



VERBAND DEUTSCHER SPORTTAUCHER



DEUTSCHES TAUCHSPORTABZEICHEN ****/**** (CMAS ****/****)

SICHERES TAUCHEN LERNEN



GERMAN
DIVER
LICENCE

GDL** Advanced Sports Diver
GDL*** Dive Leader



DELIUS KLASING

**DEUTSCHES
TAUCHSPORTABZEICHEN**/**
* (CMAS **/***)**

SICHERES TAUCHEN LERNEN

**German Diver Licence
GDL** Advanced Sports Diver
GDL*** Dive Leader**

DELIUS KLASING VERLAG

Inhalt

Vorwort

Einleitung

VDST - Verband Deutscher Sporttaucher e.V.

GDL/DTSA** (CMAS**)**

Voraussetzungen zum DTSA**

GDL/DTSA** (CMAS**) - Theorie**

1 Tauchphysik

1.1 Masse, Gewichtskraft, Volumen

1.2 Druck

1.3 Gesetz von Boyle-Mariotte

1.4 Gesetze von Amontons und Gay-Lussac

1.5 Zusammensetzung der Atemluft

1.6 Gesetz von Dalton, Partialdruckberechnung

1.7 Prinzip des Archimedes

1.8 Diffusion und Gesetz von Henry

1.9 Dekompression

1.10 Licht

1.11 Schall

1.12 Wärme

2 Tauchmedizin

2.1 Gewebearten

2.2 Anatomie und Physiologie des Herz-Kreislauf-Systems

2.3 Anatomie der Atmungsorgane und Physiologie der
Atmung

2.4 Anatomie des Ohres und der Schädelhöhlen

2.5 Barotraumen

2.6 Überdruckbarotrauma der Lungen

- 2.7 Dekompressionsunfall
- 2.8 Dehydratation
- 2.9 Hinweise für sicheres blasenarmes Tauchen
- 2.10 Kohlendioxidvergiftung und Essoufflement
- 2.11 Tiefenrausch
- 2.12 Unterkühlungen

3 Tauchausrüstung

- 3.1 Tauchgerät
- 3.2 Atemregler
- 3.3 Jacket
- 3.4 Ausrüstungsempfehlungen und Konfiguration
- 3.5 Tauchbekleidung
- 3.6 Instrumente
- 3.7 Tauchcomputer
- 3.8 Handhabung des Kompressors

GDL/DTSA** (CMAS**) - Praxis**

4 Tauchpraxis

- 4.1 Tauchgangsplanung und -vorbereitung
- 4.2 Tauchgangsvorbesprechung mit Ausrüstungscheck
- 4.3 Tauchgangsdurchführung und Gruppenführung
- 4.4 Tauchgangsnachbesprechung
- 4.5 Luftverbrauchsrechnungen
- 4.6 Handhabung der Dekompressionstabelle
- 4.7 Planung eines Tauchgangs mit Berechnung der Dekompression und des Luftverbrauchs
- 4.8 Kaltwassertauchen
- 4.9 Tauchen bei Strömung vom Boot und von Land
- 4.10 Tauchen bei Nacht
- 4.11 Tauchen an einer Steilwand
- 4.12 Orientierung nach natürlichen Gegebenheiten und mit Kompass
- 4.13 Verhalten bei Komplikationen

- 4.14 Tarierung, Atemtechnik und Feststellen der richtigen Bleimenge
- 4.15 Aufstieg ohne Flossenschlag
- 4.16 Aufstieg unter Wechselatmung
- 4.17 Tauchen unter Atmung aus dem Atemregler des Partners
- 4.18 Setzen der Signalboje
- 4.19 Apnoetauchen
- 4.20 Unterwasser-Zeichengebung

5 Tauchen und Umwelt

- 5.1 Ökologie von Seen
- 5.2 Fließgewässer
- 5.3 Lebensräume des Mittelmeeres
- 5.4 Korallenriffe
- 5.5 Symbiose
- 5.6 Neobiota
- 5.7 Taucher können das Gewässer schützen
- 5.8 Mitmachmöglichkeiten und Weiterbildung

6 Notfallrettung

- 6.1 Notfallorganisation und Rettungskette
- 6.2 Risikoanalyse
- 6.3 Erste Hilfe
- 6.4 Herz-Lungen-Wiederbelebung und AED
- 6.5 Sauerstoffgabe
- 6.6 Rettung eines handlungsunfähigen Tauchers an die Wasseroberfläche
- 6.7 Transport eines Tauchers an der Wasseroberfläche
- 6.8 Rettungsgriffe
- 6.9 Notsignale
- 6.10 Notfallprotokoll

GDL/DTSA** (CMAS**) - praktische Übungen**

Übungen mit ABC-Ausrüstung

Übungstauchgänge mit DTG-Ausrüstung

GDL*/DTSA***/ (CMAS***)**

Voraussetzungen zum DTSA***

GDL*/DTSA***/ (CMAS***) - Ergänzende Theorie**

1 Tauchphysik

- 1.1 Grenzen der Gasgesetze
- 1.2 Joule-Thomson-Effekt
- 1.3 Lösung von Gasen in Flüssigkeiten
- 1.4 Physikalisch-physiologische Faktoren für ein Essoufflement

2 Tauchmedizin

- 2.1 Auswirkungen eines Rechts-Links-Shunts und Bedeutung eines offenen Foramen ovale für die Dekompression
- 2.2 Behandlung der Dekompressionskrankheit
- 2.3 Ertrinken
- 2.4 Hitzeschäden (Hyperthermie)
- 2.5 Psychische Faktoren beim Tauchen
- 2.6 Sauerstoffvergiftung
- 2.7 Kohlenmonoxidvergiftung
- 2.8 Schock
- 2.9 Diabetes und Tauchen
- 2.10 Erste Hilfe bei Verletzungen durch Meerestiere
- 2.11 Medikamente, Drogen und Tauchtauglichkeit

3 Tauchausrüstung

- 3.1 Trockentauchanzüge
- 3.2 Alternative Tariersysteme und Bleisysteme
- 3.3 Vereisung
- 3.4 Ausrüstungskonfiguration
- 3.5 Tauchlampen
- 3.6 Aufbau des Kompressors

GDL*/DTSA***/ (CMAS***) - Praxis**

4 Tauchpraxis

- 4.1 Tauchen in größeren Gruppen

- 4.2 Tauchgänge mehrerer Gruppen vom Boot
- 4.3 Ausfahrt mit einem Schlauchboot
- 4.4 Gruppenführung mit unerfahrenen Mittauchern
- 4.5 Gruppenführung beim Nachttauchen mit einem Neuling
- 4.6 Tauchen in Bergseen
- 4.7 Planung eines Tauchgangs im Bergsee mit Berechnung der Dekompression und des Luftverbrauchs
- 4.8 Planung eines Tauchgangs mit Berechnung der Dekompression und des Umkehrdrucks
- 4.9 Tauchen im Trockentauchanzug
- 4.10 Eistauchen
- 4.11 Tauchen in kalten Gewässern
- 4.12 Entstehung von Gezeiten
- 4.13 Wracktauchen
- 4.14 Tauchen in Meeresgrotten
- 4.15 Tauchen mit Nitrox

GDL*/DTSA*** (CMAS***) - praktische Übungen**

Übungen mit ABC-Ausrüstung

Übungstauchgänge mit DTG-Ausrüstung

Anhang

Reiseapotheke

VDST-Tauchunfallprotokoll

VDST-Neurocheck

Literaturverzeichnis

Register

Die Unterwasserwelt erleben und genießen!

Mit der Ausbildung GDL/DTSA**/** werden die Grundlagen für anspruchsvolle, erlebnisreiche Tauchgänge gelegt. Praktische und theoretische Kompetenzen und Fähigkeiten stehen im Mittelpunkt dieser Ausbildungen, die es erlauben, auch unter schwierigeren Bedingungen und mit mehr Verantwortung für die Mittaucherinnen und Mittaucher die Unterwasserwelt zu entdecken. Damit ist dieses Buch ein unumgänglicher Baustein für alle, die das Sporttauchen intensiver betreiben wollen.

Sporttauchen im Freigewässer, egal ob in Binnengewässern oder im Meer, erfordert viel Umsicht und auch theoretischen Hintergrund. Dies wird im Verband Deutscher Sporttaucher (VDST) durch ein bewährtes Ausbildungskonzept vermittelt. Nach der GDL*/DTSA*-Qualifikation folgt mit der **-Ausbildung eine Vertiefung der Grundkenntnisse, um auch ungewöhnlichere Herausforderungen sicher zu meistern. In der dritten Ausbildungsstufe (GDL***/DTSA***) werden dann alle Aspekte vermittelt, die die sichere Leitung von Tauchgängen erfordern, auch wenn unerfahrenere Gruppenmitglieder geführt werden sollen. Aus der Erfahrung über Jahrzehnte ist so nun eine aktualisierte Zusammenfassung des notwendigen, theoretischen Wissens entstanden.

Dieses Ausbildungsbuch soll auch Anreiz sein, seine eigenen Kompetenzen noch weiter zu steigern. Der Einstieg in die Trainer- und Tauchlehrerausbildung bietet sich da genauso an wie die Vertiefung der taucherischen Kompetenzen. Unterwasser-Foto- und -Videographie, Tauchen mit

speziellen Tauchgeräten, die den eigenen Aktionsradius und das Naturerlebnis noch weiter steigern oder auch die Begleitung von Kindern und Jugendlichen sind hier Stichworte für die nächsten Schritte. Ich hoffe, dieses Buch macht daher Appetit auf mehr!

Den VDST-Taucherlehrern und -Tauchlehrerinnen, die an dieser Ausgabe mitgewirkt haben, möchte ich an dieser Stelle ganz herzlich danken! Gerade die Darstellung der manchmal doch ungewöhnlichen und etwas komplizierten Sachverhalte, die sich beim Tauchen ergeben, bedürfen größter Erfahrung, die hier eingebracht wurde. Technisches und medizinisches Fachwissen ist genauso gefragt wie die Kenntnisse über die Natur in einer für den Menschen besonderen Umgebung.

Allen Taucherinnen und Tauchern, die dieses Buch zur eigenen Fort- und Weiterbildung nun nutzen, wünsche ich viel Erfolg in der Ausbildung und viel Spaß bei dann noch schöneren und anspruchsvolleren Tauchgängen!

Dr. Uwe Hoffmann
VDST-Präsident

Einleitung

Das Tauchen in der Welt unter Wasser, das Entdecken der Schönheit der Unterwasserlandschaften, der Pflanzen- und Tierwelt, das Erkunden unbekannter Riffe oder einfach nur das Erleben des Schwebens unter Wasser hast du kennengelernt. Du hast Freude am Tauchen und mit dem Deutschen Tauchsportabzeichen (DTSA)* bzw. GDL* Sports Diver die Grundlagen für das Tauchen in Begleitung eines erfahrenen Tauchers erlernt. Um nun selbst Tauchgänge zu planen, durchzuführen und gemeinsam mit anderen Tauchern zu erleben, benötigst du weitere Kenntnisse und Fertigkeiten. Durch die Zahl deiner Tauchgänge wachsen deine Erfahrung, deine Sicherheit und deine Routine im Umgang mit deiner Ausrüstung und mit deinem Bewegen, Trieren und Wahrnehmen unter Wasser. Durch die Aufbaukurse »Orientierung beim Tauchen« und »Gruppenführung« erlangst du die Kompetenzen, um als autonomer Taucher auch gemeinsam mit anderen autonomen Tauchern Gruppen zu führen. Die Qualifikation dazu erlangst du mit dem DTSA** bzw. GDL** Advanced Sports Diver. Mit dem DTSA*** bzw. GDL*** Dive Leader wirst du dann auch qualifiziert, Tauchgänge unter erschwerten Bedingungen oder mit unerfahreneren Tauchern zu führen. Das DTSA** und das DTSA*** sind international anerkannte Tauchsportabzeichen des Verbandes Deutscher Sporttaucher e. V. (VDST). In diesem Buch werden die für das Deutsche Tauchsportabzeichen** (GDL** Advanced Sports Diver) und für das darauf aufbauende Deutsche Tauchsportabzeichen*** (GDL*** Dive

Leader) erforderlichen Kenntnisse vermittelt, sodass du damit die im Unterricht durch einen VDST-Tauchlehrer vermittelten Inhalte nacharbeiten, vertiefen und schließlich im Rahmen einer theoretischen Lernerfolgskontrolle nachweisen kannst.

Im weiteren Verlauf wird aus Gründen der Vereinfachung der Textrezeption auf die zusätzliche Formulierung der femininen und neutralen Form verzichtet. Die ausschließliche Verwendung der maskulinen Form soll explizit als geschlechtsunabhängig verstanden werden.

VDST

Verband Deutscher Sporttaucher e. V.

Die Unterwasserwelt mit all ihren Schönheiten und Erlebnismöglichkeiten selbst aktiv zu entdecken und kennenzulernen ist für viele der entscheidende Anreiz, im Tauchen mehr als nur ein Hobby zu sehen. Viele lassen sich von der einzigartigen Schönheit der Korallenriffe faszinieren, andere genießen die Schwerelosigkeit im weiten Blau des Meeres und der Seen, und wieder andere treibt der sportliche Eifer unter die Wasseroberfläche. Abenteuer und Mystik sind beim Tauchen natürlich immer dabei. Doch ganz gleich, welche Motive zum Sporttauchen führen, am Anfang eines jeden Taucherdaseins steht eine fundierte und professionelle tauchsportliche Ausbildung. Nur so sind die größtmögliche Sicherheit und die Freude beim Tauchen garantiert.

Mitglieder im VDST sind neben den Sporttauchern auch die Tauchsportvereine und Landestauchsportverbände in ganz Deutschland. Dazu kommen die angeschlossenen Tauchbasen und Tauchschulen in Deutschland und im Ausland, die ebenfalls nach seinen Standards ausbilden. Mit einer Gesamt-Mitgliederzahl von mehr als 75.000 Mitgliedern ist er der größte Non-profit-Tauchsportverband Europas. In seinen rund 1.000 Vereinen bietet der VDST die besten Möglichkeiten, das Sporttauchen zuverlässig, kostengünstig und vor allem sicher zu erlernen und auszuüben – das Trainieren im Hallenbad eingeschlossen.

Jedes Verbandsmitglied profitiert dabei von einem umfangreichen Versicherungspaket mit Tauchunfall-,

Haftpflicht- und Rechtsschutzversicherung. Eine medizinische Notfall-Hotline ist bei Tauchunfällen, aber auch bei allen anderen Erkrankungen oder Unfällen 24 Stunden am Tag für VDST-Mitglieder da. Sogar eine allgemeine Auslandsreisekrankenversicherung ist im VDST-Mitgliedsbeitrag bereits inklusive. Als deutscher Vertreter des Weltdauchsportverbands Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques (CMAS) bietet der VDST seinen Mitgliedern eine international anerkannte Brevetierung. Das hohe Qualitätsniveau seiner Ausbildung ist durch die »European Underwater Federation« (EUF) nach europäischen Normen zertifiziert und durch den Deutschen Olympischen Sportbund (DOSB) lizenziert. Die internationale Bezeichnung der Deutschen Tauchsportabzeichen (DTSA) ist die German Diver Licence (GDL).

GDL/DTSA** (CMAS**)**

Voraussetzungen zum DTSA**

Mit dem DTSA* hast du die Qualifikation zum Tauchen als Mitglied einer Gruppe unter Leitung eines erfahrenen Tauchers mit höherer Qualifikation erlangt. Mit zunehmender Erfahrung und mit steigender Anzahl an Tauchgängen möchtest du nun selbstständig Tauchgänge planen und mit anderen Tauchern deines Erfahrungsstandes durchführen. Hierzu benötigst du das deutsche Tauchsportabzeichen DTSA**.

Die dafür erforderlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen findest du in der aktuellen VDST-DTSA-Ordnung auf der Website des VDST (www.vdst.de/mediathek/downloads).

Das Mindestalter für das DTSA** ist 16 Jahre. Bei Minderjährigen ist die Einverständniserklärung der sorgeberechtigten Eltern (in der Regel beider Elternteile) erforderlich.

Als Erfahrungsnachweis musst du 25 Tauchgänge bis nach der Brevetierung vorweisen können. Davon müssen mindestens zehn auf 15 bis 25 Meter Tiefe durchgeführt worden sein. Dies ist eine Mindestzahl. Sprich mit deinem Tauchlehrer, ob du schon den Erfahrungsstand und die taucherischen Fertigkeiten für die Prüfung zum DTSA** besitzt.

Eine gültige Tauchtauglichkeitsbescheinigung ist ebenfalls erforderlich.

Mit dem DTSA** erlangst du die Qualifikation zur sicheren Planung und selbstständigen Durchführung von Tauchgängen im Freigewässer. Neu sind für dich insbesondere die Aufgaben der Gruppenführung und der Orientierung. Daher sind auch die Aufbaukurse »Orientierung beim Tauchen« und »Gruppenführung« wichtige Ausbildungsstationen, die vor der Prüfung des DTSA** absolviert werden müssen. Damit du auch bei einem Unfall Erste Hilfe leisten kannst, gehört der Aufbaukurs »Herz-Lungen-Wiederbelebung« zu den Voraussetzungen. Empfohlen werden auch die Spezialkurse »Meeresbiologie« und »Süßwasserbiologie«, welche jedoch nicht verpflichtend sind.

GDL/DTSA** (CMAS**) - Theorie**

In der Theorieausbildung zum DTSA* wurden bereits viele Grundlagen behandelt, die zum Tauchen wichtig sind. Mit dem DTSA** wirst du in Theorie und Praxis mit den Grundsätzen der selbstständigen Durchführung von Tauchgängen im Freigewässer vertraut gemacht, sodass du Tauchgänge sicher planen und durchführen kannst. Hierzu ist auch ein gutes theoretisches Wissen über die physikalischen Grundlagen und die sich daraus ergebenden Einflüsse auf den menschlichen Körper erforderlich. Fundierte Kenntnisse der Tauchausrüstung und der praktischen Durchführung von Tauchgängen und Übungen sind hierzu unerlässlich.

Einige dieser Themen hast du bereits in der Ausbildung zum DTSA* behandelt. Im Folgenden werden diese noch einmal vertieft und weiter erläutert.

1 Tauchphysik

Die Vorgänge im menschlichen Körper folgen überwiegend einfachen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Unter Wasser verändern sich jedoch die Rahmenbedingungen und somit auch die physikalischen Einflüsse auf unseren Körper. Um diese Einflüsse und deren Unterschiede über und unter Wasser zu verstehen, sind einige physikalische Kenntnisse erforderlich, die dir nachfolgend erklärt werden.

1.1 Masse, Gewichtskraft, Volumen

Bevor wir physikalische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten behandeln, benötigen wir die hierfür maßgeblichen physikalischen Größen und deren Einheiten. In den nachfolgenden Formeln werden die physikalischen Größen zur einfacheren Darstellung durch ihr Formelzeichen abgekürzt.

Die **Masse** ist eine Grundeinheit, die nicht aus anderen Größen hergeleitet werden kann. Jeder Körper hat eine bestimmte Masse. Sie wird in der Einheit Kilogramm (abgekürzt kg) gemessen. Die Masse eines Körpers kann mit einer Balkenwaage durch den Vergleich mit einem Körper bekannter Masse festgestellt werden. Mit einer Feder- oder Personenwaage geht das nicht unmittelbar, da diese Waagen von der einwirkenden Schwerkraft abhängig sind. Beispiel: Ein Liter Wasser hat eine Masse von ca. 1 kg.

Für kleinere Mengen wird die Masse auch in Gramm (g) angegeben: 1 g ist 1/1000 kg.

Die Abkürzung für die Masse in Formeln ist m.

Auf einen Körper auf der Erde wirkt durch die Erdanziehung eine **Kraft** in die Richtung zum Erdmittelpunkt, welche als **Gewichtskraft** bezeichnet wird. Die Gewichtskraft ergibt sich als Produkt der Masse des Körpers und der Erdbeschleunigung:

$$\text{Gewichtskraft} = \text{Masse} \cdot \text{Erdbeschleunigung}$$

Die Abkürzung für eine Kraft in Formeln ist F, die für die Erdbeschleunigung g. Damit lautet diese Formel

$$\mathbf{F = m \cdot g}$$

Die Erdbeschleunigung beträgt $9,81 \text{ m/s}^2$, näherungsweise rechnen wir mit 10 m/s^2 . Kräfte werden in der Einheit Newton (abgekürzt N) gemessen, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$. Die Gewichtskraft eines Körpers auf der Erde ergibt sich also einfach aus der Masse:

$$F = m \cdot 10 \text{ m/s}^2$$

Beispiel:

Die Gewichtskraft eines Körpers mit einer Masse von 1 kg beträgt auf der Erde $F = 1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$.

Das **Volumen** beschreibt den Inhalt eines Raumes und ergibt sich aus der Multiplikation von Länge, Höhe und Breite. **Strecken** werden mit s bezeichnet und in der Einheit Meter (m) gemessen, **Flächen** werden mit A bezeichnet und in m^2 gemessen, das Volumen hat die Einheit Kubikmeter (m^3). Ein Würfel mit einer Kantenlänge (Länge, Höhe und Breite) von 1 m hat ein Volumen von 1 m^3 . Ein Würfel mit einer Kantenlänge von 10 cm hat ein Volumen von:

$$V = 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = 1.000 \text{ cm}^3$$

Mit der Umrechnung $10 \text{ cm} = 1 \text{ dm}$ entspricht dieses Volumen auch 1 dm^3 . Das Volumen von 1 dm^3 wird auch alternativ zur Maßeinheit 1 Liter (l) verwendet.

Schließlich benötigen wir noch die **Dichte** eines Körpers. Die Dichte ergibt sich aus der Masse m geteilt durch das Volumen V eines Körpers. Sie wird mit dem Formelzeichen ρ (Rho) bezeichnet und in kg/m^3 gemessen, bei flüssigen Körpern auch in kg/l .

$$\rho = m / V$$

Die Dichte von Wasser beträgt ungefähr 1 kg/l, da die Masse von einem Liter Wasser rund 1 kg beträgt. Je nach Salzgehalt ist die Dichte des Meerwassers jedoch etwas höher.

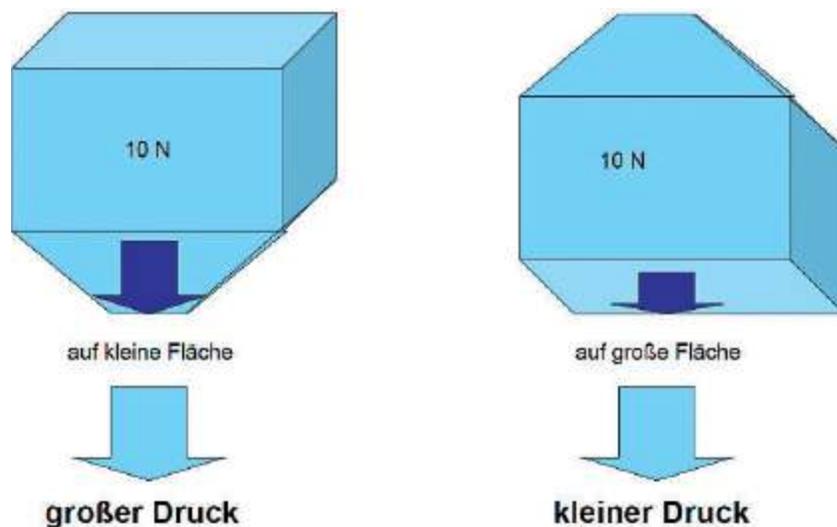
1.2 Druck

Für uns Taucher ist der **Druck** eine ganz entscheidende Größe, weil sich der Druck mit zunehmender Wassertiefe erhöht, wodurch sich die physikalischen Rahmenbedingungen je nach Wassertiefe verändern. Der Druck ist die Kraft, die auf eine bestimmte Fläche wirkt. Er wird mit p bezeichnet.

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

oder in Formelschreibweise

$$p = F/A$$



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

Je größer die Fläche ist, auf die eine Kraft wirkt, desto kleiner ist der Druck und umgekehrt. Wenn wir mit einem spitzen Absatz auf einen weichen Untergrund treten, hinterlassen wir einen tieferen Abdruck als mit einer flachen Sohle.

Die Maßeinheit des Drucks ergibt sich aus der Maßeinheit der Kraft (Newton) geteilt durch die Maßeinheit der Fläche

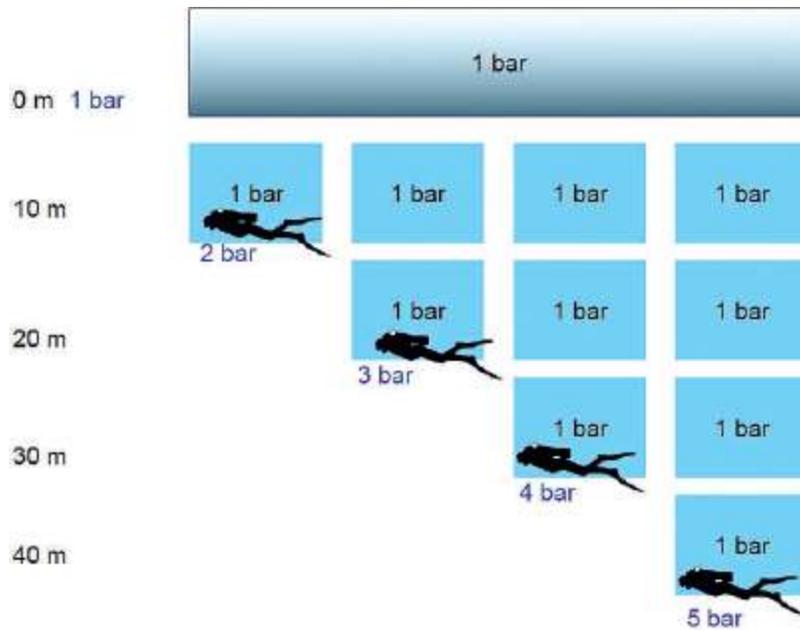
(m²), also N/m². Die Einheit 1 N/m² wird auch mit 1 Pascal (1 Pa) bezeichnet. Diese wäre jedoch so klein, dass wir die beim Tauchen üblichen Druckangaben sechsstellig angeben müssten. Daher wird beim Tauchen der Druck auch in Bar angegeben (1 bar = 10 N/cm² = 10.000 Pa). 1 bar entspricht dem Druck eines 1 kg schweren Körpers auf eine Fläche von 1 cm² oder einer Wassersäule von 10 m Höhe.

Auf den Taucher wirken der Luftdruck durch die über uns befindliche Atmosphäre und der Wasserdruck durch das Wasser. Beides zusammen ergibt den Umgebungsdruck. Der Luftdruck ist abhängig von der Höhe, in der das Tauchgewässer liegt. Für unsere Tauchgänge, die ungefähr auf Meereshöhe beginnen, legen wir einen Luftdruck von 1 bar zugrunde.

Der Wasserdruck nimmt mit steigender Tiefe zu. Jeweils 10 m Wassersäule ergeben einen Wasserdruck von 1 bar.

Das bedeutet, dass die Wassertiefe geteilt durch 10 den Wasserdruck ergibt. Hinzu kommt noch der Luftdruck von 1 bar durch die Atmosphäre an der Wasseroberfläche.

$$\text{Umgebungsdruck} = (\text{Wassertiefe} / 10 \text{ m}) \text{ bar} + 1 \text{ bar}$$



Umgebungsdruck unter Wasser

Der Umgebungsdruck, der in der jeweiligen Tauchtiefe auf uns wirkt, ist also die Summe aus Luftdruck und Wasserdruck. Man teilt die aktuelle Wassertiefe durch 10 und addiert dazu 1 bar Luftdruck. Der Druck wird mit dem Buchstaben ρ (Rho) bezeichnet und in der Einheit bar angegeben.

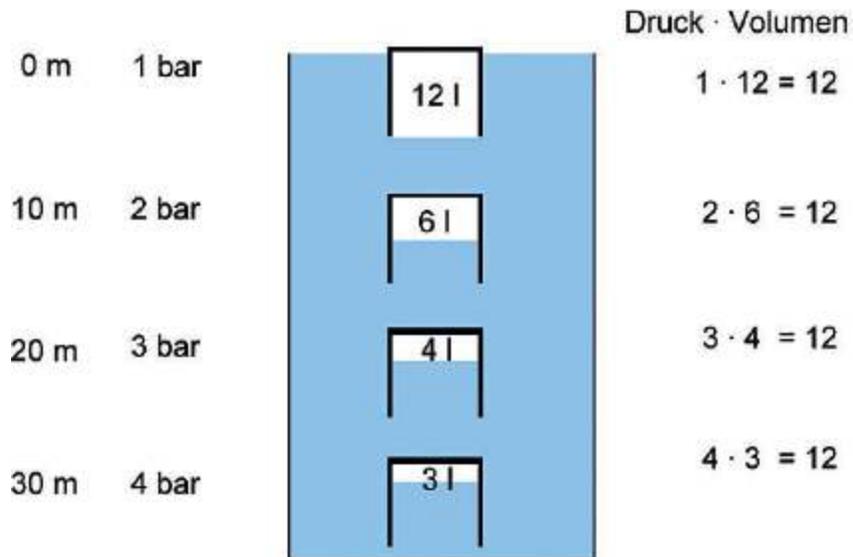
1.3 Gesetz von Boyle-Mariotte

Je tiefer wir tauchen, desto größer wird der Umgebungsdruck. Dies hast du bereits gelernt. Der Druck wirkt auf unseren gesamten Körper. Da unser Körper zum größten Teil aus Wasser besteht, wird er durch diese Druckzunahme nahezu überhaupt nicht belastet, da Wasser nicht kompressibel ist. Es gibt aber auch einige luftgefüllte Hohlräume in unserem Körper (z. B. die Lunge), bei denen die Zunahme der Tiefe und somit der größere Umgebungsdruck nicht ohne Auswirkungen bleibt. Luftgefüllte, abgeschlossene Hohlräume verändern unter höherem oder niedrigerem Druck ihr Volumen.

Was passiert zum Beispiel mit einem Luftballon, den du im Schwimmbad von der Wasseroberfläche mit auf den Grund nimmst? Er verkleinert sich!

Umgekehrt wird ein Luftballon, den du am Schwimmbadgrund aufbläst, auf dem Weg zur Wasseroberfläche deutlich größer.

Wenn wir beispielsweise einen mit 12 l Luft gefüllten Eimer mit unter Wasser nehmen, verändert sich das darin befindliche Volumen wie in folgender Abbildung:



Komprimierte Luft in einem Eimer unter Wasser

Im Ergebnis stellen wir fest, dass das Produkt von Druck und Volumen bei einer festen Luftmenge und bei einer festen Temperatur auf jeder Tiefe gleich ist. Diese Gesetzmäßigkeit beschreibt das **Gesetz von Boyle-Mariotte**:

Bei gleichbleibender Temperatur steht für eine gegebene Gasmenge der *Druck* im umgekehrten Verhältnis zum *Volumen*.

Der Druck wird mit p bezeichnet, das Volumen mit V . Damit erhalten wir auch als Formel:

$$p \cdot V = \text{konstant}$$

Mit dieser wichtigen Gesetzmäßigkeit und der Formel können wir zwei Zustände unterschiedlichen Drucks oder Volumens bei einer gegebenen Gasmenge miteinander vergleichen.

Anschaulich bedeutet das:

Verdoppeln wir den Druck, so halbiert sich das Volumen.

Verdreifachen wir den Druck, so bleibt nur ein Drittel des Volumens.

Zum Verdoppeln des Volumens muss der Druck halbiert werden.

Da der Druck in 10 m Wassertiefe mit 2 bar doppelt so groß ist wie der Druck an der Wasseroberfläche mit 1 bar, verdoppelt sich also das Volumen eines Luftballons, den wir von 10 m Tiefe bis an die Oberfläche steigen lassen.

Dies gilt auch für die abgeschlossenen Luftmengen, die wir in unserer Lunge, im Jacket oder in anderen Hohlräumen unseres Körpers haben.

Da der Druck multipliziert mit dem Volumen konstant bleibt, kann man zum Vergleich zweier Zustände (Anfangszustand und Endzustand) die obige Formel auch so ausdrücken:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

mit

p_1 = Anfangsdruck

V_1 = Anfangsvolumen

p_2 = Enddruck

V_2 = Endvolumen

Wenn wir in dieser Gleichung drei Größen kennen, können wir daraus die vierte berechnen.

Beispiel 1:

Wie voll ist die Lunge auf 5 m Tiefe, wenn sie in 10 m Tiefe mit 3 Litern gefüllt ist und beim Auftauchen die Luft angehalten wird?

p_1 = Anfangsdruck = 2 bar (auf 10 m)

V_1 = Anfangsvolumen = 3 Liter (auf 10 m)

p_2 = Enddruck = 1,5 bar (auf 5 m)

V_2 = Endvolumen auf 5 m

Dann gilt nach der obigen Formel

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{2 \text{ bar} \cdot 3 \text{ l}}{1,5 \text{ bar}} = 4 \text{ l}$$

Unsere Lunge passt ihr Volumen dem Umgebungsdruck an, solange wir ein- und ausatmen. Dann handelt es sich auch nicht um eine abgeschlossene Gasmenge. Wenn wir aber beim Auftauchen den Atem anhalten, ist die Luftmenge darin abgeschlossen und nimmt beim Auftauchen nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte an Volumen zu. Dabei kann die Volumenzunahme so groß sein, dass die Lunge reißen kann.

Daher darf beim Auftauchen niemals die Luft angehalten werden!

Weiteratmen oder ständiges leichtes Ausatmen sind unbedingt nötig.

Das Gesetz von Boyle-Mariotte ist für uns das wichtigste physikalische Gesetz beim Tauchen!

Beispiel 2:

Ein Jacket ist in 20 m Tiefe mit 4 Litern Luft gefüllt. Der Taucher steigt auf 10 m Tiefe auf und lässt dabei keine Luft aus seinem Jacket ab.

p_1 = Anfangsdruck = 3 bar (auf 20 m)

V_1 = Anfangsvolumen = 4 Liter (auf 20 m)

p_2 = Enddruck = 2 bar (auf 10 m)

V_2 = Endvolumen auf 10 m

Dann gilt nach der obigen Formel

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{3 \text{ bar} \cdot 4 \text{ l}}{2 \text{ bar}} = 6 \text{ l}$$

Das Luftvolumen erhöht sich also auf das 1,5-fache. Wird die Luft beim Aufstieg nicht abgelassen, so steigt der Taucher immer schneller an die Wasseroberfläche, ohne die erforderliche Aufstiegs geschwindigkeit oder eventuelle Stopps einhalten zu können.

1.4 Gesetze von Amontons und Gay-Lussac

Wenn die Temperatur zunimmt, erhöht sich der Druck einer abgeschlossenen Gasmenge (zum Beispiel des Tauchgerätes), und mit fallender Temperatur sinkt der Druck.

Wenn du zum Beispiel dein Tauchgerät direkt nach dem Füllen am Kompressor abholst, ist es noch warm. Während es dabei noch einen Druck von 220 bar hatte, zeigt dein Unterwasser-Manometer Tage später im kalten Wasser bei dem gleichen DTG nur noch 190 bar an. Niemand hat zwischendurch Luft abgelassen, und das Ventil ist auch nicht undicht.

Das physikalische **Gesetz von Amontons** beschreibt diesen Zusammenhang:

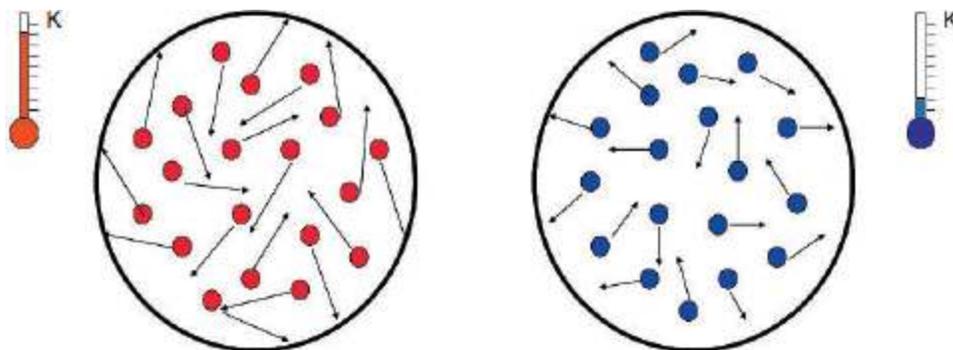
Bei konstantem Volumen wächst der Druck einer gegebenen Gasmenge im gleichen Verhältnis wie die absolute Temperatur.

Genauer besagt das Gesetz, dass sich Gase bei 1 °C Temperaturerhöhung um 1/273 ihres Anfangsvolumens bei 0 °C ausdehnen. Ist ein Ausdehnen nicht möglich, so erhöht sich der Druck. Dies ergibt die beschriebene Gesetzmäßigkeit.

Dieser Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur wurde von dem Physiker Amontons entdeckt. Gay-Lussac beschrieb dagegen den Zusammenhang zwischen Volumen und Temperatur einer abgeschlossenen Gasmenge. Im Sprachgebrauch der Taucher hat sich jedoch eingepreßt, dass der Zusammenhang von Druck und Temperatur durch das Gesetz von Gay-Lussac beschrieben wird. Daher wird dies auch hier so beibehalten.

Physikinteressierten lässt sich der Zusammenhang zwischen Temperatur- und Druckerhöhung mit der Bewegung der

Moleküle erklären. Die Wärme eines Gases ergibt sich aus der Geschwindigkeit, mit der sich die einzelnen Gasmoleküle im Raum frei bewegen. Je wärmer ein Gas ist, desto schneller bewegen sich die Moleküle und desto mehr Moleküle stoßen pro Zeiteinheit an die Gefäßwand. Da die Anzahl der Stöße an die Gefäßwand pro Zeiteinheit dem Druck entspricht, bedeutet dies also eine Druckerhöhung.



Molekülbewegung

Der Begriff der **absoluten Temperatur** ist hier sicherlich neu. Bei der Behandlung von Gasen wird die absolute Temperatur verwendet, da sie als absoluten Nullpunkt die Temperatur hat, bei der sich keine Gasteilchen mehr bewegen. Niedrigere Gastemperaturen gibt es nicht. Dieser absolute Nullpunkt liegt bei rund $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das Formelzeichen für die absolute Temperatur ist T , und sie wird in Kelvin, abgekürzt K , gemessen. Die Gradabstände sind die gleichen wie bei der Celsius-Einteilung. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ entsprechen daher 273 K . Allgemein gilt für die **Berechnung der absoluten Temperatur T** :

Die absolute Temperatur T ergibt sich aus der Celsius-Temperatur θ (Theta) durch Addition von 273 K , d. h. $T = \theta + 273\text{ K}$.