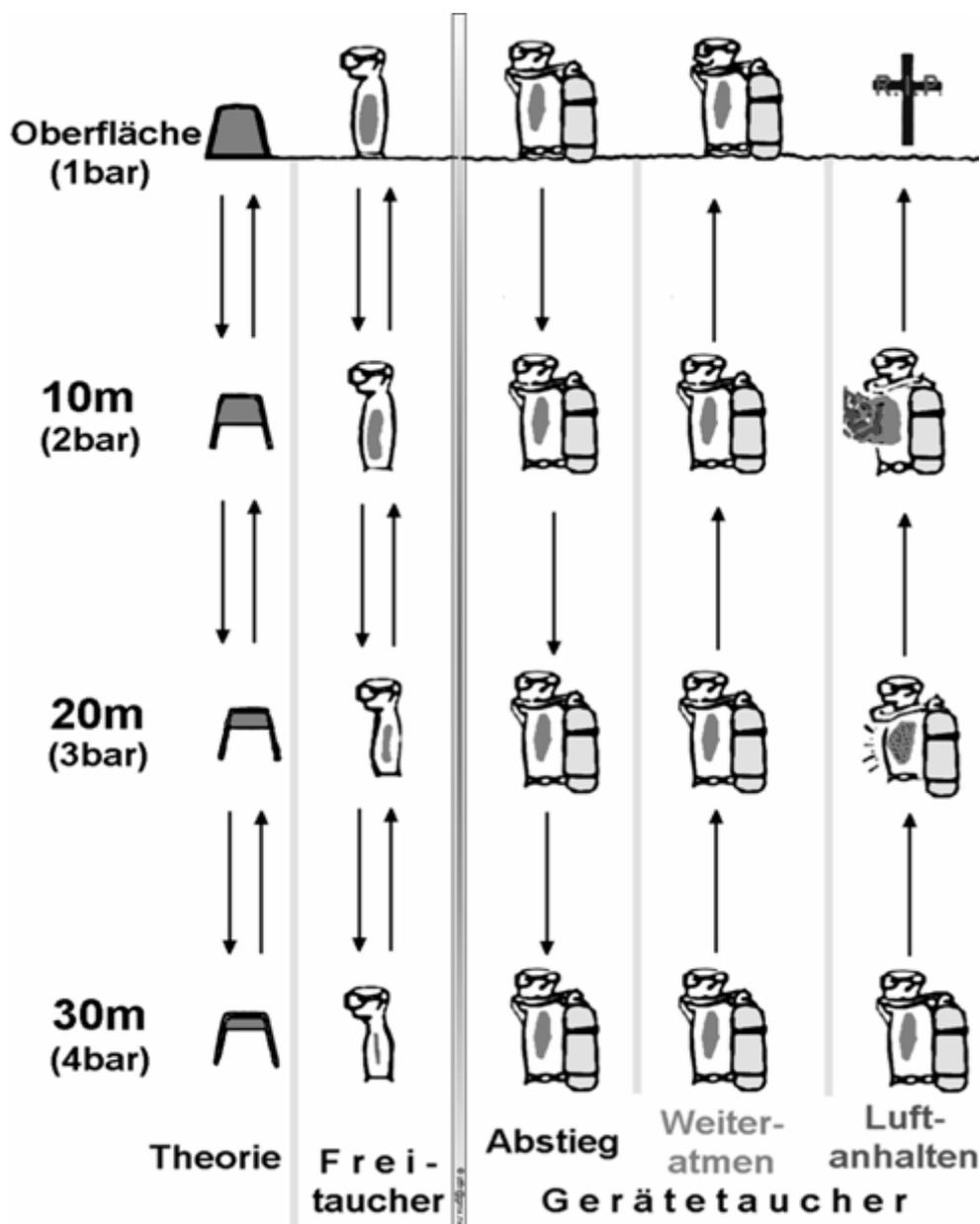


4 Gerätetauchen

Das Boyle-Mariotte'sche Gesetz beim Gerätetauchen

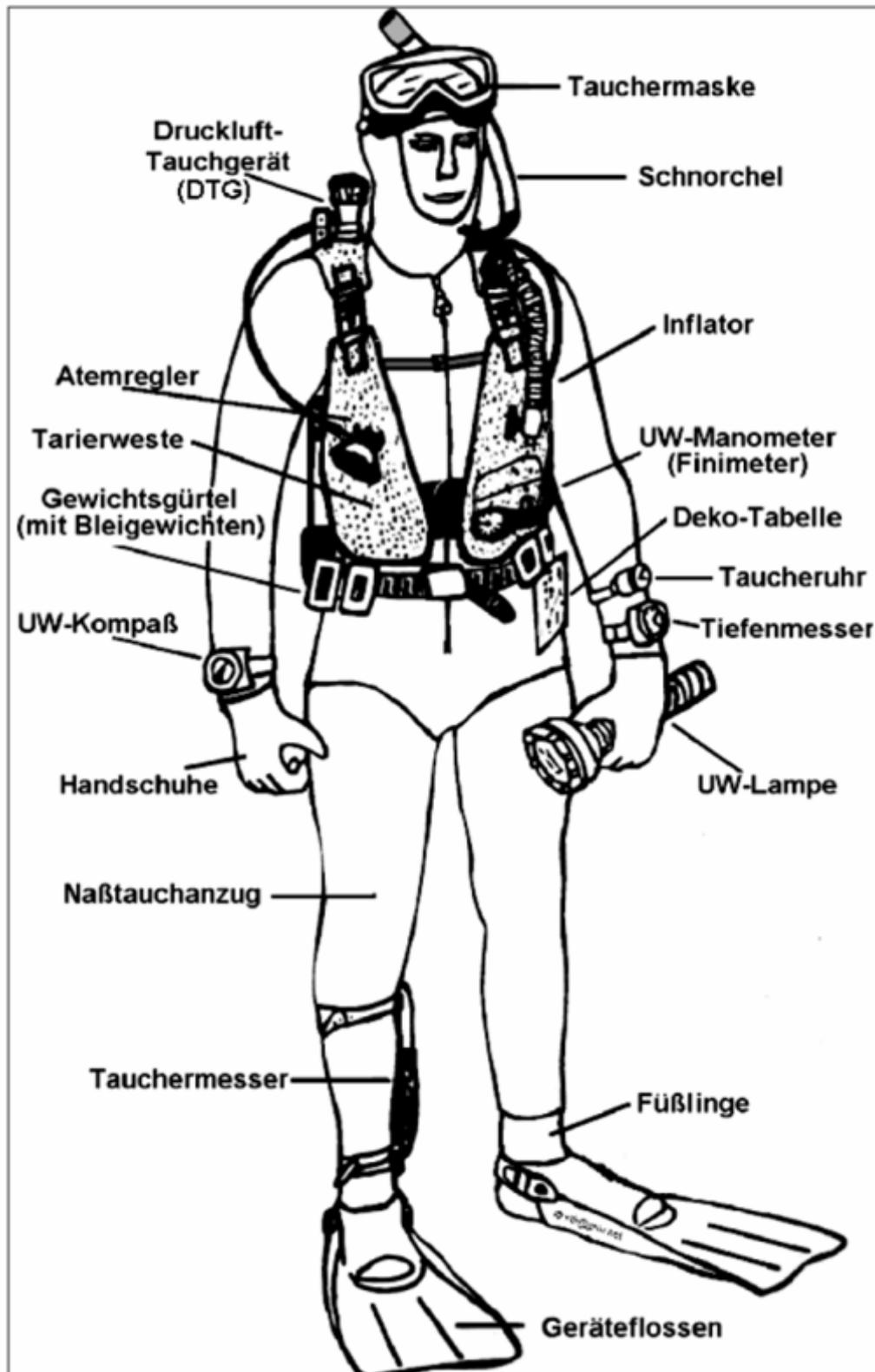
Grundsätzlich treffen die bisherigen physikalischen und medizinischen Aussagen sowohl für den Freitaucher als auch für den Gerätetaucher zu. Durch die Druckluftzufuhr unter Umgebungsdruck durch den Atemregler des Tauchgerätes ergibt sich ein anderer Aspekt des Boyle-Mariotteschen Gesetzes.

Beim Gerätetaucher erfolgt der Druckausgleich zwischen Lunge und Umgebungsdruck automatisch durch den Atemregler. Nimmt beim Aufstieg des Gerätetauchers der Umgebungsdruck ab, so entweicht die sich nach Boyle-Mariotte ausdehnende Luft durch den Atemregler beim Ausatmen. Dies wird genauso wie beim Abstieg durch die dem Umgebungsdruck angepasste Luft des Atemreglers erreicht. Geschieht das nicht würde die Lunge reißen.



Aspekte des Boyle-Mariotteschen Gesetzes

5 Die Ausrüstung des Gerätetauchers



Vollständig ausgerüsteter Gerätetaucher mit Tarierjacket und DTG, ohne Tauchcomputer.

Der heutige Stand der Technik gestattet es, das Druckluftgerätetauchen mit dem geringsten Risiko auszuüben.

Voraussetzungen hierfür sind:

Guter und ausdauernder Schnorcheltaucher .

Tauchen unter Begleitung eines entsprechend erfahrenen Tauchpartners

Vollständige und angepasste Ausrüstung . (Kaltwasser)

Ausrüstung : DTG Druckluft Tauchgerät und Atemregler plus

Finimeter Luftvorratsanzeige am Gerät (1.Stufe) Das Finimeter hat einen deutlich markierten Reservebereich von 50 bar, die Skala im Dunkeln nachleuchten

Taucherjacket Tarierweste/Jacket

Tauchermesser - Rettungsschere

dient als Werkzeug z.B. zum Befreien aus Leinen und Angelschnüren

Kälteschutzbekleidung

Die Dicke des Neoprenanzugs (3 -7mm) richtet sich nach den zu erwartenden Wassertemperaturen. In unseren Breiten werden zusätzlich Handschuhe, Fülllinge und Kopfhaube aus Neopren getragen.

Tiefenmesser (Reserve)

Ein Abschätzen der Wassertiefe ist nicht möglich, dafür benötigen wir einen Tiefenmesser. Die Maximaltiefe sollte mit einem Schleppzeiger angezeigt werden. Die Anzeige sollte nachleuchten und der Bereich geringer Tiefe besonders gut ablesbar sein. (Deko-Stufen) Tiefen-Zeitmesser als Back up gibt es in elektronischer Form, „Bottem Timer“.

Blei

Als Gürtel mit losem Blei, im Jacket mit einer Schnellabwurfvorrichtung oder als Gürtel mit Bleitaschen. Das Blei dient dem Ausgleich des Auftriebs durch den Neoprenanzug, Jacket. Dünner Anzug - weniger Blei!

Tauchcomputer ermöglichen die Anzeige der Tauchtiefe, Zeit, Maximaltiefe der Dekompressionsstufen, Nullzeit. Einige Modelle haben die Möglichkeit den Flaschendruck über Schlauch oder Funk-Sender.

Taucherlampe in unseren Breiten ist eine Lampe auch am Tag nützlich.

Akku oder Batterie, Material, Größe und Leistung sind vom Einsatz abhängig.

Mit dieser Ausrüstung kann getaucht werden.

Zuvor sind aber noch folgende Punkte zu beachten:

Das Gerät muß richtig und passend angelegt werden, nicht zu locker und nicht zu stramm sitzen. Eine Funktionsprobe des DTGs muß bereits an Land oder im Boot, nicht erst im Wasser durchgeführt werden. Der Bleigürtel wird grundsätzlich über allen Gerätegurten angelegt. Für den Fall eines Notabwurfes.

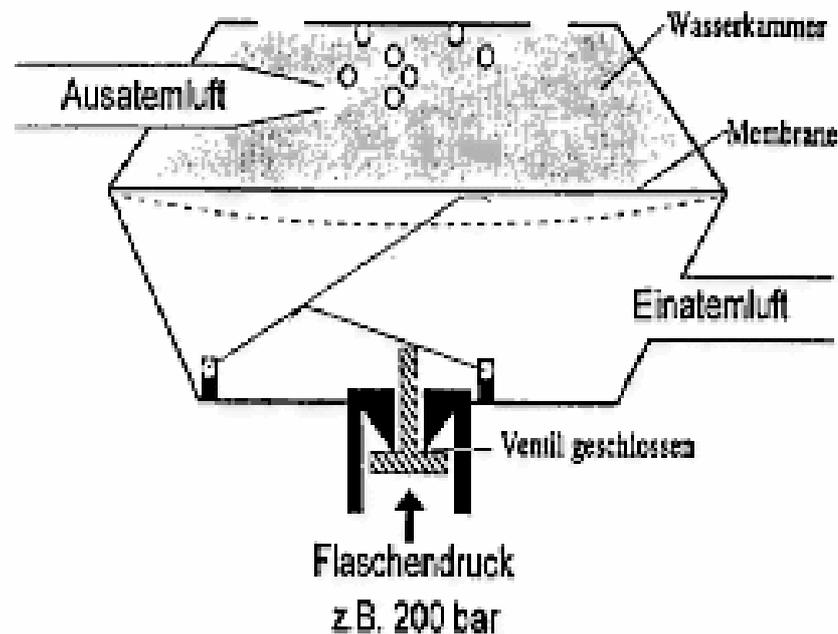
Der Atemregler (Lungenautomat)

Der Atemregler, das Kernstück des Drucklufttauchgerätes, verlangt eine genauere Betrachtung. Es handelt sich um ein Reduzierventil, das die komprimierte Druckluft auf den jeweiligen Einatemdruck (Umgebungsdruck) reduziert und die Luftmenge liefert, die der Taucher benötigt. Dieses wird je nach Konstruktionsprinzip entweder in einer einzigen Stufe (alt) oder in zwei getrennten Stufen erreicht.

Der Luftdruck im Körper (Lunge, Körperhöhlen etc.) wird so automatisch der jeweiligen Wassertiefe angepaßt, so daß keine Druckdifferenzen (Gefahr von Barotraumen) entstehen. Die Ausatemluft entweicht über ein im Automat untergebrachtes Ausatemventil.

Funktionsweise

Eine im Atemreglergehäuse eingespannte Membrane wird von der einen Seite mit dem herrschenden Wasserdruck belastet. Erzeugt man auf der anderen Seite in der Einatemkammer durch den Einatemvorgang einen relativen Unterdruck, dann wird die Membrane in diese Richtung gedrückt. Über ein Hebelsystem öffnet diese Bewegung ein Ventil, so daß Luft nachströmen kann, bis die Einatmung beendet wird. Dann stellt der aufbauende Luftdruck die Membrane in die Ausgangslage und schließt das Ventil.



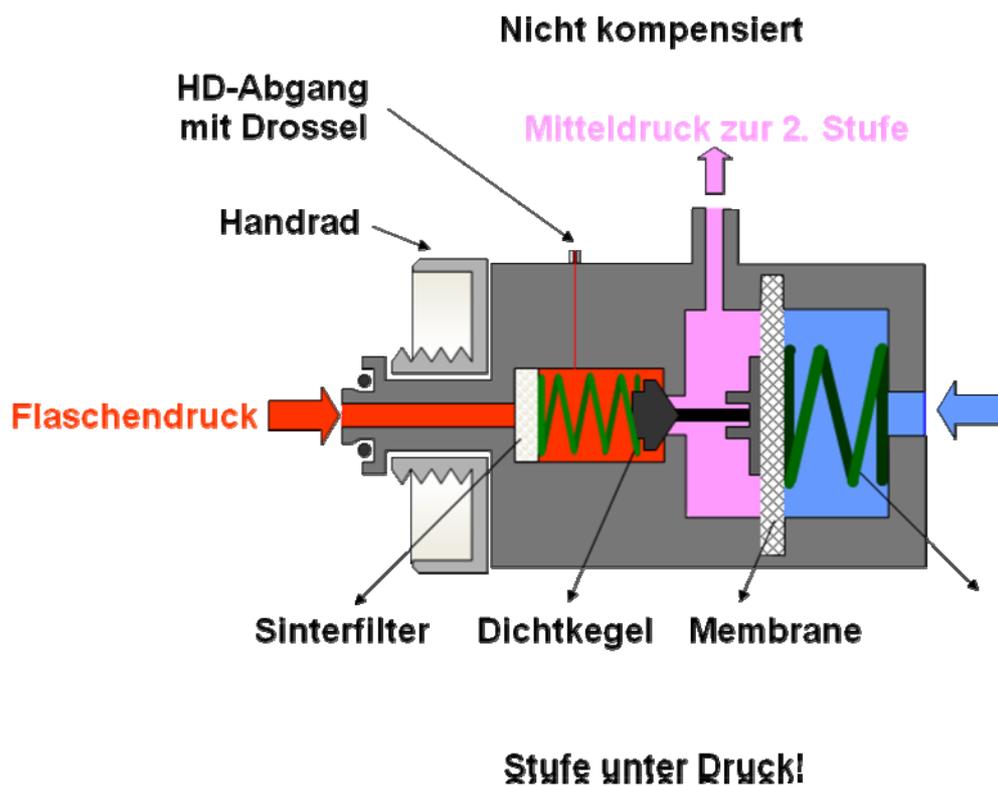
Einstufiger Atemregler

Zweistufiger Atemregler

1. Stufe (Druckminderer)

Bei geschlossener Flasche (im drucklosen Zustand) drückt die Feder den Kolben empor und hält so das Ventil der ersten Stufe offen. Nach dem Öffnen der Flasche strömt die Luft in die Hochdruckkammer (HD), dann durch die Ventilbohrung in den Mitteldruckbereich (MD), durch den Mitteldruckschlauch bis zum Ventil der zweiten Stufe. Das Ventil der ersten Stufe bleibt so lange geöffnet, bis sich in der Mitteldruckkammer ein Mitteldruck aufgebaut hat, der im Kräftegleichgewicht zum Federdruck steht und dadurch den Kolben nach unten drückt und das Ventil schließt. Atmet nun der Taucher und öffnet dadurch das Ventil der zweiten Stufe, sinkt der Mitteldruck, der Kolben wird wieder nach oben gedrückt und das Ventil öffnet sich. Luft aus der Druckluftflasche strömt nach bis der Mitteldruck wieder erreicht wird. Da Wasser in die Federkammer einströmen kann, wird der Federdruck um den Wasserdruck (Umgebungsdruck) erhöht. Somit ist der Mitteldruck immer über dem Umgebungsdruck.

Membrangesteuerter Druckminderer

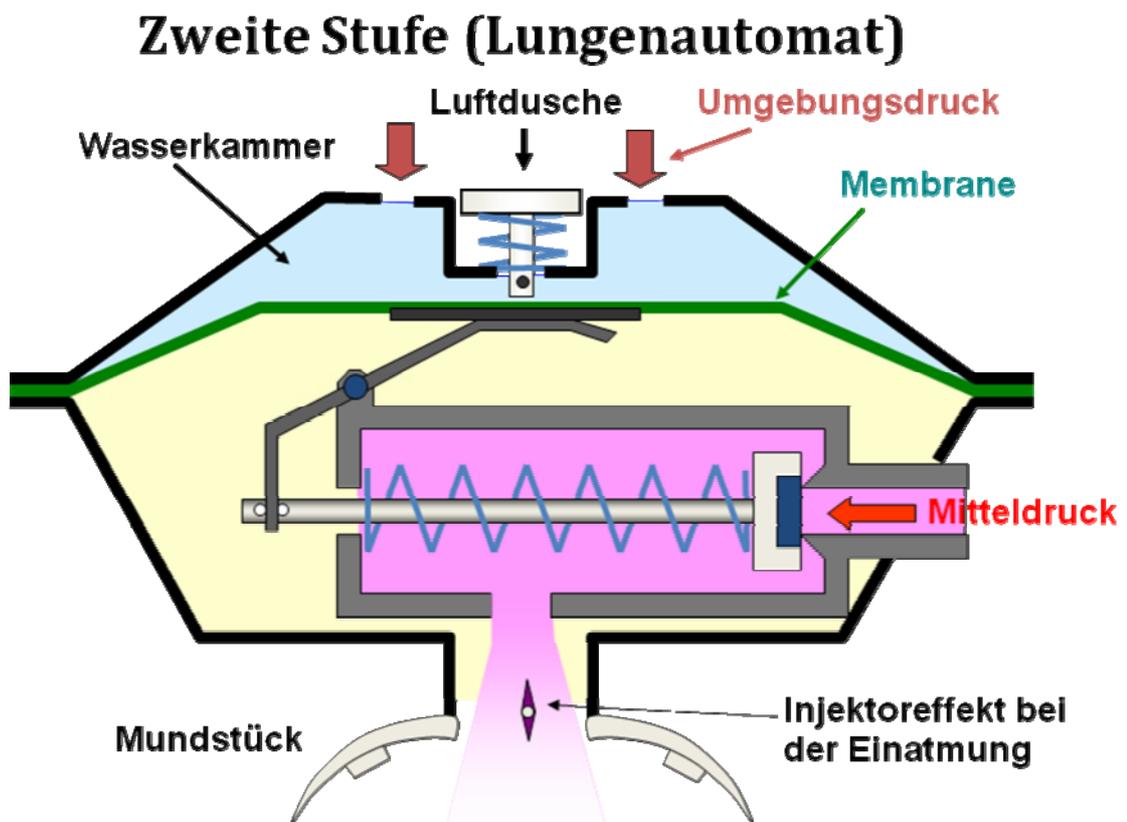


Die 1.Stufe eines Atemreglers

© Werner Scheyer

2. Stufe

In der zweiten Stufe wird durch das Einatmen im Gehäuse ein Unterdruck erzeugt, durch dessen Wirkung sich die Membran nach unten bewegt. Die Bewegung der Membran wird über einen Kipphebel und den Schließbolzen (Ventilkolben) übertragen und öffnet das Ventil. Das Ventil schließt automatisch, sobald der relative Unterdruck durch die nachströmende Luft ausgeglichen ist. Die Ausatemluft entweicht bei geringfügigem Überdruck durch das Ausatemventil während der Ausatemphase. Mit einem Druck auf den Luftduschenknopf kann das Ventil der zweiten Stufe auch von Hand geöffnet werden.



Die 2. Stufe eines Ein-Schlauch-Atemreglers

© Werner Scheyer

Drucklufttauchgerät

Ein DTG besteht aus einem oder zwei Stahl- oder Aluminiumbehältern, die normale atmosphärische gereinigte getrocknete Luft in hochkomprimierter Form enthalten. Die gebräuchlichsten Geräte haben ein Flaschenvolumen von 7, 10, 12 und 15 Litern Rauminhalt und einem Flaschendruck von 200(235) bar.

Der Unterschied zwischen Stahl- und Alufaschen besteht in der Größe, Alu-Flaschen sind bei gleichem Netto-Volumen größer, schwerer haben mehr Auftrieb und sind in der Anschaffung teurer aber gerade im Salzwasser widerstandsfähiger gegen Korrosion.

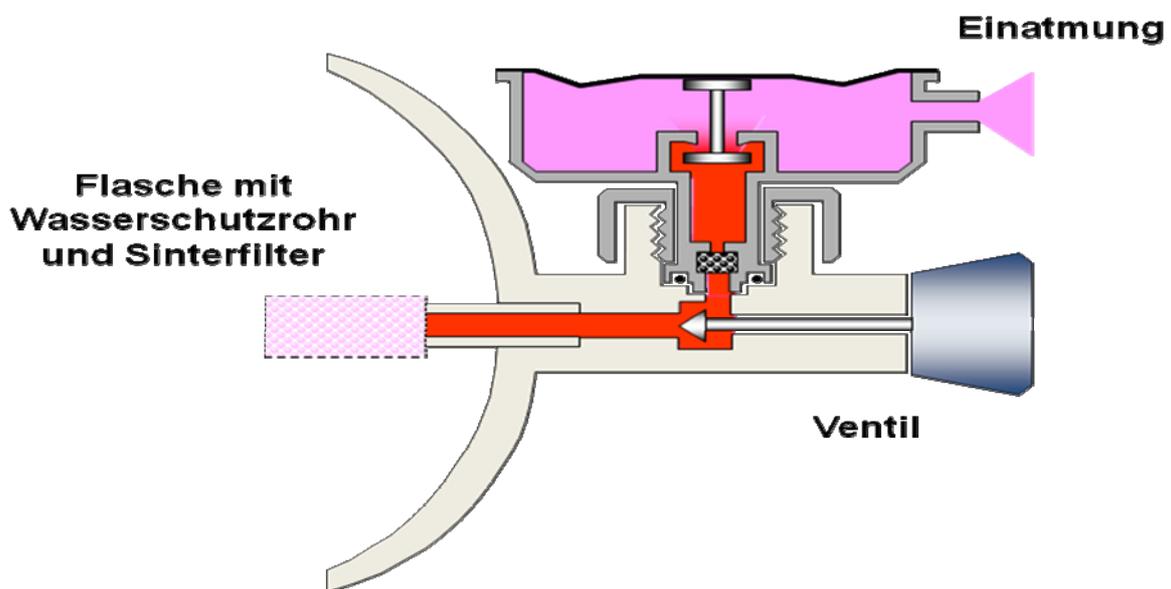
Die Druckbehälterverordnung schreibt eine Überprüfung von TAUCHFLASCHEN im Zeitraum von 2 ½ Jahren vor, einmal Druckprüfung dann eine Sichtprüfung.

Für Druckluftflaschen gilt:

Lagerung: aufrecht (der Boden ist dicker), gesichert gegen Umfallen und unter Druck!

Transport: liegend, wenn möglich drucklos. mit Ventilschutz oder in einer Kiste, gesichert gegen Umherrollen

Hier am Beispiel eines einstufigen Reglers



DTG mit Atemregler

© Werner Scheyer

Unterwassermanometer – Luftintegrierter Tauchcomputer

Eine Kontrolle des Luftvorrates in den Flaschen ist beim Tauchen unerlässlich. Dies geschieht über Finimeter oder Computer. Das Finimeter/Computer, ist mit einem Hochdruckschlauch an der 1. Stufe des Atemreglers angeschlossen, gestattet zu jeder Zeit die genaue Kontrolle des noch verbleibenden Luftvorrates unter sowie auch über Wasser. Tauchcomputer können mit Schlauch oder über Funk mit der 1. Stufe verbunden sein. Ein Tauchgang sollte jedoch so durchgeführt werden, daß die Oberfläche mit 50 bar Restdruck erreicht wird, also vor Anbrechen der Reserve.

Tauchcomputer



Moderner Tauchcomputer mit Funk

Finimeter



Tauchcomputer

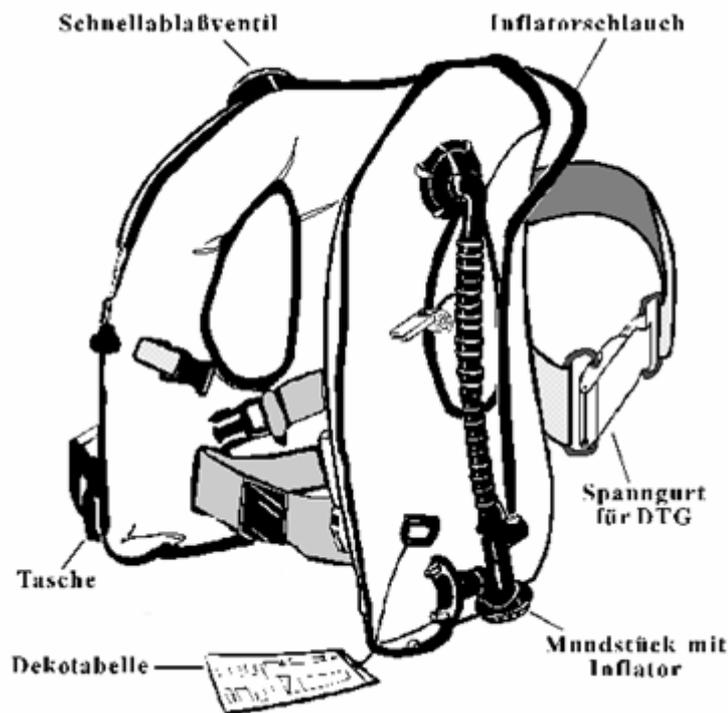
Mit einem Tauchcomputer ist es möglich, Dekompressionsdaten abhängig vom individuellen Verhalten des Tauchers während des Tauchganges sofort zu berechnen. Diese Werte weichen teilweise deutlich von den Tabellenwerten ab. Der Computer wertet neben Tauchtiefe, Tauchzeit und Wassertemperatur bei einigen Modellen auch noch den Luftverbrauch des Tauchers aus. Dadurch kann der Computer erkennen, ob sich der Taucher anstrengt und so mehr mit Stickstoff aufgesättigt hat. Online wird die verbleibende Nullzeit oder die einzuhaltende Dekompressionsstufen berechnet und angezeigt .

Nach dem Tauchgang zeigt er die Zeit die wir an der Oberfläche verbringen . Dies ist wichtig für einen 2. oder 3. Tauchgang an einem Tag und er zeigt, wann wir wieder entsättigt sind bzw. fliegen dürfen! Moderne Tauchcomputer sind so zuverlässig wie unsere gesamte Ausrüstung, bei extremen Tauchgängen oder als Back Up einen Bottom Timer oder Uhr und Dekotabelle mitnehmen.

Rettings- und Tariierhilfe (Jacket)

Die Tariierhilfe dient dem Taucher

- zur Tariierung unter Wasser (zum Ausgleich des Auf- oder Abtriebs)
- als Schwimmhilfe an der Oberfläche
- im Notfall zum raschen Erreichen der Oberfläche



Modernes Jacket

Notwendigkeit und Handhabung des Jackets.

Neopren, das Material des Kalteschutzanzuges, ist ein Schaumstoff, der Luftblasen einschließt, durch die die Isolierung erreicht wird. Diese Luft erzeugt Auftrieb. Bei zunehmender Tauchtiefe (höherer Umgebungsdruck!) werden die Luftbläschen entsprechend dem Boyle- Mariott'schen Gesetz zusammengedrückte. Demzufolge verliert der Anzug an Volumen und damit auch an Auftrieb (Archimedes!). Um dem größer werdenden Abtrieb des Kalteschutzanzuges mit seinem entsprechenden Tariergewicht (Blei) in zunehmender Tiefe entgegenwirken zu können, wird beim Gerätetauchen ein Taucherjacket getragen. Ohne Jacket muß sowohl in der Tiefe wie auch bei den Dekompressionsstufen ständig ein Schub mit den Flossen aufgebracht werden, um ein weiteres Absinken zu verhindern. Für das Einhalten der Dekompressionsstufen in 6 und/oder 3 Meter, d.h. für die Sicherheit des Austauschens, ist eine korrekte Tariierung wesentlich. Das Jacket ist mit der Tragschale fest verbunden. Die Tragschale wird mit einem Schnellverschluss an der Flasche befestigt. Das Jacket ist vorne offen und wird wie eine Jacke angezogen. Fixierung durch Brust- und Bauchgurt. Da Jackets keiner Normung unterliegen, kann der Auftriebskörper auch weniger als 15 Liter Volumen haben. Auch eine Signalfarbe ist nicht vorgeschrieben. Beim Kauf eines Jackets sollte man deshalb selbst auf diese Eigenschaften (Mindestvolumen, Signalfarbe) achten.

Der Inflator erlaubt das Füllen aus dem Luftvorrat des DTG. Der Inflator besteht aus einem Mitteldruckschlauch und dem Druckventil. Hiermit ist es möglich, von der 1. Stufe (Druckminderer) des Atemreglers Luft aus dem DTG per Knopfdruck in den Auftriebskörper zu pressen.

Zum Füllen des Jackets mit Ausatemluft beim Abstieg und zum dosierten ablassen der Luft beim Aufstieg ist ein leicht erreichbarer Faltschlauch mit Mundstück vorhanden, welches auch mit Handschuhen leicht zu bedienen sein muß.

Ein leichter Abtrieb lässt sich nicht nur mit dem Jacket, sondern besser mit der Atemluft in der Lunge ausgleichen, da eine stabile Tarierung alleine mit einem flexiblen Luftbeutel kaum möglich ist. Ist man zum Beispiel zu leicht, dann atmet man einfach, etwas flacher oder verkürzt die Einatemphase gegenüber der Ausatemphase. Die Beobachtung kleinster Schwebeteilchen im Wasser gibt dabei schneller Auskunft über steigen oder sinken als der Tiefenmesser/Computer.

Weiter haben Jackets ein Überdruckventil, welches den Auftriebskörper vor dem Zerplatzen schützt. Um die maximale Austauschgeschwindigkeit von 10 m / Min. nicht zu überschreiten, ist das Jacket mit einem dosierbaren Schnellablaß ausgerüstet. Im Notfall kann das Jacket über den Schnellablaß schlagartig entleert werden.

Leider gewährleisten Jackets keine ohnmachtssichere Lage an der Wasseroberfläche, somit sind Tauchjackets kein Ersatz für eine Rettungswesten wie sie auf einem Schiff vorgeschrieben sind.

6 Mathematische, physikalische Grundlagen des Gerätetauchens

Tauchen und Rechnen

Um Tauchgänge planen zu können, muß man wissen, wieviel Luft man mit sich führt und wieviel man voraussichtlich verbrauchen wird.

a) Berechnung der Luftmenge in einer Druckluftflasche (Luftvorrat)

Hierbei ist es zunächst wichtig zu wissen, daß es verschiedene Flaschengrößen, also Flaschen mit verschiedenen Volumen (gemessen in Litern) gibt. Die gebräuchlichsten Geräte haben ein Flaschenvolumen von 8, 10, 12 und 15 Litern Rauminhalt. Es gibt aber auch Doppelflaschengeräte mit z. B. 2 mal 7 Litern oder 2 mal 10 Litern. Am häufigsten werden bei Freigewässertauchgängen Flaschen mit einem Volumen von 10 oder 12 Litern benutzt. Neben dem Volumen der Flasche spielt auch der Fülldruck eine Rolle, mit dem diese Flasche gefüllt ist. Es gibt Hochdruckkompressoren, das sind Luftverdichter, die die Druckluftflaschen mit 200 bzw. 300 bar füllen können. Hochdruckkompressoren, die die Drucklufttauchgeräte (DTG) mit 200 bar füllen sind hier in Deutschland am häufigsten anzutreffen. Wieviel Luft (bar/l) zum atmen bei einem Tauchgang zur Verfügung stehen hängt also ab vom Volumen der Tauchflasche und dem Fülldruck des DTGs. So läßt sich als allgemeine Formel ableiten (Boyle-Mariotte):

$$\text{Volumen (l)} * \text{Fülldruck (bar)} = \text{zur Verfügung stehende Luftmenge (barl)}$$

Komprimiert man die Luft 200-fach, d.h. erzeugt man einen Druck von 200 bar, so paßt die 200-fache Menge Luft in die Flasche. Ist eine 10 Liter Flasche mit 200 bar gefüllt, so steht eine Luftmenge von: **10 l * 200 bar = 2000 bar l** zur Verfügung. Ist diese 10 Liter Flasche mit 180 bar gefüllt stehen 1800 bar l zur Verfügung. Korrekterweise werden neben den Zahlen auch die physikalischen Maßeinheiten multipliziert, also das Volumen in Litern mal dem Fülldruck in bar. Es resultiert also eine Luftmenge mit der Maßeinheit barl die im DTG zur Verfügung steht. Bei einem Doppelgerät, zum Beispiel 2 x 8 Liter Flaschen, haben wir bei 200 bar Fülldruck eine Luftmenge von 3200 barl (16 Liter mal 200 bar) zur Verfügung. Im letzten Kapitel wurde gesagt, daß von den 200 bar Fülldruck immer 50 bar eine Reserve für nicht planbare besondere Umstände sind. Bei Tauchgangsberechnungen bezieht man diese Reserveluft grundsätzlich nicht mit ein, sie dient nur der Sicherheit! Es kann sein, daß ein Notfall eintritt (Wechselatmung!). Hier ist es wichtig eine Reserveluft zur Verfügung zu haben. Diese Luftreserve muß von unserem Luftvorrat in dem DTG abgezogen werden. Die verbleibende Luftmenge steht uns dann tatsächlich für den Tauchgang zur Verfügung. Die Reserve ist immer über das sog. Manometer angezeigt, Roter Bereich in der Anzeige.
Einige Rechenbeispiele:

Ein 10 Liter DTG, gefüllt mit 200bar. Wieviel Luft steht tum Tauchen zur Verfügung ?

Luftvorrat:	10 l * 200 bar	=	2000 barl
- Reserveluft:	10 l * 50 bar	=	500 barl
Luftvorrat für den Tauchgang			1500 barl

Ein 2 x 7 Liter DTG, gefüllt mit 200 bar. Wie groß ist unser Luftvorrat für einen Tauchgang?

	Luftvorrat: 14 l * 200 bar	=	2800 barl
-	Reserveluft: 14 l * 50 bar	=	700 barl
Luftvorrat für den Tauchgang			2100 barl

b) Berechnung des Luftverbrauches:

Für die Berechnung des Luftverbrauch benötigt man das Atemminutenvolumen (AMV). Das AMV ist das von einem Menschen in einer Minute benötigte Luftvolumen in Litern (Maßeinheit: Liter pro Minute). Es ist ein Maß für die Anzahl und Tiefe der Atemzüge pro Minute.

Unser AMV ist **nicht** immer gleich. Das AMV ist abhängig:

- vom Trainingszustand
- der Art der körperlichen Anstrengung
- der psychischen Belastung (Streß, Angst).

Die Tauchtiefe hat keinen Einfluß auf das AMV.

Ein normaler Mensch verbraucht in Ruhe ca. 20 l Luft pro Minute. Bei Belastung und Streß kann das AMV bis auf 30 l/Min. und mehr ansteigen. Frage: Wie lange kann man mit einem DTG, enthaltene Luftmenge 2000 barl, auskommen wenn das AMV 20 l/Min. beträgt ? Hierbei ist zunächst zu beachten, daß wir nur 1500 barl Luft zur Verfügung haben, da 500 barl auf die Reserve entfallen! An der Wasseroberfläche, d.h. bei einem Luftdruck von 1 bar, veratmen wir pro Minute 20 barl Luft aus diesem DTG. Wir können also 75 Minuten (1500 barl : 20 barl/Min.) aus diesem DTG atmen.

Bei dieser Berechnung haben wir die Luft unter dem Normaldruck von 1 bar eingeatmet, waren also an der Wasseroberfläche. Beim Tauchen erhöht sich der Umgebungsdruck pro 10 m um 1 bar (s. Kap. 2). Der Lungenautomat gibt uns immer die Luft unter Umgebungsdruck.

Unter Wasser, bei erhöhtem Umgebungsdruck, wird die Einatemluft zusammengepreßt, sie nimmt ein geringeres Volumen ein. Das Lungenvolumen muß aber voll mit Luft gefüllt werden, damit die Lunge nicht zusammengedrückt wird. Um dieses Lungenvolumen nun zu füllen brauchen wir, wegen des höheren Umgebungsdruckes, unter Wasser eine größere Luftmenge pro Atemzug als an der Wasseroberfläche bei 1 bar Druck. Das bedeutet, daß auch der Luftverbrauch pro Minute höher ist.

Beispiel:I) AMV = 20 l/Min.
Tauchtiefe: 10 m entspricht 2 bar
 $20 \text{ l/Min} \cdot 2 \text{ bar} = 40 \text{ barl/Min}$ Luftverbrauch in 10 m Tiefe

II) Tauchtiefe: 40 m entspricht 5 bar
 $20 \text{ l/Min} \cdot 5 \text{ bar} = 100 \text{ barl/Min}$ Luftverbrauch in 40 m Tiefe

Wie wir sehen erhöht sich die benötigte Luftmenge pro Minute mit zunehmender Tiefe erheblich. Es hängt also hauptsächlich von der Tauchtiefe ab, wie lange der mitgeführte Luftvorrat reicht.

Der Luftverbrauch pro Minute beim Tauchen errechnet sich wie folgt:

$\text{AMV (l/Min)} \times \text{Umgebungsdruck (bar)} = \text{Verbrauch (barl/Min)}$

Wichtig: Ein AMV von 20 l/Min gilt für geübte und ruhige Taucher. In Streßsituationen unter Wasser steigt der Luftverbrauch immens. Ebenfalls sollten Anfänger einen wesentlich höheren Luftverbrauch einkalkulieren (AMV mindestens 30 l/Min).

C) Berechnung der möglichen Tauchzeit

Aus den beiden Größen Luftvorrat und Luftverbrauch lässt sich die Tauchzeit ermitteln:

$$\text{Tauchzeit} = \frac{\text{Luftmenge im DTG} - \text{Reserveluft}}{\text{Luftverbrauch pro Minute}}$$

Beispiel 1

Jemand plant mit einem 10 l DTG, gefüllt mit 200 bar, einen Tauchgang auf 10 m Tiefe. Er hat ein AMV von 25 l/Min.

Frage: Wie lange kann der Taucher in einer Tiefe von 10 m tauchen ?

Berechnung:

a) Luftvorrat im DTG:

Luftmenge im DTG	10 l * 200 bar =	2000 barl
- Reserveluft:	10 l * 50 bar =	500 barl

Luftvorrat für den Tauchgang		1500 barl

b) Luftverbrauch in 10 m Tiefe:

10 m entspricht 2 bar Umgebungsdruck.
 25 l/Min. * 2 bar = 50 barl/Min.

c) Berechnung der Tauchzeit:

1500 barl : 50 barl/Min. = 30 Min.
 Der Taucher kann 30 Minuten in 10 m Tiefe tauchen.

Beispiel 2

Jemand plant mit einem 2 mal 8 l DTG, gefüllt mit 110 bar, einen Tauchgang auf 30 m Tiefe. Er hat ein AMV von 25 l/min.

Frage: Wie lange kann der Taucher mit diesem Gerät in einer Tiefe von 30 m tauchen ?

Berechnung:

a) Luftvorrat im DTG:

Luftmenge im DTG	16 l * 110 bar =	1760 barl
- Reserveluft:	16 l * 50 bar =	800 barl

Luftvorrat für den Tauchgang		960 barl

b) Luftverbrauch in 30 m Tiefe:

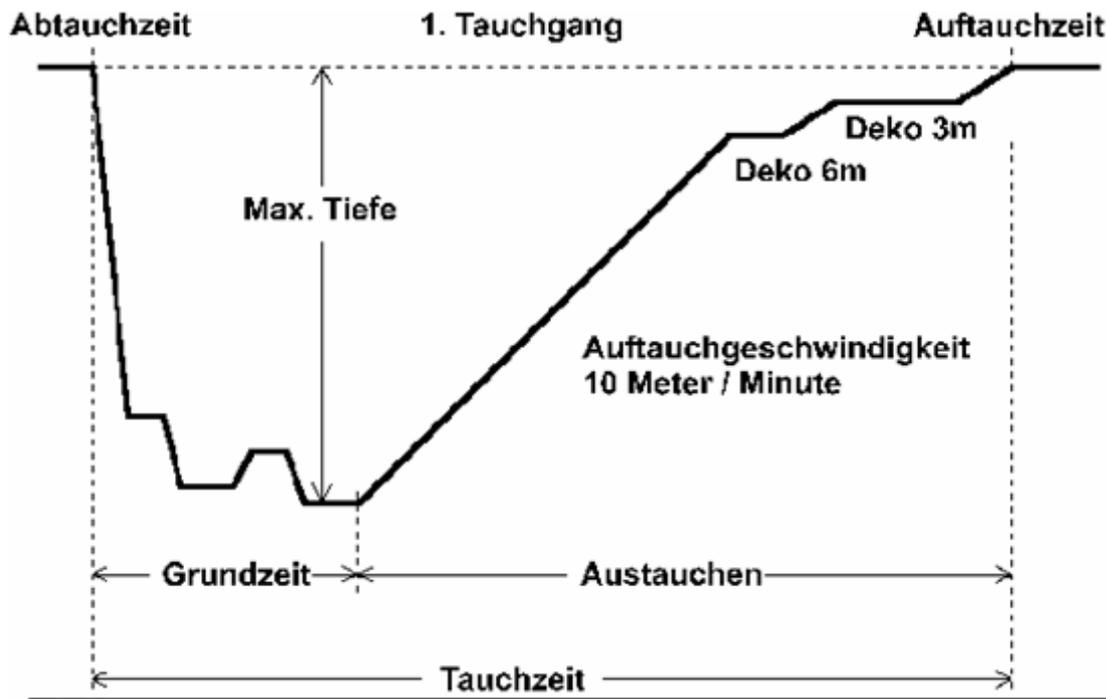
30 m entspricht 4 bar Umgebungsdruck.
 25 l/Min. * 4 bar = 100 barl/Min.

c) Berechnung der Tauchzeit:

960 barl : 100 barl/Min. = 9,6 Min.
 Bei angebrochenen Minuten wird auf die volle Minutenzahl abgerundet. Der Taucher kann also 9 Minuten in 30 m Tiefe tauchen.

Die Dekompressionstabelle

Wir beginnen das Thema Dekompression unter dem mathematischen Aspekt der Dekompressionstabelle. Die physikalisch-medizinischen Hintergründe behandeln wir in dem nachfolgenden Kapitel. Es gibt Tauchgänge, an deren Ende der Taucher direkt an die Wasseroberfläche zurückkehren darf, Nullzeittauchgänge. Dann gibt es Tauchgänge, bei denen der Taucher Pausen einhalten muß. Diese heißen Dekompressionstauchgänge oder kurz Dekotauchgänge.



Darstellung der Grundbegriffe anhand eines Tauchganges

Abtauchen: Keine Zeitvorgabe; allgemein gilt: so schnell, wie der Langsamste mit dem Druckausgleich mithalten kann. **Tauchtiefe:** Die maximal bei einem Tauchgang erreichte Tiefe. **Grundzeit:** Zeitraum vom Verlassen der Wasseroberfläche beim Abtauchen bis zum Beginn des Ausstauschens mit einer Auftauchgeschwindigkeit von 10m/Min.

Auftauchgeschwindigkeit: 10 m/Min. (Orientierung am Aufsteigen der kleinsten Luftbläschen). Die Auftauchgeschwindigkeit von 10 m/Min. sollte nicht unter - oder überschritten werden. **Tauchzeit:** Die gesamte bei einem Tauchgang unter Wasser verbrachte Zeit.

Nullzeittauchgang: Fläche <10m oder kurze Tauchgänge, die keine Austauschpause erforderlich zu machen, sind Nullzeit-Tauchgänge. Tauchgänge. Mit zunehmender Tiefe nimmt die erlaubte Grundzeit für Nullzeit-Tauchgänge ab. **Dekompressionstauchgang:** Bei diesen Tauchgängen ist die Grundzeit solange, daß in Dekompressionsstufen, ausgetaucht werden muß. D. h. beim Ausstauschen muß in einer oder mehreren Tiefen eine Pause gemacht werden. zB 6m ,3m

Austauchzeit: Die Summe eventueller Austauschpausen und den Zeiten für die Aufstiege mit 10 m/Min. Zu beachten ist, daß in der Austauschphase kontinuierlich bis zum Erreichen der ersten erforderlichen Dekostufe und von Dekostufe zu Dekostufe mit einer Aufstiegeschwindigkeit von 10 m/Min aufgetaucht wird.

Flugverbot: Unabhängig von einer detaillierten Bewertung eines einzelnen Tauchgangs sollte vor dem Flug eine Wartezeit von 36 Stunden eingehalten werden.

Die folgende Austausch- oder auch **Dekompressionstabelle** gibt Auskunft darüber, ob Austauschpausen eingehalten werden müssen oder nicht. In welcher Tiefe und wie lange.

Die abgebildete Tabelle von Dr. Max Hahn ist die für den Sporttaucher im VDST gültige. Es gibt sie in einer wasserfesten kleinen Ausführung, so kann sie problemlos bei jedem Tauchgang mitführen.

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					D
72			F	14				D	12					E
90			G	18				E	15					F
108			G	22				F	18					F
				26				F	21					F
15	24		D	30				F	24					G
36			E	34				F	27					G
48			E	38				F	30					G
60			F	42				G	33					G
72			F	46				G	36					G
84			G	50				G	40					G
									42					G
18	15		C	30	6			B	45	6				D
45'	35		D	9				C	8					D
45'	45		E	12				D	10					E
55'	55		F	15				D	12					E
65'	65		G	18				E	14					F
75'	75		G	21				F	16					F
				24				F	18					F
21	11		C	27				F	20					F
31'	16		D	30				F	22					G
21	21		D	33				G	24					G
26	26		E	36				G	26					G
31	31		E	39				G	28					G
36	36		F	42				G	30					G
41	41		F						33					G
46	46		F	6				C	36					G
51	51		G	9				D	39					G
56	56		G	12				D	42					G
61	61		G	15				E	45					G
				18				E	48					G
24	7		B	21				F	51					G
23'	11		C	24				F	54					G
	15		D	27				F	57					G
	19		D	30				F	60					G
	23		E	33				G	63					G
	27		E	36				G	66					G
	31		F						69					G
	35		F	6				C	72					G
	39		F	9				D	75					G
	43		G	12				D	78					G
	47		G	15				E	81					G
	51		G	18				E	84					G
	55		G	21				F	87					G
	59		G	24				F	90					G
	63		G	27				F	93					G
	67		G	30				G	96					G
	71		G	33				G	99					G
	75		G	36				G	102					G
	79		G	39				G	105					G
	83		G	42				G	108					G
	87		G	45				G	111					G
	91		G	48				G	114					G
	95		G	51				G	117					G
	99		G	54				G	120					G
	103		G	57				G	123					G
	107		G	60				G	126					G
	111		G	63				G	129					G
	115		G	66				G	132					G
	119		G	69				G	135					G
	123		G	72				G	138					G
	127		G	75				G	141					G
	131		G	78				G	144					G
	135		G	81				G	147					G
	139		G	84				G	150					G
	143		G	87				G	153					G
	147		G	90				G	156					G
	151		G	93				G	159					G
	155		G	96				G	162					G
	159		G	99				G	165					G
	163		G	102				G	168					G
	167		G	105				G	171					G
	171		G	108				G	174					G
	175		G	111				G	177					G
	179		G	114				G	180					G
	183		G	117				G	183					G
	187		G	120				G	186					G
	191		G	123				G	189					G
	195		G	126				G	192					G
	199		G	129				G	195					G
	203		G	132				G	198					G
	207		G	135				G	201					G
	211		G	138				G	204					G
	215		G	141				G	207					G
	219		G	144				G	210					G
	223		G	147				G	213					G
	227		G	150				G	216					G
	231		G	153				G	219					G
	235		G	156				G	222					G
	239		G	159				G	225					G
	243		G	162				G	228					G
	247		G	165				G	231					G
	251		G	168				G	234					G
	255		G	171				G	237					G
	259		G	174				G	240					G
	263		G	177				G	243					G
	267		G	180				G	246					G
	271		G	183				G	249					G
	275		G	186				G	252					G
	279		G	189				G	255					G
	283		G	192				G	258					G
	287		G	195				G	261					G
	291		G	198				G	264					G
	295		G	201				G	267					G
	299		G	204				G	270					G
	303		G	207				G	273					G
	307		G	210				G	276					G
	311		G	213				G	279					G
	315		G	216				G	282					G
	319		G	219				G	285					G
	323		G	222				G	288					G
	327		G	225				G	291					G
	331		G	228				G	294					G
	335		G	231				G	297					G
	339		G	234				G	300					G
	343		G	237				G	303					G
	347		G	240				G	306					G
	351		G	243				G	309					G
	355		G	246				G	312					G
	359		G	249				G	315					G
	363		G	252				G	318					G
	367		G	255				G	321					G
	371		G	258				G	324					G
	375		G	261				G	327					

3. Spalte: diese Spalte ist mit Dekopausen überschrieben. Hier finden wir Angaben dazu in welchen Tiefen die Austauschpausen gemacht werden müssen (12 m, 9 m, 6 m, 3 m) und wie lange (Angaben in Minuten).

4. Spalte: diese Spalte ist mit Wiederholungsgruppe überschrieben. Die Buchstabenkennzeichen werden wichtig wenn wir mehr als einen Tauchgang am Tag machen.

Gebrauchsanweisung der Tabelle

- 1) Suche in der Tabelle die genaue oder nächstgrößere Tiefe auf die während des Tauchganges erreicht wurde.
- 2) Suche dann die eingetragene Grundzeit auf, die entweder genau gleich oder nächst größer ist, als die Grundzeit des Tauchganges.
- 3) Bleibe während der angegebenen Zeit auf der angegebenen Austauschstufe und steige weiter auf, wenn die Zeit verstrichen ist. Die Aufstiegsgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Austauschstufen soll auch hier 10m/Min. betragen.

Beispiele: 1) Tauchgang von 30 Minuten (Grundzeit !) auf 14 m Tiefe.

Die Tiefe von 14 m ist nicht in der Tabelle eingetragen, deshalb müssen die Werte bei einer Tiefe von 15 m abgelesen werden.

Zuerst wird die Grundzeit mit der Nullzeit verglichen. (Siehe Beispiel)

15 72'	24			D
	36			E
	48			E
	60			F
	72			G
	84		4	G

Abb. 29 Dekompressionstabelle Auszug 15m

==> Der Tauchgang liegt innerhalb der Nullzeit, folglich müssen wir beim Austauschen keine Dekopausen einlegen.

2) Tauchgang von 20 Minuten (Grundzeit !) auf 33 m Tiefe.

Die Tiefe von 33 m ist in der Tabelle eingetragen.

Die genaue Grundzeit von 20 Minuten ist in dem Kästchen 33 m nicht eingetragen. Deshalb muß bei der nächst größeren Zeit, nämlich 21 Min. abgelesen werden. Siehe Beispiel:

33 12'	6				C
	9				D
	12				D
	15			2	E
	18			5	E
	21		1	7	F
	24		3	8	F
	27		5	10	F
	30	1	5	13	G
	33	2	7	15	G
36	3	8	18	G	

Abb. 30 Dekompressionstabelle Auszug 33m

==> Austauschen gemäß Tabelle bei 33/21 (Tiefe/Zeit), d.h. Dekopausen von 1 Minute in 6 m Tiefe, weiter auftauchen auf 3 m Tiefe und dort 7 Minuten verbleiben, danach auftauchen.

Die Dekompression

Normalerweise enden unsere Tauchgänge mit einem direkten Aufstieg ohne Einhalten von Pausen. Diese Tauchgänge nennt man Nullzeittauchgänge. Es sind die beim Sporttauchen üblichen Tauchgänge. Aber es gibt auch Tauchgänge, bei denen am Ende die Einhaltung von Pausen auf bestimmten Tiefen zwingend notwendig ist. Diese Austauschpausen nennt man auch Dekompressionspausen. Der medizinische Hintergrund für Nullzeittauchgänge ohne Dekompressionspausen und Dekompressionstauchgänge wird im folgenden dargestellt. Zur Anwendung kommt hier das Gesetz des Englischen Physikers Henry.

Das Gasgesetz eines englischen Physikers namens **Henry** sagt aus : *In allen Flüssigkeiten sind unsichtbar Gase gelöst.* Als Beispiel dient hier eine verschlossene Selterswasserflasche, in der sich Kohlensäure befindet. Trotzdem ist dieses Gas für uns nicht sichtbar.

Henry sagt auch, **je größer der Druck ist, der auf einer Flüssigkeit lastet, um so mehr Gase können darin unsichtbar in Lösung genommen werden.**

Dies gilt natürlich auch für unsere Körperflüssigkeiten. Und anhand einer bestimmten Körperflüssigkeit, dem Blut, werden in diesem Abschnitt die Auswirkungen des Henry'schen Gesetzes beschrieben.

Für uns Taucher ist entscheidend das Gasgemisch Luft. Es besteht aus Atemgas und Inertgas. Die Atemgase sind aktiv an der Atmung beteiligt, die Inertgase werden nur physikalisch gelöst. Folgende Prozentanteile sind in der Atemluft enthalten:

Atemgase: 21 % Sauerstoff (O₂), 0,03 % Kohlendioxyd (CO₂)

und

Inertgase: 78 % Stickstoff (N₂), 0,97 % Edelgase

An der Wasseroberfläche unter einem Umgebungsdruck von einem bar ist in unserem Körper eine gewisse Menge an Stickstoff unsichtbar gelöst. Da der Umgebungsdruck sich normalerweise nicht verändert, ändert sich auch der Stickstoffgehalt nicht. Es wird kein Stickstoff mehr aufgenommen oder abgegeben. Druck und Stickstoffgehalt sind in einem Gleichgewicht. Als Taucher setzen wir uns aber auch anderen Druckverhältnissen aus. Bei einer Tauchtiefe von 10 m haben wir nach dem Gesetz von Henry - **Doppelter Druck = Doppelte Menge Stickstoff** - N₂ nach einem gewissen Zeitraum in Lösung genommen.

----- Zusatz Info -----

Dem zugrunde liegt das Gesetz von Dalton, das besagt :

Der Gesamtdruck eines Gases ist die Summe der Teildrücke seiner Bestandteile.

Für unsere Tauchpraxis ergeben sich nun folgende Werte:

Tiefe	Umgebungsdruck	O ₂ Teildruck	N ₂ Teildruck	Restliche Gase
0 m	1 bar	0,21 bar	0,78 bar	0,01 bar
10 m	2 bar	0,42 bar	1,56 bar	0,02 bar
20 m	3 bar	0,63 bar	2,34 bar	0,03 bar
30 m	4 bar	0,84 bar	3,12 bar	0,04 bar

Die gelöste Menge an Stickstoff in unserem Blut beträgt in Abhängigkeit des Druckes :

Tauchtiefe	Umgebungsdruck	Blutmenge	gelöstes N ₂	Dauer bis gelöst
0 m	1 bar	5 l	1 l	immer gesättigt
10 m	2 bar	5 l	2 l	24 Std.
20 m	3 bar	5 l	3 l	24 Std.
30 m	4 bar	5 l	4 l	24 Std.

Mit diesem Mehr an Stickstoff dürfen wir nicht einfach zur Oberfläche auftauchen. Wir müssen gemäß dem Henry'schen Gesetzes dem Körper die Möglichkeit geben, den gelösten Stickstoff abzuatmen. Gelingt dies nicht, kommt es zum Ausperlen des Stickstoffs im Blut.

Kehren wir nun zu den für Sporttaucher üblichen Nullzeittauchgängen zurück. Bei Nullzeittauchgängen gelingt es dem Körper, die während des Tauchgangs in Lösung gegangenen Intertgase beim Einhalten der maximalen Aufstiegs geschwindigkeit von 10 Metern/Minute wieder abzugeben.

Als Sporttaucher sollten wir immer innerhalb der Nullzeit tauchen, denn nur dann können wir zur Wasseroberfläche auftauchen ohne Auftauchpausen, sogenannte **Dekompressionspausen**, einhalten zu müssen. Tauchen wir jedoch länger als es uns die Nullzeit erlaubt, kommen wir in den Bereich der **Dekompressionstauchgänge**. Auch hier hilft uns die Dekotabelle. Sie gibt uns verschiedene Dekompressionsstufen (3 m, 6 m und 9 m) und die jeweilige Zeit, die wir dort verweilen müssen, vor.

----- Zusatz Info -----

Was passiert auf den einzelnen Dekostufen ?

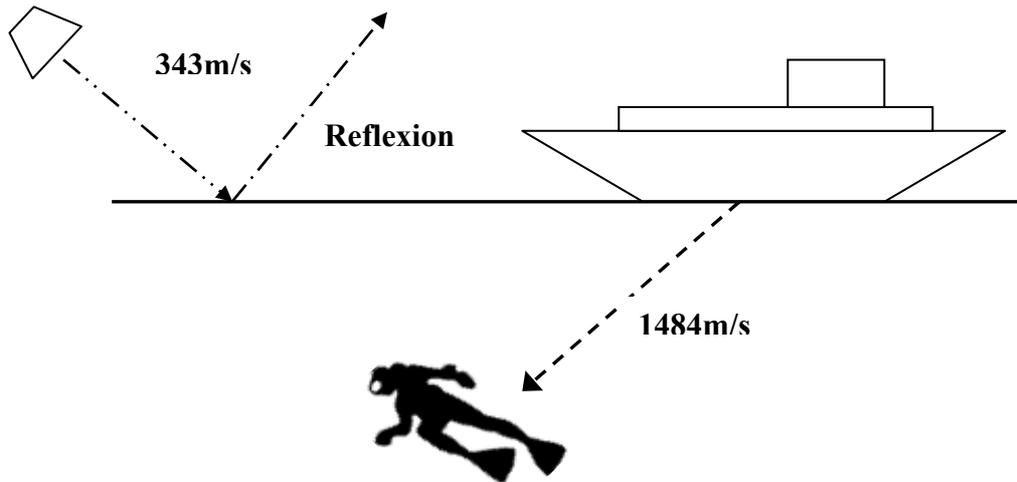
Wenn wir nur geringfügig länger als die angegebene Nullzeit tauchen und uns die Dekotabelle einen Stop in 3 m Tiefe vorschreibt, kommen wir dort mit 2,6 l N₂ in unserem Blut an. Bei dem dortigen Umgebungsdruck von 1,3 bar können wir diese Menge N₂ gerade noch in Lösung halten. Auf diesen 3 m atmen wir solange Stickstoff ab, bis wir nur noch mit 2 l N₂ gesättigt sind und können dann gefahrlos zur Wasseroberfläche auftauchen.

Schreibt uns die Dekotabelle, bei längeren und tieferen Tauchgängen einen Stop auf 3 und auf 6 m vor passiert folgendes : Wir kommen mit 3,2 l N₂ auf 6 m (Umgebungsdruck = 1,6 bar) an, atmen dort N₂ ab, bis wir noch mit 2,6 l N₂ gesättigt sind und gehen dann auf 3 m, atmen dort solange N₂ ab, bis wir nur noch 2 l N₂ in uns haben und tauchen dann erst zur Wasseroberfläche auf. Bei drei vorgeschriebenen Stops kommen wir mit einer N₂-Sättigung von 3,8 l auf 9 m (Umgebungsdruck = 1,9 bar) an, atmen dort solange N₂ ab, bis wir noch mit 3,2 l N₂ gesättigt sind, gehen dann auf 6 m, usw. Dieser Vorgang nennt sich stufenweises Dekomprimieren.

----- Ende -----

Hören unter Wasser

Schallwellen gehen von der Schallquelle eines schwingenden Körper aus. Der Schall pflanzt sich unterschiedlich schnell in den verschiedenen Flüssigkeiten oder Gasen fort. Über Wasser können wir die Richtung aus der ein Geräusch kommt meist ohne Probleme feststellen. Dies können wir, weil unsere Ohren ca. 15cm auseinander sind. Die Schallgeschwindigkeit in der Luft ist 345m/sec. Bei dieser Geschwindigkeit kann unser Ohr noch den Zeitlichen unterschied erfassen, d.h. der Schall erreicht zuerst das eine und dann das andere Ohr. Dadurch ist es uns möglich die Richtung zu erkennen. Unterwasser können Geräusche, die dort abgegeben werden sehr gut gehört werden, jedoch können Geräusche aus der Luft nicht ins Wasser übertragen werden. Unterwasser ist die Schallgeschwindigkeit 1485m/sec, also erheblich schneller als in Luft. das Zeitliche unterscheiden von rechtem und linkem Ohr ist nicht mehr möglich, da der Schall so schnell ist. Es ist also möglich unter Wasser zu hören, aber nicht möglich die Richtung festzustellen.

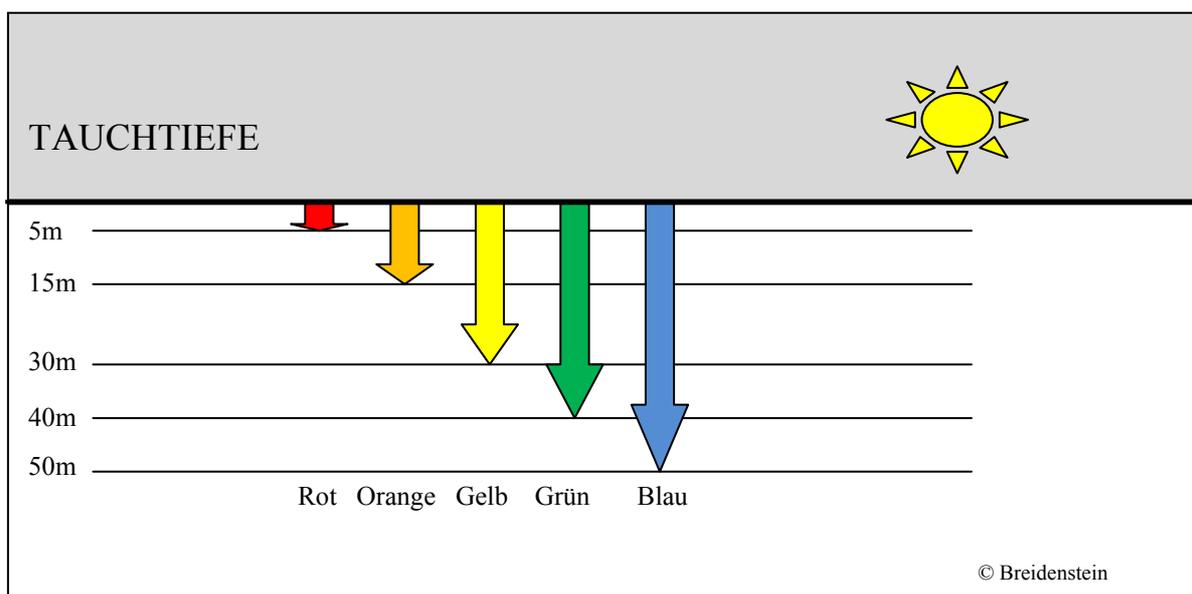


Schall

© Breidenstein

Farbensehen unter Wasser

Die Durchlässigkeit für Licht nimmt mit zunehmender Wassertiefe deutlich ab. Die Intensität des Lichtes wird vom Wasser vermindert, dadurch wird die Helligkeit geringer. Wasser absorbiert verschiedene Farben unterschiedlich stark. Rot verliert seine Farbe als erstes, blau bleibt relativ lange erhalten. Man kann dem entgegenwirken, indem man das Objekt, das man anschaut mit einer Unterwasserlampe anleuchtet. So erhält man wieder die Ursprüngliche Farbe.



© Breidenstein

6 Medizinische Grundlagen des Gerätetauchens

Tauchunfälle

Der Dekompressionsunfall

Werden für einen bestimmten Tauchgang vorgeschriebene Austauschstufen, -zeiten, sowie die vorgeschriebene Auftauchgeschwindigkeit nicht eingehalten, so kann es zur Dekompressionskrankheit kommen.

Alle Erscheinungsbilder werden durch Stickstoffblasenbildung in verschiedenen Geweben oder in den Blutgefäßen hervorgerufen.

Die häufigsten Symptome der Dekompressionserkrankung sind fleckförmige Rötung und Juckreiz der Haut. Man spricht auch von " Taucherflöhen ".

Eine andere häufige Form entsteht durch Ausperlen von Stickstoffblasen in den Gelenken - meist der oberen Extremitäten. Der Verunglückte verspürt starke Schmerzen und hält die Gelenke in einer gebeugten Schonhaltung (Fachbezeichnung: " Bends ", von to bend = beugen).

Alle bisher genannten Erscheinungen können isoliert, aber auch in Kombination mit den folgenden auftreten:

Bei schweren Verläufen können das zentrale Nervensystem (Gehirn, Rückenmark), sowie Atmung und Herz-Kreislaufsystem betroffen sein. Gelangen die Gasblasen mit dem Blutstrom ins Gehirn, so kann es zu Halbseitenlähmungen und Beeinträchtigungen von Sinnesorganen kommen.

Häufiger unterbrechen die Gasblasen die Nervenleitung im Rückenmark, was eine Querschnittslähmung zur Folge hat. Werden die Stickstoffbläschen auf venösem Weg in den Lungenkreislauf transportiert, so kann eine Lungenembolie auftreten. Dies macht sich durch Störungen der Atmung und durch einen brennenden Schmerz hinter dem Brustbein bemerkbar (Fachbezeichnung: " chokes ", von to choke = ersticken). Atmen verstärkt hierbei die Schmerzen, weswegen die Atmung dann nur flach und reflektorisch erfolgt. Dies führt zum Sauerstoffmangel und kann in einen Schockzustand münden.

Symptome des Dekompressionsunfalls

- Schmerzen in den Gelenken
- Schmerzen in der Haut (Ödeme)
- Juckreiz (Taucherflöhe)
- Marmorisierung/Rötung der Haut
- Schwindel, Seh- Hör- u. Sprachstörungen
- Atemstörung mit Luftnot und Schmerzen hinter dem Brustbein
- Halbseitenlähmung
- Querschnittslähmung
- Herz- und Kreislaufstörungen
- Schock

Diese Symptome treten in den allermeisten Fällen innerhalb der ersten Stunde nach Erreichen der Wasseroberfläche auf. Es können aber auch erst nach mehreren Stunden erste Zeichen einer Dekompressionskrankheit auftreten. Individuelle Faktoren spielen bei der Dekompressionskrankheit eine Rolle. So begünstigen Fettleibigkeit oder übermäßiger Alkoholgenuß am Vorabend des Tauchgangs, sowie Tauchen in kalten Gewässern, das Auftreten der Dekompressionskrankheit. So kann es in seltenen Ausnahmefällen auch bei Tauchgängen innerhalb der Nullzeit zu einem Dekounfall kommen.

Weiterhin sei erwähnt, daß das Nichteinhalten von Austauschzeiten, wenn nicht zu akuten Schädigungen, so doch zu chronischen Dekompressionsschäden führen kann. Dies sind chronische Skelettveränderungen, überwiegend bleibende Schädigungen der Gelenke.

Behandlung des Dekompressionsunfalls

In jedem Fall ist eine Behandlung in einer Druckkammer notwendig. Hierdurch erreicht man Zweierlei: einmal werden durch die Druckerhöhung die Stickstoffblasen wieder verkleinert und in Lösung gebracht, zum anderen wird durch die Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks eine bessere Versorgung der durch Gasembolien geschädigten Gewebe gewährleistet.

Der Transport des Verunglückten zu einer Druckkammer sollte möglichst erschütterungsfrei geschehen, um einem weiteren Entstehen und einer weiteren Verteilung von Gasblasen vorzubeugen.

Wichtig sind lebensrettende Maßnahmen während des Transportes zur Druckkammer oder bis zum Eintreffen von Hilfe:

- stabile Seitenlage (bei Bewußtlosigkeit)
- ruhige erschütterungsfreie Lage
- auf Flüssigkeitzufuhr achten
- bei Schock: nicht Trinken lassen (Gefahr des Erbrechens) , Schutz vor Temperaturverlust, psychische Betreuung
- 100% Sauerstoffbeatmung
- bei Atem- bzw. Herzstillstand: Wiederbelebung.

Wichtig: Auf keinen Fall sollte man eine nasse Rekompensation unternehmen (d.h. den Verunglückten mit DTG wieder ins Wasser bringen)! Da ein Druck von 6 bar und mehr zur Behandlung nötig ist und die Behandlung sehr langwierig ist, steht meist nicht genügend Druckluft zur Verfügung. Ausschlaggebender ist aber, daß der Verunglückte an Unterkühlung stirbt und die Helfer bei Komplikationen kaum eine Möglichkeit zum Eingreifen haben.

Der Lungenüberdruckunfall

Beim Tauchen mit Druckluftgeräten enthält die Lunge, je nach Wassertiefe, eine mehrfache Menge an Luft gegenüber der Oberfläche. In 10 Meter Tiefe ist es etwa die doppelte Menge, also $5 \text{ Liter} * 2 \text{ bar} = 10 \text{ Liter}$, in 20 Meter sind es $5 \text{ Liter} * 3 \text{ bar} = 15 \text{ Liter}$ usw. Dies ist wegen des notwendigen Druckausgleiches durch den Atemregler gegeben (siehe Kap. 3)

Beim Auftauchen dehnt sich das Luftvolumen mit der Abnahme des Druckes entsprechend dem Boyle-Mariotteschen Gesetz um ein Vielfaches aus. Kann dieses zunehmende Luftvolumen nicht aus der Lunge entweichen, wird die Lunge überdehnt, es kommt zum Lungenüberdruckunfall.

----- *Exkurs* -----

Dabei wird einmal wie beim starken Preßdruck der Rückstrom des Blutes aus den Körpervenen zum Herzen behindert. Ist der kritische Punkt der Überdehnung erreicht, zerreißen die Lungenalveolen und Luft dringt in das umgebende Kapillarnetz ein. Es besteht jetzt eine Gasembolie. Der Unterschied zum Dekompressionsunfall besteht darin, daß die Gasblasen nicht Stickstoff sondern Luft enthalten. Diese Luftblasen gelangen schnell über die Lungenvenen in das Herz und von dort in den großen Kreislauf. Diese Luftblasen landen u.a. in den Gehirngefäßen, wo sie die kleinen Arterien verstopfen. Das führt sofort zu einer Schädigung der Hirnzellen mit entsprechenden Ausfällen ihrer Funktion und bei längerem Bestehen zum Absterben der Nervenzellen. Auch können nach Verlassen der linken Herzkammer Luftblasen in die Herzkranzgefäße eindringen und hier die Arterien verstopfen, die den Herzmuskel versorgen. Bei etwa der Hälfte aller Lungenüberdruckunfälle kommt es zum Eindringen der Luft in die Blutbahn. Reißen Alveolen an der Lungenoberfläche ein, so gelangt Luft in den Brustkorb bis zwischen die Pleurablätter = Lungenfell/Rippenfell. Wird das Volumen im Pleuralspalt größer, so wird die entsprechende Lunge zusammengedrückt, es entsteht ein Pneumothorax. Dringt Luft in den Raum zwischen beiden Lungenflügeln ein (Mediastinum), so werden das Herz und die großen Gefäße abgedrängt. Gelangt die Luft unter die Haut, so können sie am Hals und in den Schlüsselbeingruben auftreten, was sich leicht beim Betasten als Luftkissen erkennen läßt. Man nennt dies ein Hautemphysem. Auch in das Gewebe, das die Alveolen umgibt, kann Luft eindringen. Eine Überdehnung und ein Zerreißen der Lunge tritt dann auf, wenn die beim Aufstieg sich ausdehnende Luft nicht abströmen kann. Die meisten Unfälle entstehen durch eine totale Lungenüberdehnung. Diese kann nur bei Blockierung der oberen Atemwege entstehen und wird fast immer durch den Verschuß der Stimmritze hervorgerufen. Das einzige auslösende Moment, das beim Tauchen zu einem Stimmritzenkrampf führt, ist die Angst. Diese Angst, nicht mehr genügend Luft bis zum Erreichen der Oberfläche zu haben, führt zu einem reflektorischen Krampf und damit zum Verschuß der Stimmritze. Möglicherweise wird der Krampf noch durch den von der Lunge her einsetzenden Überdruck verstärkt. Nicht nur theoretisch, auch auf Grund praktisch durchgeführter Experimente ist es erwiesenermaßen möglich, aus einer Wassertiefe von 100 Metern ohne Atmung aufzusteigen. Solche Notaufstiege können bei U-Boot-Unfällen notwendig sein. Ein Sauerstoffmangel entsteht dabei nicht, da zu Beginn des Aufstieges durch den erhöhten O₂ - Druck genügend Sauerstoff für den Aufstieg aufgenommen wurde. Zu einer Kohlendioxid-anreicherung, die zum Einatmen zwingen würde, kommt es ebenfalls nicht, da ja während des Aufstieges die Atemluft entweicht. Der Füllungszustand der Lunge ist gegeben und eine Atemnot kann nicht entstehen. Die Gefahr solcher Notaufstiege liegt in der Möglichkeit eines Lungenüberdruckunfalles.

----- *Exkurs Ende* -----

Die meisten Lungenüberdruckunfälle ereignen sich nicht bei trainierten Tauchern, die zu einem Notaufstieg selbst aus Tiefen von über 30 Metern gezwungen sind, sondern beim ungeübten Neuling und hier meist bei Aufstiegen aus geringer Tiefe. Durch entsprechende Unterweisungen und Übungen läßt er sich vermeiden.

Um die Ursachen der Lungenüberdruckunfälle - also die Angst - zu vermeiden, gibt es nur das Mittel, den Notaufstieg unter ungefährlichen Bedingungen zu üben. Wie bereits ausgeführt muß der Neuling mit der möglichen Gefahr schrittweise so konfrontiert werden, daß sie für ihn den Schrecken verliert und er im Ernstfall sinnvoll reagiert. Das geschieht am besten durch Aufstiegsübungen im Schwimmbad.

Der Tiefenrausch

Bei empfindlichen Tauchern kann ein Tiefenrausch schon ab 30 m Wassertiefe auftreten, von ca. 40m an machen sich rauschartige Symptome bei allen Tauchern bemerkbar. Es kommt dabei zu Störungen der Gedankenfolge, sowie zum Verlust der Konzentrations- und Kritikfähigkeit. Der Taucher ist in der Lage, sich in einer allen Gegebenheiten und Regeln widersprechenden Weise zu verhalten und ganz unangemessen auf äußere Einflüsse zu reagieren. Es kann zu einer Panikstimmung oder einer lähmenden Entschlußlosigkeit kommen, bei der nur mit Mühe ein folgerichtiger Schluß aus einer Wahrnehmung gezogen werden kann (besonders der Entschluß aufzutauchen, nach der verschleierte Feststellung der abgelaufenen Tauchzeit oder des zu Ende gehenden Luftvorrates). Bei entsprechenden Experimenten in der Druckkammer irrte sich die Versuchsperson in ihrem Geburtsdatum, war unfähig eine einfache Multiplikationsaufgabe zu lösen und sowohl Schrift- und Schreibstil waren verändert. Als weitere Erscheinungen können ein metallischer Geschmack im Mund, Ohrensausen, Röhrensehen, Benommenheit und schließlich Bewußtlosigkeit auftreten. Doch schon die eingeschränkte Kritikfähigkeit kann unter Wasser leicht zu lebensgefährlichen Fehlhandlungen führen. Heute gilt es als erwiesen, daß die Ursache des Tiefenrausches das Inertgas Stickstoff ist.

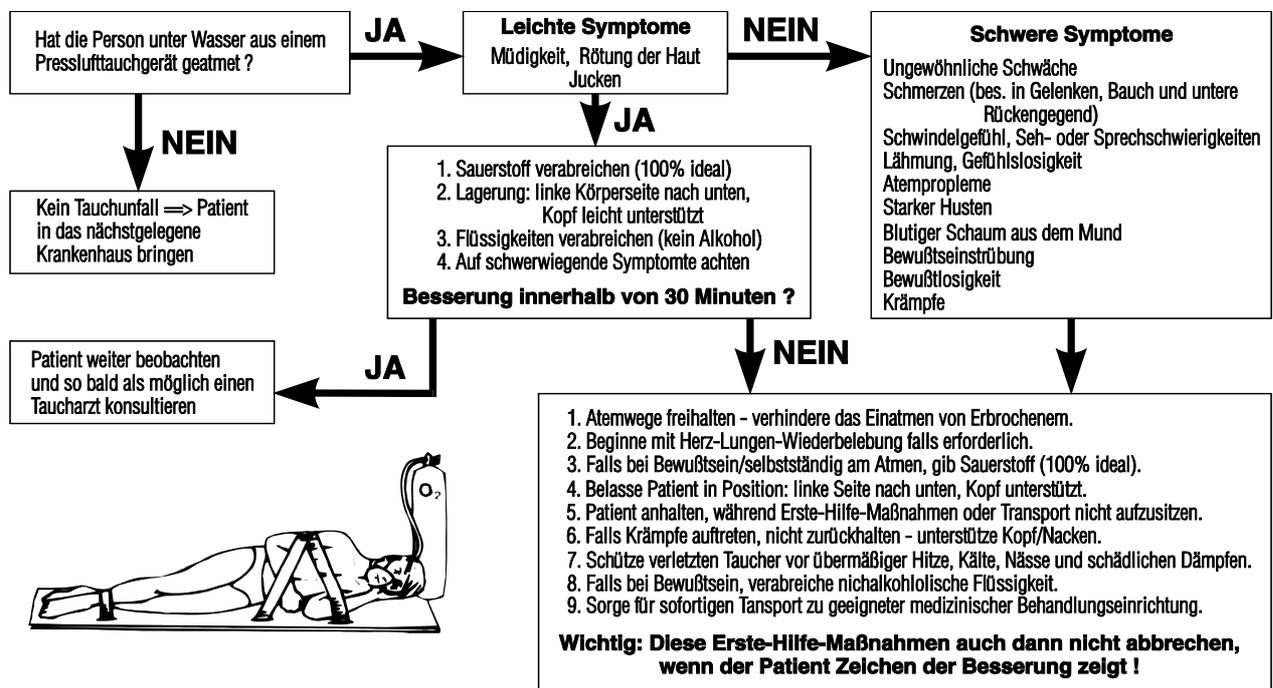
Inertgase (dazu gehören auch Helium und Neon) zeigen unter Druck mehr oder weniger narkoseartige Wirkung. Man spricht deshalb von einer Inertgasnarkose. Der mit Druckluft ausgerüstete Taucher ist unter Wasser sich selbst überlassen. Deshalb gilt für Sporttaucher die eiserne Regel, daß niemals ohne Begleiter getaucht werden darf.

Die Tiefenrauschsymptome lassen sich durch Erfahrung etwas besser einschätzen. Bis zu bestimmten Grenzen ist auch eine Gewöhnung möglich, doch müssen hierbei die Schranken der Verträglichkeit des Einzelnen an verschiedenen Tagen berücksichtigt werden. Diese Tagesform läßt sich vor dem Tauchgang nicht abschätzen, so daß die individuelle Empfindlichkeit für den Tiefenrausch variiert. Angst und Unsicherheit begünstigen sein Auftreten. Alkoholeinwirkung potenziert die Symptome. Die objektiven Symptome, wie die allgemein verlangsamte Reaktionsweise und Störungen feinerer Bewegungsabläufe, wie unbeholfenes Herumfingern bei relativ einfachen Handlungen, sollten, wenigstens für den Begleiter, eine nachdrückliche Warnung sein, die einen unverzüglichen Aufstieg in einen Bereich niederen Druckes fordert. Für einen sog. Notaufstieg ohne Berücksichtigung der Austauschzeiten und -zeiten besteht jedoch kein Grund, da die Erscheinungen des Tiefenrausches in geringerer Tiefe sofort verschwinden. In der Regel sollte mit Anfängern nicht über 20 bis 30 Meter getaucht werden. Auch erfahrene Taucher sollten nicht über 40 Meter tief tauchen.

Verhalten bei Tauchunfällen

Wenn sich ein Unfall ereignet hat:

1. Personalien des Patienten ermitteln und Informationen über die letzten Tauchgänge sammeln und schriftlich festhalten. Diese Informationen später dem Rettungspersonal zusammen mit dem Patienten überreichen.
2. Ausrüstung des Patienten sicherstellen aber **nicht zerlegen**.
3. Achte auf fachliche Kompetenz in bezug auf Tauchunfälle bei Helfern, Rettungspersonal und Ärzten, bevor Du die Verantwortung abgibst! Arbeite mit diesen zusammen, gib nur Fakten weiter, **keine Meinungen oder Beurteilungen!**
4. Unfallbericht so bald als möglich schreiben, solange die Ereignisse noch frisch im Gedächtnis sind.



VDST

Taucher-Hotline

Versichert Tauchen!

+49 1805 660560

+49 6215 4901814

www.vdst.de

24 Stunden Notfallhilfe



Nummer
Hotline Nr.

Notfall
VDST

7 Tauchen und Umwelt

Taucher können durch unsachgemäße Ausübung des Tauchsports die Umweltbedingungen in einem Tauchgewässer und seiner Umgebung verändern und damit das ökologische Gleichgewicht eines Sees oder eines Küstenabschnitts stören. Wie bei vielen Umwelteinflüssen bestimmt die Zahl und die Art und Weise der Eingriffe in die Natur, ob die Eingriffe gravierend oder unbedeutend sind. Durch richtiges, umweltbewusstes Verhalten über und unter Wasser und die Berücksichtigung der Empfindlichkeit des jeweiligen Tauchgewässers können wir als Taucher unseren Einfluss im Vergleich zu den natürlichen und anderen durch den Menschen bedingten Einflüssen gering halten. Wir alle sollten daher lernen, wie man richtig, bzw. umweltschonend, taucht.

Die 10 goldenen Verhaltensregeln für Sporttaucher

- 1. Sporttaucher benutzen Parkplätze und vorhandene Einstiege ins Gewässer!**
- 2. Sporttaucher dringen nicht in Schilf und Wasserpflanzenbestände ein!**
- 3. Sporttaucher bleiben den Nist-, Laich-, und Ruheplätzen fern!**
- 4. Sporttaucher achten auf einen ausreichenden Abstand zum Gewässergrund und wirbeln kein Sediment auf!**
- 5. Sporttaucher berühren und füttern keine wildlebenden Tiere!**
- 6. Sporttaucher harpunieren nicht, sie kaufen und sammeln keine Tiersouvenirs!**
- 7. Sporttaucher beobachten kritisch ihren See und halten die Tauchgewässer und ihre Uferzonen sauber!**
- 8. Sporttaucher befolgen die Arten- und Naturschutzbestimmungen!**
- 9. Sporttaucher lassen ihren Kompressor nur dort laufen, wo er niemanden stört.**
- 10. Sporttaucher halten ihre Kameraden an sich ebenfalls umweltbewusst zu verhalten!**