

Fertig, Alexander:

Handbuch für den Taucher / von Alexander Fertig. –
Stuttgart ; Berlin ; Köln ; Mainz : Kohlhammer, 1987.
ISBN 3-17-009397-5

Vorwort

Der Inhalt dieses Buches basiert auf den Erfahrungen, die ich als Feuerwehrttaucher, Lehrtaucher und Dipl. Tauchsportlehrer gemacht habe. Es ist auf den allgemein bekannten und gültigen Tauchregeln aufgebaut und speziell für das Tauchen im öffentlichen Dienst, aber auch für das Sporttauchen, ausgerichtet. Dieses Buch soll kein Ersatz für das Rote Heft »Tauchen Wasser- und Eisrettung« sein. Vielmehr ergänzen sich beide Schriften, um eine optimale, zielgerichtete Ausbildung zum Taucher zu erreichen. Der Grundgedanke war für mich, dem Lehrtaucher oder Tauchsportlehrer eine Hilfe bei der Ausbildung und dem Taucheranwärter einen praktischen Helfer während und auch nach der Ausbildung zu geben.

Mannheim 1987

Alexander Fertig

Alle Rechte vorbehalten
© 1987 Verlag W. Kohlhammer GmbH
Stuttgart Berlin Köln Mainz
Verlagsort: Stuttgart
Gesamtherstellung:
W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. Stuttgart
Printed in Germany

I. Einführung

1. Voraussetzungen für die Ausbildung zum Feuerwehrttaucher

Die Voraussetzungen für die Ausbildung zum FW-Taucher untergliedern sich im wesentlichen in zwei Komponenten. Die eine legt die FwDV 8 »Tauchen« fest. Dort steht, daß ein Taucheranwärter mind. 18 Jahre alt und von einem staatlichen Gewerbearzt nach G31 (Tauchertauglichkeit) untersucht sein muß. Weiterhin muß der Taucheranwärter eine Ausbildung in Erste Hilfe, als Atemschutzgeräteträger und das Deutsche Rettungsschwimmabzeichen in Silber nach den Bestimmungen der Deutschen Lebensrettungsgesellschaft (DLRG) oder der Wasserwacht nachweisen.

Die zweite Komponente ist in keiner Vorschrift und in keinem Buch festgelegt, obwohl sie mit Sicherheit ebenso wichtig ist. Der FW-Taucher muß einen gewissen Grad an körperlicher Fitneß aufweisen und psychisch stabil sein. D. h., er darf keine Platzangst haben und muß einen Bezug zum Wasser aufweisen, so daß im Zuge des Taucherlehrganges keine Wassergewöhnung mehr nötig ist. Die psychische Stabilität kann und sollte im Rahmen der Ausbildung durch Schulung im praktischen Bereich gefestigt werden.

2. Technischer Ablauf / Stoffplan

Den technischen Ablauf einer Taucherausbildung kann man ebenfalls, wie bei den Voraussetzungen für die Ausbildung zum FW-Taucher, in zwei Komponenten teilen. Die eine ist die theoretische Ausbildung. Hier legt die FwDV 8 fest, daß der Unterricht für Taucheranwärter mindestens 35 Stunden zu umfassen hat. Die einzelnen Unterrichtsthemen sind ebenfalls in der FwDV 8 festgelegt und liegen bei diesem Buch als Inhaltsverzeichnis, zugleich Stoffplan für eine Taucherausbildung vor.

Über die zweite Komponente, die praktische Ausbildung, schreibt die FwDV 8 folgendes vor: »Taucheranwärter haben für die Befähigung zum FW-Taucher mindestens 50 Tauchstunden (1 Tauchstunde = 60 Minuten), davon mindestens 20 Stunden in Tiefen zwischen 10 und 20 m abzuleisten, in denen den Taucheranwärtern die erforderlichen Kenntnisse für Taucheinsätze unter praxisnahen Bedingungen zu vermitteln sind.«

Den genauen Ablauf einer praktischen Ausbildung schreibt die FwDV 8 nicht vor, sie gibt nur einige Auflagen und Anregungen. Einen exakten, stufenweisen

Verlauf einer praktischen Taucherausbildung zeigt der Anhang 1 dieses Buches. Hier ist die praktische Ausbildung untergliedert in ABC-Tauchen und Gerätetauchen im Bad sowie im Freiwasser.

Die Praxis hat gezeigt, daß eine Taucherausbildung am besten als »Blockausbildung« durchgeführt wird. D. h., ein Taucherlehrgang läuft über einige Wochen, wobei sich Praxis und Theorie abwechseln und gegenseitig ergänzen.

Die Ausbildung zum FW-Taucher muß innerhalb von zwei Jahren abgeschlossen sein.

3. Taucherdienstbuch

Jeder Taucher und Taucheranwärter hat ein Taucherdienstbuch zu führen, es ist sein Eigentum. Das Taucherdienstbuch soll gewissenhaft und sauber geführt werden. Die Eintragungen sind vom Einsatz- oder Übungsleiter, bei der Ausbildung von einem Lehrtaucher zu bestätigen. Bei Abschluß der Taucherausbildung muß es dem Prüfungsausschuß vorgelegt werden.

Das Taucherdienstbuch ist vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Zentralstelle für Unfallverhütung zu beziehen.

4. Entwicklung des Tauchens/Tauchgeschichte

Den Traum vom Spaziergang unter Wasser konnten die ersten, einfachen Taucherglocken noch nicht erfüllen. Man war froh, den Meeresboden sehen zu können und lebend wieder nach oben zu kommen. Die Taucherglocke hatte unübersehbare Nachteile. Sie war schwer und unhandlich, ortsgebunden und ließ dem Taucher nur einen begrenzten Aktionsradius. Außerdem war die Luftblase in der Glocke schnell veratmet, und viele Taucher verloren dadurch das Bewußtsein und ertranken.

Im Jahre 1664 ersann der Astronome Halley eine bessere Methode, indem Druckluft in die Taucherglocke gepumpt wurde. 1716 ließ sich Halley zusammen mit vier anderen Personen in solch einer Glocke auf den Grund der Themse versenken. Außerdem testete er seine Neuentwicklung im Meer, blieb über eineinhalb Stunden in ca. 18 Meter Tiefe, und kehrte ohne nachteilige Folgen mit seinen Leuten an die Oberfläche zurück. Eine Unbequemlichkeit störte ihn. Man saß in der Taucherglocke unbeweglich, hatte ein sehr kleines Blickfeld und wenig Licht. Dies änderte Halley, indem er jedem Taucher eine kleine Glocke über den Kopf stülpte. Eine lederne Kopfbedeckung, die den Kopf gleichzeitig schützte, ersetzte diese Glocke. Der Helm hatte Sichtfenster und genügend Luft für zwei Minuten. Von der Hauptglocke führte ein Schlauch zum Taucher und versorgte diesen über ein Ventil mit Frischluft. Somit konnte man in einem begrenzten Radius auf dem Meeresgrund herumspazieren. Der erste brauchbare Tauchapparat war erfunden. Zur gleichen Zeit und in den folgenden Jahren

wurden immer neue Taucherglocken mit verschiedenen Systemen erfunden und verbessert.

Ein Deutscher namens C. H. Klingert aus Breslau stellte 1797 eine Art tragbare Tauchkammer her. Damit der Taucher in größeren Tiefen vom Wasserdruck unabhängig war, fertigte er einen starren, zylinderförmigen Tauchanzug aus Zinnplatten, der über den Kopf des Tauchers reichte. Aus widerstandsfähigem Leder war eine Jacke mit kurzen Ärmeln und eine Überschlupf hose gefertigt. Der Körper des Tauchers war außer den freigelassenen Armen und Beinen wasserdicht abgeschirmt und bot Schutz bis sechs Meter Tiefe. Der Taucher wurde mittels eines Atemschlauches von der Oberfläche mit Frischluft versorgt. Um an die Wasseroberfläche wieder zurückzukehren, mußte der Taucher vorher angebrachte Gewichte aushängen und auf den Grund fallen lassen. Am 24. Juni 1797 tauchte F. W. Joachim mit diesem Gerät vor einer großen Zuschauer-menge in der Oder bei Breslau. Während des Tauchganges durchsägte er einen großen auf dem Grund liegenden Baumstamm.

Im Jahre 1825 wurde der erste wirklich funktionierende Tauchapparat von dem Engländer William James zum Patent angemeldet. Der Taucher trug einen zylindrischen Eisengürtel, der ihn von der Taille bis zu den Achselhöhlen bedeckte. In diesem Behälter war Luft auf 30 bar komprimiert. Ein Luftschlauch führte zum Helm und versorgte den Taucher mit Atemluft. Etliche Gewichte und schwere Stiefel vervollständigten die Ausrüstung.

August Seibe, der geistige Vater des ersten modernen Taucherhelms, stellte 1819 einen Messinghelm vor, welcher mit einem geschlossenen Anzug aus Leder und Segeltuch verbunden war. Dieser Anzug hatte jedoch noch Mängel, die der Amerikaner Norcross 1834 beseitigte.

Um 1865 entwickelten der französische Bergbauingenieur Rouquayrol und der Marineoffizier Denayrouze ein Gerät, das den Taucher völlig unabhängig machen sollte. Es bestand aus einem Metallkanister, der mit Druckluft gefüllt war. Der Taucher konnte diesen Kanister auf seinem Rücken mitnehmen. Die Preßluft wurde durch ein regelbares Ventil abgelassen, und die verbrauchte Luft strömte durch ein weiteres Ventil ab.

Die wichtigste Weiterentwicklung war ein Lungenautomat, der zwei Aufgaben erfüllte. Eine Membrane sorgte dafür, daß der Luftdruck im Taucheranzug immer dem Außendruck entsprach und daß durch ein Mundstück nur Luft kam, wenn der Taucher atmete. Es dauerte immerhin noch 78 Jahre, bis die Taucher völlig unabhängig von Rettungsleinen und Atemschläuchen waren.

Ein französischer Marineoffizier namens Yves Prieur begann 1933 mit der kommerziellen Produktion eines Scuba-Gerätes (Self-contained-under-water-breathing-apparatus). Ein am Rücken befindlicher Stahlbehälter sorgte für den ständigen Zustrom konzentrierter Luft in eine Gesichtsmaske. Mittels einer Verstell-schraube konnte der Taucher den Luftstrom drosseln oder verstärken.

Hans Hass spielte in den frühen Anfängen der Entwicklung von Tauchgeräten eine wesentliche Rolle. Durch sein Unternehmen »Xarifa« publizierte er die Unterwasserwelt. Man kann ihn als Vater des Tauchsports ansehen.

1942 bastelte Jacques Yves Cousteau mit zwei Freunden an Tauchgeräten. Sie bauten gemeinsam die Aqualunge.

Sechs Jahre vorher waren in Frankreich Gummiflossen und Masken serienmäßig hergestellt worden. Außerdem waren Stahlflaschen konstruiert worden,

die extrem hohem Druck standhalten konnten. Die Tauchausrüstung war komplett.

Neben den technischen Entwicklungen von Tauchgeräten bereiteten in der damaligen Zeit die physikalischen und physischen Vorgänge einige Probleme. Beim Verlassen der Taucherglocke, oder auch erst viele Stunden später, traten Beschwerden verschiedener Art auf: Hautjucken, Gelenkschmerzen, anormale Müdigkeit, Atembeschwerden, nervöse Störungen verschiedener Art.

Diese Beschwerden führten manchmal zum Tode; viele Taucher verfielen lebenslänglichem Siechtum, in anderen Fällen bildeten sich die Erscheinungen spurlos zurück.

Im Jahre 1847 schrieben die Franzosen Pol und Watelle: »on ne pou qu en sortant.« (Ein Wortspiel: »Man bezahlt/büßt erst beim Verlassen«, frei: »Das dicke Ende kommt nach«).

Die Ärzte der damaligen Zeit waren machtlos, was sie jedoch nicht daran hinderte, Theorien aufzustellen und Behandlungsvorschläge zu machen. Man beschuldigte unter anderem die Abkühlung der sich bei der Druckentlastung ausdehnenden Luft, und 1863 ging Dr. Foley in einer Broschüre »Von der Arbeit in komprimierter Luft« sogar so weit, dem Taucher anzuraten: »Wenn Dich der dicke und eisige Nebel durchdringt, welcher sich massenhaft bildet, dann beeile Dich mit dem Austauchen!« Der französische Physiologe Paul Bert war der erste, der eine klare Vorstellung von der Ursache dieser »Taucherkrankheit« hatte. Viele seiner Erkenntnisse und Vorschläge, die er 1870 in seinem klassischen Werk »La Pression barometrique« niederschrieb, wurden zur Grundlage späterer Forschungen und haben auch heute noch Gültigkeit.

5. Gewässerkunde

Die Gewässerkunde ist im Prinzip ein Fach, das unter Einsatztaktik fällt. Jeder Taucheranwärter sollte jedoch zu Beginn seines Lehrganges einen Überblick über jene Gewässer bekommen, die in den Ausrückebereich der jeweiligen Feuerwehr gehören.

Die Gewässerkunde als Unterrichtsfach muß für die verschiedenen Ausrückebereiche bzw. Gewässer ausgelegt sein. Einige Kernpunkte, die ich hier ansprechen will, gehören in jede Gewässerkunde. Sie untergliedern sich wie folgt:

- Anfahrtswege:** Der kürzeste Anfahrtsweg zu jedem Gewässer. Dabei ist zu beachten, daß eventuell Schlüssel für Schranken etc. bereitgehalten werden müssen.
- Besonderheiten:** Wie Schifffahrtswege, Fähren, Schleusen, Wehre, Verschmutzungsgrad des Gewässers, Strömungen, Untiefen, Wasserpegel z. B. bei Hochwasser.
- Örtlichkeit:** Befestigte oder nichtbefestigte Wege am und um das Gewässer, Uferbeschaffenheit, Möglichkeiten ein Boot zu Wasser zu lassen und einzusetzen.
- Privat verwaltete Gewässer:** Ansprechpersonen mit Tel.-Nr., Schlüssel für Türen und Tore.

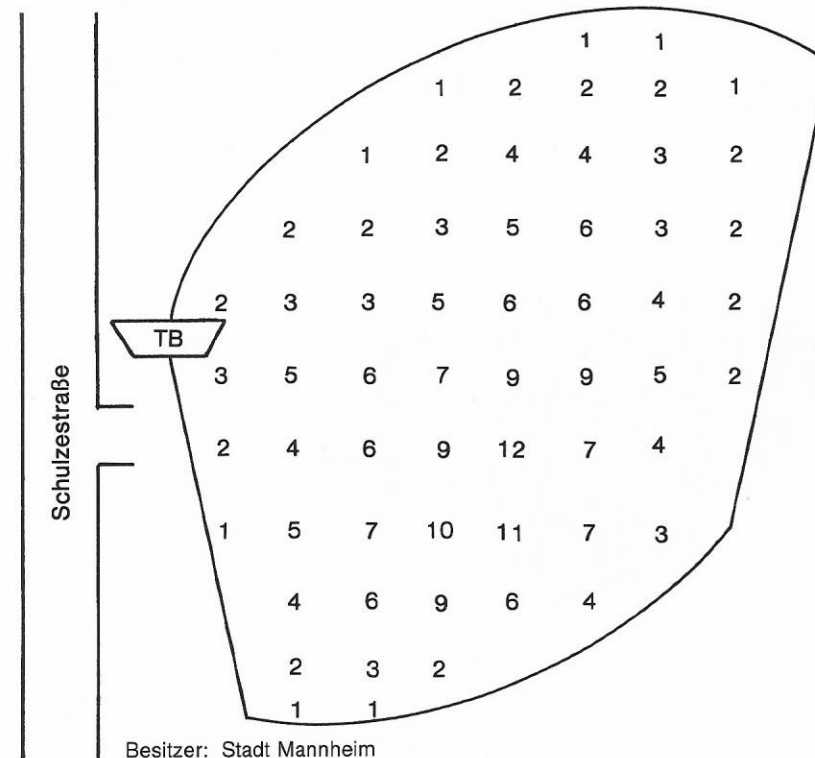
- Wassertiefen:** Jedes Gewässer ausloten hinsichtlich der Wassertiefe und der Bodenbeschaffenheit. Jeweilige Sichtverhältnisse.
- Kontrolle:** Die Punkte a) bis e) sollten einer gewissen Kontrolle unterliegen, die in Form von Übungstauchen durchgeführt werden kann. Nur so läuft die erste Phase eines Tauchereinsatzes reibungslos ab, und die Tauchergruppe hat immer den neuesten Aus- und Weiterbildungsstand über ihre Gewässer.

Zweckmäßig ist weiterhin, daß von jedem Gewässer nach Möglichkeit eine Skizze (Abb. 1) angefertigt wird, die folgendes enthalten soll:

- Name des Gewässers
- Anfahrtsweg (Schranken)
- Besitzer oder Pächter mit Adresse und Tel.-Nr.
- Tiefen, Untiefen
- Sicht
- Bodenbeschaffenheit
- Kennzeichnung von Stellen, an denen ein Boot zu Wasser gelassen werden kann

Abb. 1: SCHULZE WEIHER

Anfahrt/Ortsteil oder Name: Friedrichstr. – Kirche rechts – Leuchtbergstr. – Schulzestr.



Besitzer: Stadt Mannheim
 Pächter: Angelsportverein Mannheim
 Vorstand: Herr Maier Tel. 88 44
 Wasseraufsicht: Herr Mayer Tel. 77 55
 Sicht: Am Grund ca. 40 cm
 Boden: Sand-Schlick, Wassergras, Bauschutt

II. ABC-Tauchen

1. Ausrüstung

1.1. Die Maske

Es gibt zwei Maskenarten, die Halbgesichtsmaske und die Vollgesichtsmaske. Für das ABC-Tauchen kommt nur die Halbgesichtsmaske (Abb. 2) in Betracht, auf die ich in diesem Abschnitt näher eingehen will. Die Vollgesichtsmaske wird unter IV.3. näher beschrieben.

Wenn Sie Ihre Augen unter Wasser ohne Maske öffnen, haben Sie sicher festgestellt, daß Sie wenig und unscharf sehen. Die Augen des Menschen sind für das Sehen in der Luft konstruiert. Luft hat den Brechungsindex 1, Wasser dagegen 1,33. Wir müssen uns, um wieder scharfe Bilder auf die Netzhaut zu bekommen, eines kleinen Tricks bedienen. Wir bauen einfach einen kleinen Luftkasten um die obere Gesichtshälfte herum, der am Gesicht mit einer Gummimanschette dicht abschließt und vorne eine Glasscheibe besitzt. Wir haben nun im Prinzip ein umgekehrtes Aquarium.



Abb. 2: Halbgesichtsmaske

Masken gibt es mittlerweile in allen möglichen Formen und Farben. Entscheidend ist jedoch, daß die Maske paßt und folgende Anforderungen erfüllt:

1. Die Sichtscheibe soll in jedem Fall aus Sicherheitsglas bestehen.

2. Eine Druckausgleichsmöglichkeit soll vorhanden sein. D. h., der Griff zur abgedeckten Nase muß gewährleistet sein. Diesen Griff benötigen Sie für den Druckausgleich, der unter II.2.4. beschrieben wird. Masken die einen solchen Griff gestatten, sind sogenannte Druckausgleichsmasken.
3. Der Maskenraum sollte so klein wie möglich gehalten werden. Zum einem wird beim Tauchen weniger Luft für den Druckausgleich im Maskenraum benötigt, was sich beim ABC-Tauchen bemerkbar macht. Zum anderen benötigt man weniger Luft für das Ausblasen einer vollgelaufenen Maske. Durch den höheren Brechungsindex des Wassers wird das Gesichtsfeld eingeeengt, daher sollte die Scheibe so dicht wie möglich vor den Augen liegen, um eine weitere Einschränkung des Gesichtsfeldes zu verhindern.
4. Die Gummimanschette der Maske soll gut am Gesicht anliegen, jedoch die Blutzirkulation nicht beeinträchtigen.

Die Gummimanschetten der heutigen Masken sind weich, flexibel und bestehen zum größten Teil aus einer Doppellippe. Ob eine Maske richtig sitzt, können Sie wie folgt testen. Setzen Sie die Maske ans Gesicht, ohne das Halteband über den Kopf zu streifen. Nun saugen Sie durch die Nase, die sich im Maskenraum befindet, ein wenig Luft an und schaffen so einen leichten Unterdruck in der Maske. Sitzt die Maske und liegt die Manschette dicht am Gesicht an, so muß sie – gehalten vom äußeren Luftdruck – am Gesicht hängen bleiben, auch wenn die Hand weggenommen wird. Achten Sie darauf, daß keine Haare unter die Manschette geraten.

Für Taucher mit Sehfehlern gibt es verschiedene Möglichkeiten die Fehlsichtigkeit auch unter Wasser zu korrigieren. Von der sogenannten Gasmakenbrille ist abzuraten, da der Taucher mit dem eindringenden Wasser und dem Beschlagen der Brille zu kämpfen hat. Besser sind Masken mit in der Scheibe eingeschlifften Brillengläsern oder Brillengläser, die mit einem speziellem Klebstoff auf dem Inneren der Maskenscheibe befestigt werden.

1.2. Der Schnorchel

Die einfachste Möglichkeit unter Wasser zu atmen besteht darin, Luft über ein Rohr oder einen Schlauch direkt von der Wasseroberfläche anzusaugen. Dabei werden an das Rohr bzw. den Schlauch einige Anforderungen gestellt, deren Nichteinhaltung zu tödlichen Unfällen führen kann. Im Laufe der Zeit hat sich der heutzutage überall erhältliche Schnorchel (Abb. 3) herauskristallisiert. Der Schnorchel erlaubt die Beobachtung der ufernahen Zone, ohne den Kopf zur Atmung aus dem Wasser nehmen zu müssen. Muß der ABC-Taucher längere Wegstrecken ohne Schnorchel an der Wasseroberfläche zurücklegen, wird es schnell zu einer Erschöpfung kommen. Mit einem Schnorchel von maximal 40 cm Länge ist es dagegen möglich, auch bei Wellengang störungsfrei zu atmen.

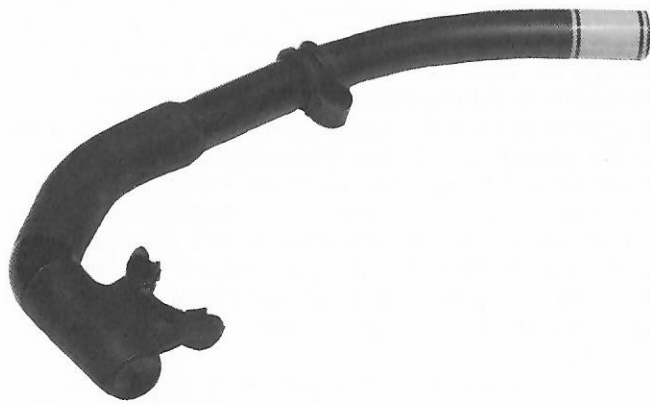


Abb. 3: Schnorchel (Atemhilfe)

Jede Verlängerung über 40 cm erhöht den Strömungswiderstand des Schnorchels, der bei größerem Luftbedarf, z. B. bei schnellem Schwimmen, eine erhebliche Mehrleistung an Atemarbeit erfordert. Die Druckdifferenz zwischen Wasseroberfläche und Lunge führt bei einem verlängerten Schnorchel zur Bewußtlosigkeit und einem Barotrauma der Lunge (siehe VI.5.3.). Der Durchmesser eines Schnorchels soll 20–25 mm betragen. Würde der Durchmesser vergrößert, fällt der Strömungswiderstand und es kommt auf Grund des großen Volumens zur Pendelatmung. D. h., die Ausatemluft wird kaum gegen Frischluft ausgetauscht und wieder eingeatmet. Weiterhin sollte ein Schnorchel aus einem glatten Rohr bestehen und nicht teleskopartig zusammenschiebbar sein. Der untere Bogen eines Schnorchels sollte möglichst einen stumpfen Winkel aufweisen und keinesfalls aus einem Faltschlauch bestehen. An den Kanten der Steckverbindungen oder in den Faltschläuchen können bei starker Atmung Turbulenzen entstehen. Das Ausblasen eines derartigen Schnorchels wird ebenfalls sehr erschwert.

Bei Beherrschung der ABC-Technik sind Ventile am Schnorchel unnötig und überflüssig. Das beim Abtauchen eingedrungene Wasser wird nach dem Auftauchen durch einen scharfen Luftstoß wieder ausgeblasen.

Der Schnorchel wird beim ABC-Tauchen mit einer Schlaufe, mit der er beim Kauf versehen ist, am Halteband der Maske befestigt, oder man steckt ihn einfach unter das Halteband der Maske. So kann der Sitz des Schnorchels besser korrigiert werden. Das Mundstück des Schnorchels soll aus weichem, flexiblen Gummi bestehen. Keinesfalls darf Plastik eingearbeitet sein, ansonsten scheuert man sich sein Zahnfleisch wund. Er muß bequem zwischen Lippen und Zähnen festgehalten werden können. Das obere Ende des Schnorchels soll einen roten Streifen besitzen, damit ein ABC-Taucher im Wasser besser zu erkennen ist.

1.3. Die Flossen

Die Flossen (Abb. 4) dienen der eigentlichen Fortbewegung im Wasser. Außerdem unterstützen sie die Stabilisierung der Körperhaltung und die Beweglichkeit wesentlich. Die Arme werden beim Flossenschwimmen nicht benötigt, mit ihnen können Arbeiten durchgeführt werden.

Sie wirken durch Verlängerung und Verbreiterung des Fußes und erzielen bei gleichmäßiger Auf- und Abwärtsbewegung des Flossenblattes eine Schubkraft, die in Richtung der Körperlängsachse eine Vorwärtsbewegung bewirkt. Der erzielte höhere Wirkungsgrad liegt bei 40%, gegenüber dem Beinschlag ohne Benutzung der Flosse.

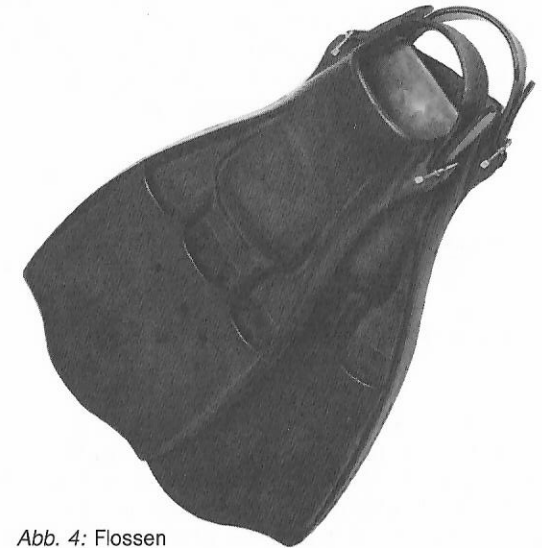


Abb. 4: Flossen

Durch Muskelkraft wird das Flossenblatt bei einer Auf- oder Abwärtsbewegung in eine Richtung verbogen. Diese Kraft wird durch die Elastizität des Materials bei der Bewegungsumkehr wieder gewonnen und geht nicht verloren (Federkraft). Der Wirkungsmechanismus von unterschiedlich langen Flossenblättern läßt sich mit dem Getriebe eines Autos vergleichen. Lange Flossenblätter entsprechen dem großen Gang. Sie ermöglichen ein schnelles Schwimmen mit langsamen Beinschlag, der allerdings einen größeren Kraftaufwand erfordert. Zum ABC-Tauchen und Gerätetauchen sind deshalb mittellange Flossen mit mittelhartem Blatt zu bevorzugen. Für das Training empfehle ich eine Flosse mit einem etwas weicheren Blatt, denn bei einem Training bedeutet ein hartes Blatt Muskelkater.

Beim Erlernen des Flossenschwimmens muß die Muskulatur langsam aufgebaut und der korrekte Bewegungsablauf des Flossenschlages trainiert werden. Hierzu eignet sich ein etwas weiches Flossenblatt.

Es gibt zwei Arten von Flossen. Zum einen Flossen mit geschlossenem Fußteil

und zum anderen Flossen mit Fersenbändern. Bei Flossen mit Fersenbändern hat sich in der Praxis gezeigt, daß Flossenhalter (sogenannte »Straps«) recht nützlich sind, um ein Verlieren der Flossen beim Schwimmen zu verhindern. Das Material, aus dem Flossen bestehen, reicht vom Kunststoff über Grafitmischungen bis zum Gummi, daß teilweise sogar bunt eingefärbt ist. Grafit und Kunststoff sind teuer und verschrammen leicht, sind im allgemeinen aber langlebig und angenehm in Handhabung und Trageeigenschaften. Die Praxis zeigt, daß schwarze Gummiflossen akzeptabel im Preis, sehr langlebig, robust und verschleißarm sind. Dies ist durch die Materialzusammensetzung begründet. Der im verwendeten Gummi eingearbeitete Rußanteil verbindet eine hohe Alterungsbeständigkeit mit einer größtmöglichen Elastizität; dieses Verfahren wird bei Autoreifen seit Jahrzehnten praktiziert. Wesentlich für den Wert einer Flosse ist ihr einwandfreier Sitz am Fuß. Das Fußteil darf nicht zu viel Spiel haben und andererseits keinerlei Druckstellen aufweisen. Schon eine anfangs gering erscheinende Druck- oder Scheuerstelle an Knöchel oder Zehen kann nach einer halben Stunde Schwimmen Hautabschürfungen und dergleichen hervorrufen.

2. Technik und Probleme des ABC-Tauchens

2.1. Anlegen der Ausrüstung

Beim Anlegen der ABC-Ausrüstung ist nicht viel zu beachten. Das Innenglas der Maske sollte vor dem Tauchen mit Klarsichtmittel oder billiger und genauso wirkungsvoll mit Speichel gegen Beschlagen eingerieben werden. Bei Verwendung von Klarsichtmittel ist die auf der Gebrauchsanweisung angegebene Ausdünstungszeit zu beachten. Hat man dies durchgeführt, werden als erstes die Flossen angelegt. Nasse Flossen schlüpfen besser als trockene. Erst die Flossen mit dem Fußteil ins Wasser halten und anschließend reinschlüpfen. Nun wird der Speichel am Maskenglas abgespült und die Maske aufgesetzt. Beim Aufsetzen der Maske darauf achten, daß keine Haare unter die Dichtlippen der Maske geraten. Jetzt wird durch die Nase ein wenig Luft aus dem Maskenraum gesaugt und damit getestet, ob die Maske richtig (dicht) sitzt. Auf keinen Fall sollte immer durch die Nase ausgeatmet werden, da die feuchte, warme Ausatemluft zum Beschlagen des Maskeninnenglases führen kann. Ist die Maske dicht, wird als letztes der Schnorchel unter das Maskenband geschoben, sofern er nicht mittels einer Schlaufe schon am Maskenband befestigt ist. Der Schnorchel muß bequem sitzen und darf Mund oder Lippen nicht in eine unnatürliche Haltung verziehen.

2.2. Korrektes Flossenschwimmen

Wie schon unter II.1.3. (Die Flossen) erwähnt, dienen beim Tauchen ausschließlich die Beine zur Fortbewegung. Der Beinschlag erfolgt aus den Hüften heraus, dabei werden beide Beine scherenartig gegeneinander bewegt (Abb. 5). Für die ersten Bahnen sollten die Beine ganz durchgestreckt bleiben. Der Beinschlag soll leicht und locker aus dem Hüftgelenk heraus durchgeführt werden, um den Radfahrerstil erst gar nicht aufkommen zu lassen. Die Arme werden dabei zwanglos seitlich am Körper angelegt. Es sollte sich zu Beginn angewöhnt werden, langsame, weitgreifende Flossenschläge auszuführen, anstatt kurze mit hoher Frequenz. Später beim Tauchen wird man mit seinem – nun einmal begrenzten – Luftvorrat länger auskommen.

Hat man das richtige Gefühl für den Bewegungsablauf bekommen, so rundet man die etwas steifbeinige Flossenbewegung ab. Hierzu wird das Bein bei der Aufwärtsbewegung leicht in den Kniegelenken angewinkelt. Beim Abwärtsschlag jedoch wieder völlig durchgestreckt, denn hier erbringt die Flosse den größten Antrieb.

Ist dieser Bewegungsablauf in Fleisch und Blut übergegangen, wird mit der Feinarbeit begonnen. D. h., es dürfen beim Flossenschlag die Fersen leicht aus dem Wasser schauen, aber kein Plätschern darf zu vernehmen sein. Haben die Beine beim Flossenschwimmen etwas Auftrieb, so muß lediglich die Schulter nach oben gezogen werden. Wie hoch die Schulter, für eine ideale Ausgangsstellung beim Flossenschwimmen im Wasser liegen muß, ist in Eigenarbeit unter Aufsicht zu trainieren.



Abb. 5

2.3. Abtauchen

Häufig reicht bei Einsätzen reines ABC-Schwimmen nicht aus, um einen Auftrag ausführen zu können, muß abgetaucht werden. Es gibt mehrere Abtaucht Techniken. Ich möchte in diesem Abschnitt jedoch nur zwei ansprechen. Die erste wäre das Abtauchen fußwärts (Abb. 6). D. h., der Taucher steht im Wasser und bringt durch kräftigen Flossenschlag seinen Oberkörper aus dem Wasser. Die Arme werden dabei seitlich angelegt. Wird nun der Flossenschlag eingestellt, drückt der herausragende Oberkörper den Taucher unter Wasser. Ist der Kopf unter Wasser, werden die angelegten Arme kräftig nach oben gezogen. Der Taucher erfährt einen weiteren Abtrieb. Anschließend wird durch eine halbe Rolle vorwärts zur Schwimmlage übergegangen. Das Abtauchen kann noch unterstützt werden, indem man während des Abtauchvorganges ausatmet. Ich

empfehle jedoch beim ABC-Tauchen die Lunge gefüllt zu lassen, denn somit ist mehr Sauerstoff vorhanden und ein längeres Luftanhaltevermögen gewährleistet. Abgesehen davon wird die Tiefengrenze beim Abtauchen (siehe 1.2.9.) eingeschränkt.

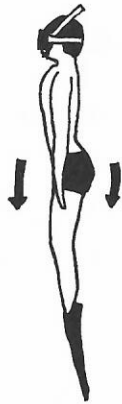


Abb. 6

Abb. 7 ▶

Doch nun zur weitaus gebräuchlichsten und besseren Art des Abtauchens. Hier liegt der Körper bäuchlings in der gewohnten Schwimmlage. Nachdem man tief eingeamtet hat, werden beide Arme rechtwinklig zur Wasseroberfläche (Abb. 7) nach unten gestreckt, wobei gleichzeitig der Körper in der Hüfte, ebenfalls rechtwinklig zur Wasseroberfläche, abknickt. Jetzt ist man mit dem gesamten Oberkörper unter Wasser. Nun werden die gestreckten Beine möglichst weit und parallel geführt aus dem Wasser katapultiert. Das Gewicht der Beine drückt den Taucher nach unten. Sind die Beine nahezu unter Wasser, kann ein Armzug mit den nach vorne ausgestreckten Armen durchgeführt werden. Ein Flossenschlag wird erst dann durchgeführt, wenn die Flossen vollständig unter Wasser sind und kein Abtrieb mehr vorhanden ist. Dies wird bei Beherrschung der Technik erst in 3 m Wassertiefe sein.

2.4. Druckausgleich

Unserem Körper, der zum größten Teil aus Flüssigkeit besteht, macht der ansteigende Druck beim Abtauchen nichts aus, da sich Flüssigkeiten nicht komprimieren lassen und die Weichteile elastisch sind. Etwas anderes ist es jedoch mit den Nebenhöhlen (Abb. 8) und der Paukenhöhle (Abb. 9).

Nebenhöhlen sind:

- a) Stirnhöhlen: Liegen oberhalb der Nasenwurzel in Höhe der Augenbrauen.
- b) Siebbein- und Keilbeinhöhlen: Liegen im oberen und hinteren Bereich des Nasen-Rachen-Raumes in den Knochen der Schädelbasis.
- c) Nasennebenhöhlen: Liegen zu beiden Seiten der Nase im Oberen-Kieferknochen unterhalb der Augenhöhlen.

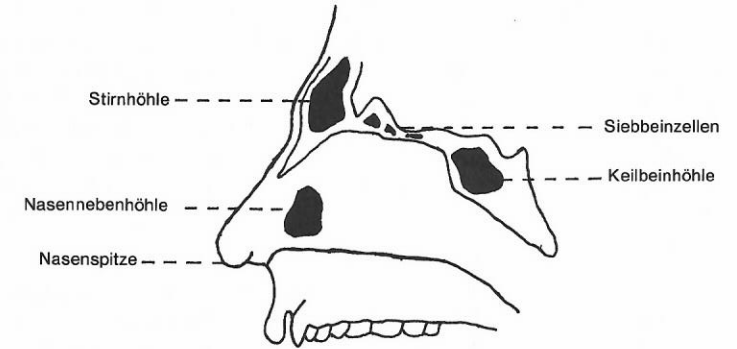


Abb. 8

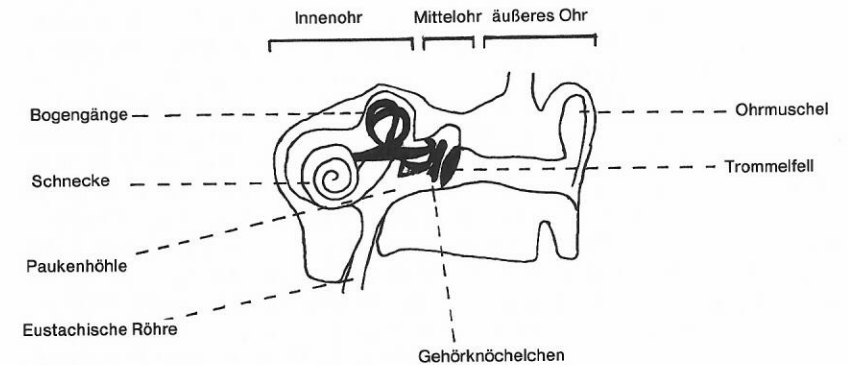


Abb. 9

Das Ohr besteht aus:

- a) Äußerem Ohr: – Ohrmuschel
– äußerer Gehörgang
– Trommelfell
- b) Mittelohr: – Paukenhöhle
– Hammer
– Amboß
– Steigbügel
- c) Innenohr: – Bogengänge
– Schnecke

Die Nebenhöhlen stellen einen starren, abgeschlossenen, mit Luft gefüllten Hohlraum dar, da sie in Knochen eingebettet sind. Die Luft in diesen Höhlen wird beim Abtauchen gemäß dem Boyle-Mariotteschen-Gesetz (siehe III.2.2.) komprimiert. Hierbei entsteht ein relativer Unterdruck in den Nebenhöhlen, der sich durch stechenden Schmerz äußert, wenn kein Druckausgleich stattfindet. Die Nebenhöhlen sind beim gesunden Menschen durch offene Kanäle mit dem Nasen-Rachen-Raum verbunden. Somit kann hier ständig ein Druckgleichgewicht vom Nasen-Rachen-Raum über die Verbindungskanäle zu den Nebenhöhlen hergestellt werden. Die Verbindungskanäle sind mit Schleimhäuten ausgelegt, die bei einer Erkältung anschwellen und eine Belüftung der Nebenhöhlen fast unmöglich machen. Erfolgt kein Druckgleichgewicht, entsteht ein relativer Unterdruck in den Nebenhöhlen. Als erstes schwillt das Gewebe an und versucht somit ein Druckgleichgewicht, auf Grund der Volumenverkleinerung, aufzubauen. Steigt der Unterdruck weiter, so kommt es schließlich zum Geweberiß, Blut tritt aus und füllt die Nebenhöhlen solange, bis ein Druckgleichgewicht hergestellt ist.

Vom Mittelohr (Paukenhöhle) besteht eine Verbindung zum Nasen-Rachen-Raum durch die Eustachische Röhre (auch Tube oder Ohrtrumpete genannt). Die Wände der Eustachischen Röhre liegen in der Regel aneinander an und öffnen sich nur beim Schlußakt, d. h. es findet kein automatischer Druckausgleich statt. Erfolgt kein mechanischer Druckausgleich, wölbt sich das Trommelfell, als einziger flexibler Abschluß der Paukenhöhle, nach innen. Steigt der Unterdruck weiter an, so kann es zum Trommelfellriß kommen. Um ein Barotrauma (Unter- oder Überdruckverletzung siehe VI.3.) zu vermeiden, muß ein Druckausgleich hergestellt werden.

Beim Aufsuchen geringer Wassertiefe und langsamen steigern der Tauchtiefe genügt es eventuell durch Gähnen, Kaubewegungen und Schlucken Luft über die Eustachische Röhre ins Mittelohr abfließen zu lassen, um so Druckgleichgewicht zu erzielen. Dabei öffnen sich die lippenartigen Wülste an den Einmündungen der Tube in den Nasen-Rachen-Raum und ermöglichen einen Druckausgleich. Da dies nur wenigen Tauchern gelingt, ist es in den meisten Fällen erforderlich, den Druckausgleich aktiv herzustellen. Dabei werden die Nasenflügel von außen durch die Maskenmanschette hindurch mit dem Daumen und dem Zeigefinger zusammengedrückt. Anschließend wird Luft mit Überdruck in den Nasen-Rachen-Raum gepreßt. Der so erzeugte Überdruck gelangt über die Eustachische Röhre an die Innenseite des Trommelfells und wölbt es in seine

Ausgangslage zurück. Ist der Druckausgleich gelungen, so stellt sich auf beiden Ohren ein leicht knackendes Geräusch ein.

Grundsätzlich soll der erste Druckausgleich schon am Ufer oder im Boot vor Beginn des Tauchganges erfolgen; gelingt er bereits hier nicht, dann liegt ein Verschuß der Eustachischen Röhre vor. Die Tuben sind mit Schleimhäuten ausgelegt, die bei einer Erkältung oder Infektion geschwollen sind und ein Belüften der Paukenhöhle unmöglich machen.

Mit dem Druckausgleich wird bereits beim Verlassen der Wasseroberfläche begonnen und kontinuierlich bis auf die gewünschte Tauchtiefe durchgeführt. Erfolgt der erste Druckausgleich z. B. in 4 m Tiefe, wenn sich bereits Schmerzen bemerkbar gemacht haben, so kann schon ein Barotrauma des Ohres eingeleitet sein.

Beim Auftauchen dehnt sich die komprimierte Luft in den Paukenhöhlen aus. Hier erfolgt der Druckausgleich automatisch. Die Schleimhautwülste am Tubeneingang kann man mit einem Entenschnabelventil vergleichen. Sie lassen bei Unterdruck in der Paukenhöhle keine Luft zur Herstellung des Druckgleichgewichtes hinein, aber die sich beim Auftauchen entspannende Luft entweicht.

Druckausgleich in der Tauchermaske

Die Tauchermaske stelle ebenso einen abgeschlossenen, starren Luftraum dar. Hier genügt eine geringfügige Luftmenge, die man durch die Nase in den Maskenraum strömen läßt. Ein vollkommener Druckausgleich muß jedoch nicht erzielt werden; ein schwacher Unterdruck ist günstiger, da die Maske dadurch besser abdichtet. Wird kein annäherndes Druckgleichgewicht hergestellt, kommt es zum Barotrauma des Gesichtes und der Augen (siehe VI.4.4.).

2.5. Schwierigkeiten beim Druckausgleich

Wie schon unter II.2.4. angesprochen, kann bei Erkältungen die Tube verschlossen sein. Hier sind die Schleimhautwülste am Tubeneingang, die wie zwei lippenartige Erhebungen geformt sind, angeschwollen und verschließen den Eingang der Ohrtrumpete wie ein Lippenventil. Dies ist nicht nur bei Erkältungen der Fall, sondern auch bei Entzündungen im Nasen-Rachen-Raum, bei allergischen Reizungen der Schleimhäute und bei Fehlregulationen der Nasenschleimhautdurchblutung.

Bei allen Entzündungen des Nasen-Rachen-Raumes ist der »Tubenverschluß« ein Schutzmechanismus. Der Verschluß verhindert weitgehend die Besiedelung der Tube und des Mittelohrs mit Bakterien.

Bei leichten Erkältungen gelingt der Druckausgleich beim ersten Tauchabstieg häufig recht gut. Der zeitweise Unterdruck beim Abtauchen und die Abkühlung im Wasser bewirken eine rasch zunehmende Schleimhautschwellung. In diesen Fällen gelingt der erste Tauchabstieg, beim erneuten Abtauchen beginnen jedoch schon die Druckausgleichsschwierigkeiten.

Gelegentlich kommt es beim Abtauchen vor, daß plötzlich der Druckausgleich

im Mittelohr nicht mehr gelingt. Auch kräftiges Pressen bei zugehaltener Nase führt dann nicht mehr zum Ziel. Ursache eines derartigen »Ohrenblocks«: Die lippenartigen Wülste am Tubeneingang liegen durch den Unterdruck in der Paukenhöhle aufeinandergepreßt. Der blockartige Ventilverschluß ist nur zu lösen, wenn kurz um einen oder einige Meter emporgestiegen wird.

2.6. Der Aufstieg



Da man durch die Tauchermaske nur einen sehr begrenzten Blickwinkel hat, ist spiralförmig mit Blick nach oben aufzutauchen. Eine Hand kann dabei in Vorhalte genommen werden, um mit dem Kopf nicht gegen ein übersehenes Hindernis zu stoßen (Abb. 10).

2.7. Hyperventilation und der Schwimmbad-black-out

Hyperventilieren ist ein aktives, bewußtes »Mehratmen« ohne Bedarf. Fast alle ABC-Taucher atmen mehrmals ein und aus bevor sie abtauchen. Dies nennt man medizinisch hyperventilieren (zu deutsch überbelüften). Dadurch kann ein Aussetzen der Atmung verlängert werden.

Abb. 10

Die Atmung wird von mehreren Regelmechanismen gesteuert. Das Atemzentrum, im verlängerten Rückenmark, gewährleistet die normale Atemrhythmik, die aber laufend von chemischen Impulsen oder Nervenreizen moduliert wird. Am stärksten spricht das Atemzentrum auf eine Veränderung der CO_2 -Spannung im Blut an, eine Verminderung des O_2 -Gehaltes spielt demgegenüber nur eine untergeordnete Rolle. Es genügt schon eine Steigerung des Kohlendioxiddruckes im arteriellen Blut um 2,7–3,3 mbar, um eine Atmung zu verdoppeln. Im Gegensatz zur Herzaktion kann man die Atmung über die automatisch ablaufende, unwillkürliche Steuerung hinaus auch willkürlich beeinflussen. Man kann willkürlich, wenigstens vorübergehend, den Atem anhalten, vertiefen oder beschleunigt ein- und ausatmen.

Bei einer willkürlichen Hyperventilation (Überatmung) wird das Kohlendioxyd aus der Lunge abgeatmet und die CO_2 -Spannung im Blut gesenkt; das Kohlendioxyd liegt im Blut als Kohlensäure (H_2CO_3) vor.

Dadurch fehlt ein wesentlicher Antrieb zum Atmen, und die Luft kann länger angehalten werden, so lange, bis wieder eine bestimmte Mindestspannung im Blut vorhanden ist. Durch den steten Verbrauch des Sauerstoffs im Gewebe fällt mittlerweile der O_2 -Druck im Gewebe erheblich ab, so daß es zu einer unmerkli-

chen, durch keinerlei Warnzeichen angekündigten Bewußtlosigkeit durch akuten Sauerstoffmangel, dem sogenannten Schwimmbad-black-out, kommen kann.

Das Atembedürfnis wird also im wesentlichen nicht durch den Sauerstoffmangel, sondern durch den höheren Druck des Kohlendioxyds, das als Kohlensäure im Blut vorliegt, gesteuert. Durch eine Hyperventilation wird nicht, wie meist angenommen, der Sauerstoffvorrat erhöht. Unter normalem, atmosphärischen Druck ist beim gesunden Menschen das Hämoglobin im arteriellen Blut zu 97% mit O_2 gesättigt. Ein vermehrtes Atmen könnte also die Sauerstoffsättigung um höchstens 3% erhöhen. Diese geringfügige Mehrsättigung des Blutes fällt für die Länge des Luftanhaltens nicht ins Gewicht. Ein Sauerstoffdepot oder eine Reserve läßt sich durch Hyperventilation nicht anlegen.

Jeder Mensch hat einen gewissen Teil an Blut/Hämoglobin in der Milz gespeichert, der bei körperlicher Anstrengung abgerufen wird. Erfolgt die Abrufung jedoch zu schnell und nicht langsam und kontinuierlich, so kommt es zum bekannten Seitenstechen. Durch ein Warmmachen bzw. eine Leistungssteigerung wird es langsam abgerufen und dem Körper steht somit mehr Blut/Hämoglobin zur Verfügung, was sich durch eine Leistungssteigerung bemerkbar macht.

Die Hyperventilation führt über die herabgesetzte CO_2 -Spannung im Blut noch weitere Veränderungen nach sich. Wie schon erwähnt, geht CO_2 beim Austritt aus dem Gewebe in das Blut als Kohlensäure über. Die Puffersysteme im Blut, an denen das Hämoglobin wesentlich beteiligt ist, verhüten eine Übersäuerung und sorgen dafür, daß die neutrale Reaktion des Blutes konstant erhalten bleibt. Die Konstanterhaltung der neutralen Reaktion im Blut ist für alle Lebensvorgänge grundsätzlich von Bedeutung. Die Puffersysteme vermögen auch Stöße von Säure- und Basenangeboten abzufangen; die Feinregulierung der neutralen Reaktion geschieht in erster Linie aber durch Variation der CO_2 -Abgabe der Lunge. Somit ist es verständlich, daß beim Hyperventilieren durch eine Verminderung des CO_2 das Säure-Basen-Gleichgewicht gestört werden muß und zwar mit einer Verschiebung zur basischen (alkalischen) Seite. Man spricht deshalb von einer Alkalose.

Neben der ersten Wirkung der Hyperventilation, als Sauerstoffmangel, und der zweiten, der Alkalose, tritt als dritter Effekt eine Minderdurchblutung des Gehirns durch eine Verengung der Hirngefäße hinzu. Die Kohlensäurespannung ist nicht nur Stimulans für die Atmung, sondern auch für die Hirndurchblutung. Ein erhöhter CO_2 -Druck steigert die Durchblutung des Gehirns, und bei Senkung des Kohlendioxyddruckes um etwa die Hälfte, geht die Hirndurchblutung um etwa die Hälfte zurück.

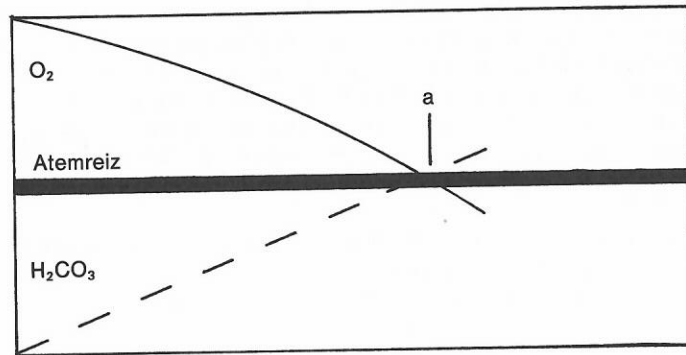
Als viertes Moment bewirkt die Hyperventilation in vielen Fällen eine Senkung des Blutdruckes und verstärkt die mangelnde Gewebeversorgung mit Sauerstoff.

Wie schon erwähnt, kann es zu einer unmerklichen Bewußtlosigkeit ohne vorherige Warnzeichen kommen. Die Bewußtlosigkeit kann zum Tod führen, wenn der Betroffene nicht sofort aus dem Wasser gezogen wird.

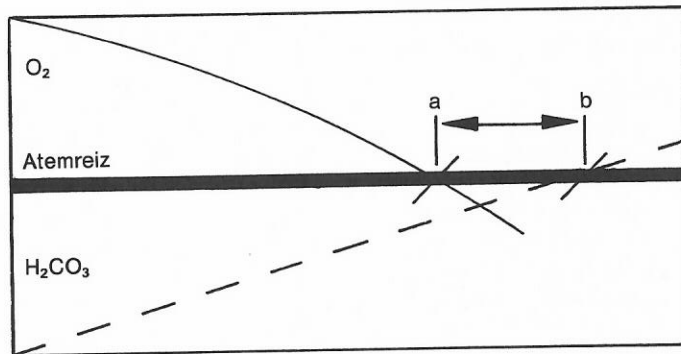
Beim Tauchen und besonders beim Streckentauchen steigt durch die vermehrte Wärmeabgabe im Wasser der Sauerstoffverbrauch rasch an. Der O_2 -Gehalt im Blut nimmt ab und kann auf Werte absinken, die eine ausreichende Gewebesät-

tigung nicht mehr gewährleistet. Chemische Melder beginnen den Sauerstoffmangel im Blut an das Atemzentrum zu signalisieren. Dieses reagiert aber wegen der herabgesetzten Hirndurchblutung und dem allgemeinen Sauerstoffmangel schwach und wartet auf den stärkeren Reiz der CO_2 -Spannung, die noch herabgesetzt ist. Die Hirnzellen reagieren jedoch auf einen Sauerstoffmangel am empfindlichsten und antworten mit einer unmerklich einsetzenden Bewußtlosigkeit.

Kann der Bewußtlose innerhalb einer Minute aus dem Wasser gezogen werden, so setzt meist an der Luft eine Spontanatmung wieder ein. Wird der Bewußtlose



- a) Normaler Atemreiz durch H_2CO_3 -Spannung im Blut, der parallel mit O_2 -Verbrauch läuft.
Normalatmung – Atemreiz rechtzeitig



- a) Eigentliches Atembedürfnis nach O_2 -Spannung, das mangels H_2CO_3 -Spannung nicht eintritt,
b) da der Atemreiz erst später wirksam wird.
Hyperventilation – Atemreiz zu spät

Abb. 11

nicht sofort aus dem Wasser gezogen, so ist ein Ertrinken in den meisten Fällen die Folge.

Merke: Streckentauchen immer durch einen, besser zwei ABC-Taucher absichern, um sofort Rettungsmaßnahmen bei Eintritt eines Schwimmbad-black-outs vornehmen zu können.

2.8. Die Kapazitäten der Lunge

Jeder Taucher hat eine individuelle Tiefengrenze beim ABC-Tauchen, die von der Vitalkapazität abhängig ist. Einige Begriffe:

- Atemzugvolumen ist das Volumen in dm^3 eines Atemzuges
- Atem-Minutenvolumen (AMV) ist die veratmete Luftmenge pro Minute
- Vitalkapazität ist die Luftmenge, die nach maximaler Einatmung meßbar ausgeatmet werden kann
- Residualvolumen ist die nicht ausatembare Restluft
- Totalkapazität ist Vitalkapazität plus Residualvolumen

2.9. Überschreiten der Freitauchgrenze

Jeder ABC-Taucher hat eine Tiefengrenze. Nehmen wir an, Sie haben eine Totalkapazität von 6 l, eine Vitalkapazität von 4,5 l und ein Residualvolumen von 1,5 l.

Wie schon unter II.2.4. beschrieben wird beim Abtauchen die Luft in den Paukenhöhlen infolge des Wasserdruckes komprimiert. Das gleiche geschieht auch mit der Luft in der Lunge. Jedoch tritt hier eine Unterdruckschädigung wesentlich später ein, da die Lunge im elastischen Brustkorb eingebettet ist, der nach unten durch das bewegliche Zwerchfell abgeschlossen wird. Wird nun die Luft in der Lunge komprimiert, so gleicht diese Volumensverkleinerung die Lunge, der Brustkorb und das Zwerchfell aus. Eine Unterdruckschädigung tritt erst unter sehr viel höheren Druckbelastungen auf, als dies beim Ohr der Fall ist.

Theoretisch ist die Tiefengrenze dann erreicht, wenn die Totalkapazität in Folge des Wasserdruckes soweit komprimiert ist, daß nur noch das Residualvolumen an Luft vorhanden ist. Wir haben jedoch immer noch unsere 6 l Luft, gemessen nach Umgebungsdruck der Wasseroberfläche, in unserer Lunge. Gemäß dem Boyle-Mariotteschen Gesetz (siehe III.2.2.) wird die Totalkapazität von 6 l wie folgt komprimiert:

- 0 m WT = 1 bar = 6 l Luftvolumen
- 10 m WT = 2 bar = 3 l Luftvolumen
- 20 m WT = 3 bar = 2 l Luftvolumen
- 30 m WT = 4 bar = 1,5 l Luftvolumen

Anhand dieser Tabelle sehen Sie, daß die anfänglich 6 l Totalkapazität in 30 m Wassertiefe auf das Residualvolumen von 1,5 l komprimiert sind.

Würde man noch tiefer tauchen käme es zu folgenden Symptomen. Da die Elastizität des Brustkorbes und des Zwerchfells eingeschränkt und auch erreicht ist, entsteht ein relativer Unterdruck in der Lunge, der ein inneres Blaukommen verursacht. D. h., es kommt zu einem Flüssigkeitsaustritt aus dem Lungengewebe, einem sogenannten Lungenödem. Gleichzeitig kommt es zu einem verstärkten venösen Rückstrom zum Herzen, der eine Rechtsherzüberlastung zur Folge haben kann. Verbunden mit einem Blutdruckabfall, der eine Sauerstoffmangelversorgung des Gehirns bewirkt, kann eine Bewußtlosigkeit die Folge sein. Weiterhin können die Lungenflügel zusammenklappen und verkleben.

Will man seine Freitauchgrenze errechnen, so darf nicht vergessen werden, die erforderliche Luftmenge für den Druckausgleich (Ohr, Maske) abzuziehen und zu berücksichtigen, so daß nie die Totalkapazität beim Freitauchen zur Verfügung steht. Als Faustregel gilt, $\frac{1}{3}$ von der Totalkapazität abziehen.

Die Vitalkapazität ändert sich jedoch mit dem Leistungsstand und den Lebensgewohnheiten. Außerdem geht mit zunehmendem Alter die Elastizität des Brustkorbes zurück und erhöht somit das Residualvolumen. All diese Faktoren müssen beim Errechnen der Tiefengrenze berücksichtigt werden. Somit hat, wie schon eingangs erwähnt, jeder ABC-Taucher eine individuelle Tiefengrenze.

2.10. Tod durch Preßatmung

Durch die Herstellung des Druckausgleiches oder durch das Anheben eines schweren Gegenstandes kommt es zu einem kurzfristigen, steilen Druckanstieg im Brustraum. Dies führt zu einer Behinderung des Blutrückstroms zum Herzen und es folgt ein kurzfristiger, steiler Blutdruckabfall. Nach Beendigung steigt dieser beim kreislaufstabilen Taucher schnell wieder an und kehrt rasch wieder zum Ausgangspunkt zurück.

Diese Kreislaufveränderung bewirkt bei Tauchern mit einem instabilen Kreislauf oder nach infektiösen Erkrankungen einen langanhaltenden Blutdruckabfall, was eine Mangelversorgung lebenswichtiger Organe nach sich zieht und schließlich zum Kreislaufkollaps führen kann. Dieser endet unter Wasser meist tödlich.

III. Physikalische Grundlagen des Tauchens

1. Die Atemgase

An sehr vielen chemischen Reaktionen ist die Luft oder zumindest ein Teil der Luft beteiligt. Diese Reaktionen sind immer mit einer Massenzunahme verbunden.

Je nach Wetter und Klima kann die Luft unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen. Auch der Kohlendioxydgehalt ist nicht absolut konstant, er ist bei Nacht höher als am Tag und über Städten und Industriegebieten höher als z. B. über Wäldern. Von diesen Schwankungen abgesehen, ist die Zusammensetzung der Luft überall an der Erdoberfläche nahezu gleich. Trotzdem ist die Luft keine Verbindung, sondern ein Gemisch und kann z. B. durch Verflüssigung und nachfolgende stufenweise Destillation in ihre Bestandteile aufgetrennt werden.

Einatemluft:

21 % O₂ = Sauerstoff
78 % N₂ = Stickstoff
0,04% CO₂ = Kohlendioxyd
0,96% = Edelgase

Abb. 12

Ausatatemluft:

17 % O₂
78 % N₂
4,04% CO₂
0,96% Edelgase

Abb. 13

Anhang der Abb. 12 und 13 von Ein- bzw. Ausatemluft sieht man, daß unser Atemgasgemisch, sprich Luft, in vier Elemente von Atemgasen eingeteilt wird. Nun zu den einzelnen Atemgasen.

1.1. Sauerstoff

In der chemischen Zeichensprache hat Sauerstoff das Symbol O (von seinem lateinischen Namen Oxygenium). Bei Zimmertemperatur ist der Sauerstoff gasförmig, farblos und geschmacklos. Dabei sind seine Atome immer paarweise aneinander gebunden. Der elementare gasförmige Sauerstoff besteht also aus zweiatomigen Molekülen und erhält die Formel O₂. Daneben gibt es noch eine andere Form des Sauerstoffs, in der jeweils drei Atome aneinander gebunden sind, das sogenannte Ozon mit der Formel O₃. Dies ist für uns Taucher jedoch unwichtig.

Der Sauerstoff ist zur Atmung und Verbrennung notwendiger Bestandteil der Luft. Anhand der Abb. 13 kann man sehen, daß 4% Sauerstoff bei der Einat-

mung chemisch gebunden, 17% mit der Ausatemluft wieder abgegeben werden. Diese 17% sind die Grundlage für die Atemspende. Durch Atemspende in Verbindung mit Herzdruckmassage kann über längere Zeit der Kreislauf aufrecht erhalten werden (siehe VI.12.).

1.2. Stickstoff

Wie die Abb. 12 zeigt, besteht der größte Teil der Luft aus Stickstoff, es sind 78%. Das Gas ist farblos, geruchlos, geschmacklos und unter normalen Verhältnissen ungiftig. Die Stickstoffmoleküle N_2 ($N \equiv N$) bestehen aus besonders fest aneinandergelagerten Atomen. Drei gemeinsame Elektronenpaare bewirken die feste Bindung. Der molekulare Stickstoff ist chemisch sehr träge und geht unter normalen Bedingungen keine chemische Bindung im Körper ein. Der Stickstoff hat als Gas in der Atemluft lediglich sauerstoffverdünnende Wirkung. Wird Stickstoff jedoch längere Zeit unter Überdruck (größere Tiefe beim Tauchen) geatmet, so kann er bei nichtbeachten von Dekozeiten (siehe VI.6.5. und 7.2.) Ursache für eine der häufigsten und gefährlichsten Taucherkrankheiten, der sogenannten Caissonkrankheit, sein.

1.3. Kohlendioxyd

Bei jeder Verbrennung und auch bei der Assimilation der Nahrung im menschlichen und tierischen Körper wird Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxyd erzeugt. Dadurch müßte in der Luft der Anteil des Sauerstoffs dauernd ab und der des Kohlendioxyds dauernd zunehmen. In den Pflanzen spielt sich jedoch der umgekehrte Vorgang ab. Kohlendioxyd (CO_2) ist ein farbloses, nicht brennbares Gas. Es ist zu 0,04% (Abb. 12) in der Luft enthalten. Kohlendioxyd ist der stärkste Antrieb für das Atemzentrum im verlängerten Rückenmark (siehe II.2.7.).

Steigt die Konzentration des Kohlendioxyds im Atemgas über etwa 3,5% wird reflektorisch eine Hyperventilation eingeleitet. Ist die Konzentration höher als 20% werden zentrale Krämpfe ausgelöst, und der Tod tritt nach kurzer Zeit ein. Daher ist beim Gebrauch von Druckkammern immer auf eine ausreichende Spülung mit Frischluft zu achten.

1.4. Edelgase

Bei der Untersuchung von Luft findet man neben Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxyd und Wasser einen Gasrest von 0,96% (Abb. 12). Er enthält eine Gruppe

sehr ähnlicher Elemente, die wegen ihrer Reaktionsträgheit als Edelgase bezeichnet und ihrer Eigenschaft wegen zu einer Elementengruppe zusammengefaßt werden. Sie sind farb-, geruch- und geschmacklos. Im Gegensatz zu allen anderen gasförmigen Elementen bestehen die Edelgase nicht aus zweiatomigen Molekülen, sondern aus Atomen.

Die Edelgase sind außerordentlich reaktionsträge. Daß sie zum Teil auch Verbindungen eingehen können, weiß man erst seit 1962. Ihre Reaktionsträgheit macht die Edelgase geeignet für Anwendungen, bei welchen chemische Reaktionen unerwünscht sind. Edelgase sind Helium, Neon, Argon, Krypton und Xenon.

So benutzt man Argon und Krypton als Füllgas für Glühlampen, Xenon als Füllgas für Elektroblickgeräte. In Leuchtröhren finden alle Edelgase Anwendung.

Helium hat in der Tieftauchtechnik große Bedeutung. Da Helium in Flüssigkeiten und im Gewebe sehr schnell in physikalische Lösung geht und ebenso leicht wieder aus dieser Lösung geht, wird es als Füllgas beim Mischgastauchen benutzt, und ersetzt den Stickstoff.

2. Die Gasgesetze

2.1. Druckeinheiten

Flüssigkeiten und Gase haben gewisse Eigenschaften mit den festen Körpern gemeinsam. Dazu gehören die Schwere, die Trägheit und die Raumbfüllung. Sie haben aber keine bestimmte und unveränderliche Gestalt wie feste Körper. Man kann sie deshalb nicht zur Übertragung von Kraft von einer Stelle an eine andere benutzen, so wie man dies z. B. mit einer Stange tun kann.

Flüssigkeiten lassen sich nicht bzw. nur unter sehr hohem Druck zusammendrücken und sind weitgehend volumenkonstant. Druck pflanzt sich in Flüssigkeiten gleichmäßig nach allen Seiten hin fort, damit herrscht auch in den Körperflüssigkeiten während des Tauchens an jeder Stelle des Körpers der gleiche Druck, wie er im umgebenden Wasser auftritt.

Die Größe des Druckes ergibt sich durch eine Kraft auf eine begrenzte Fläche. Wir legen daher fest:

»Druck ist das Verhältnis von Kraft zu gedrückter Fläche«

$$\text{Druck (p)} = \frac{\text{Kraft (F)}}{\text{Fläche (A)}}$$

Die Einheit des Druckes ist das Pascal

$$1 \text{ Pascal} = 1 \frac{\text{Newton}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Das Newton ist die Kraft, die eine Masse von 1 kg in einer Sekunde um 1 m/sec. beschleunigen kann, und erst

9,81 N

würden eine Masse von 1 kg so beschleunigen wie beim freien Fallen.

$$p = \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}; 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$$

$$10 \text{ N} \approx 1 \text{ kp}$$

Da diese Einheit einem sehr kleinen Druck entspricht, wurde für 100.000 Pa der Name **bar** festgelegt.

Es wird folgendermaßen definiert:

$$\frac{1 \text{ kp}}{1 \text{ cm}^2} \approx \frac{10 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = 1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa}$$

Merke:

$$0,981 \text{ bar} = \frac{1 \text{ kp}}{\text{cm}^2} = 10 \text{ m WS}$$

$$1 \text{ bar} \approx \frac{1 \text{ kp}}{\text{cm}^2}$$

Die bisherige Atmosphäre (techn. Atmosphäre) ist 1 at = 1 kp/cm² entspricht dem Wert von 0,981 bar. Da die Abweichung zwischen den Werten nur 2% beträgt, kann sie in unserem Bereich vernachlässigt werden.

Nach dem »Gesetz über Einheiten im Meßwesen« vom 2. Juli 1969 und der »Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen« vom 26. Juni 1970 sind ab 31. 12. 1977 alle Druckeinheiten in SI-Einheiten (Système International d'Unités) in Pascal oder bar anzugeben.

Wasserdruck

Uns Taucher interessiert die Bestimmung der Last, welche die Lufthülle, die unsere Erde umgibt, auf die Erdoberfläche verteilt. Die uns umgebende Luft, die in Höhen von etwa 20 km reicht, drückt mit ihrem Gewicht (1 l Luft wiegt 1,29 g), hervorgerufen durch die Erdanziehung, auf jede Fläche unsres Planeten. Alle Luftmoleküle, die sich in einer Luftsäule von 1 cm² Grundfläche in der Atmosphäre befinden, üben auf die Erdoberfläche einen Druck von 1,033 bar aus. Auf jeden Quadratzentimeter wirkt in Meereshöhe eine Kraft von 1,033 kp. Dieser Druck hält einer Wassersäule von 10,33 m oder einer Quecksilbersäule von 760 mm die Waage.

Je größer die Luftsäule ist, die auf der Erdoberfläche lastet, desto größer ist der Luftdruck auf der Erdoberfläche. Der Wasserdruck wächst jedoch, auf Grund der etwa 800 mal größeren Dichte von Wasser, mit zunehmender Wassertiefe schneller. Hier genügt bereits eine Wassersäule von 10 m (Abb. 14), um den gleichen Druck zu erzeugen, der durch die Luftsäule auf der Erdoberfläche lastet.

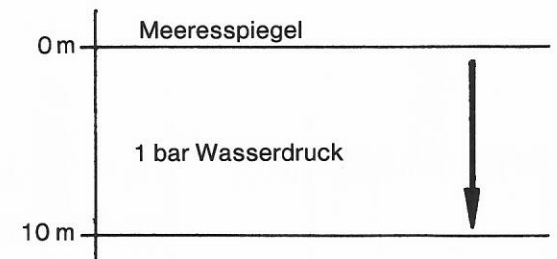


Abb. 14

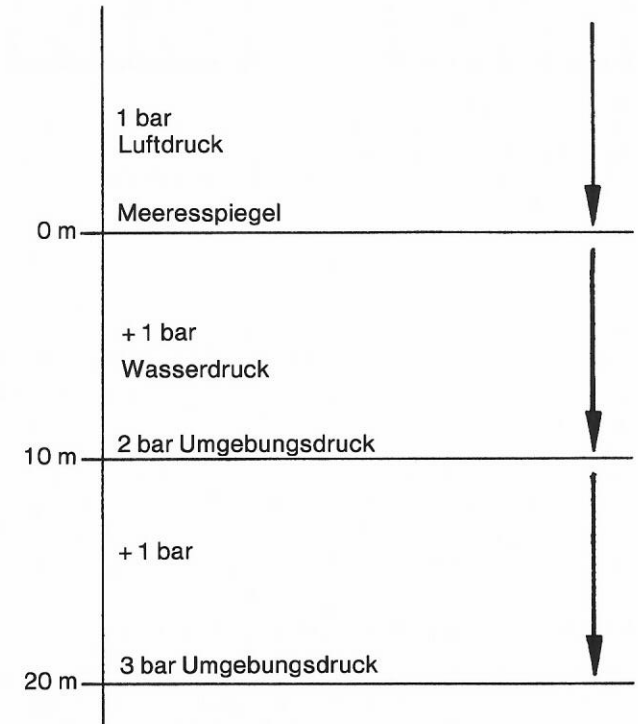


Abb. 15

2.2. Das Gesetz von Boyle-Mariotte

Wasser kann auf Grund seiner Eigenart der Verschiebbarkeit seiner Moleküle nicht verdichtet werden, wobei Luft auf Grund der Verschiebbarkeit der Moleküle verdichtet werden kann. Dabei tritt bei Gasen immer eine Erscheinung auf, die charakteristisch für sie ist und die mit ihrem Expansionsbestreben zusammenhängt. Es handelt sich um den Eigendruck des Gases.

»Verkleinert man das Volumen einer Gasmenge, so erhöht sich der Eigendruck. Vergrößert man das Volumen, so verteilt sich das Gas auf den größeren Raum, und sein Eigendruck sinkt«.

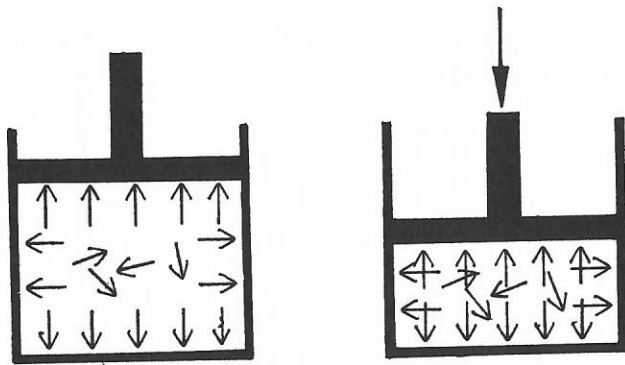


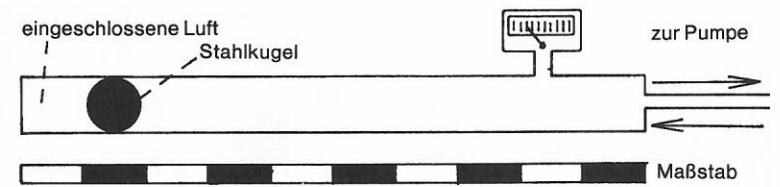
Abb. 16: Kinetische Gastheorie
 Der Druck in einem Gasbehälter resultiert aus dem Aufprall der regellos durcheinanderfliegenden Gasmoleküle auf die Behälterwände.
 Verkleinert man den Raum, so steht zur Entfaltung der Bewegungsintensität weniger Platz zur Verfügung und der Druck erhöht sich.

Man muß also prüfen, ob zwischen dem Volumen und Druck einer Gasmenge irgendein Zusammenhang besteht. Aus Erfahrung weiß man, daß dabei auch die Temperatur eine Rolle spielt. Gase dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden, und zwar gegen den Atmosphärendruck. Eine Fahrradpumpe wird warm, wenn man durch das Pumpen ständig Druck und Volumen ändert. Ebenso dehnt sich ein Fahrradschlauch aus, wenn er in der Sonne liegt. Druck, Temperatur und Volumen einer Gasmenge beeinflussen sich gegenseitig. Man kann aber immer nur den Zusammenhang zwischen zwei Größen durch eine Messung feststellen. Die dritte Größe muß dann konstant gehalten werden.

Volumenänderung bei konstanter Temperatur

Eine Glasröhre und eine Stahlkugel sind so aufeinander eingeschliffen, daß die Kugel einen Raum in der Glasröhre abzuschließen vermag und doch noch leicht beweglich ist. Da der Querschnitt des Rohres überall gleich ist, kann das Volumen aus der Länge des Versuchsraumes berechnet werden. Der am Manometer abgelesene Druck, muß um den Luftdruck vermehrt werden, da das Manometer nur den Überdruck bzw. Unterdruck anzeigt. Die Summe von Überdruck und Luftdruck ist in der Abb. 17 mit **p** bezeichnet.

Der Druck wird um so größer, je kleiner das Volumen ist. Bei Verdoppelung des Volumens sinkt der Druck auf die Hälfte seines vorherigen Wertes herab. Man kann vermuten, daß zwischen den Größenwerten ein antiproportionales Verhältnis besteht (Abb. 18). Man mußte also prüfen, ob **p** und **V** der Bedingung **p × V = konstant** entspricht.



$\frac{P}{\text{bar}}$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	0,8	0,6	0,5
$\frac{V}{\text{cm}^3}$	21	17,6	15	13,1	11,7	10,5	9,4	26,2	35	42

Abb. 17: Gerät zur Ermittlung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes

$\frac{P}{\text{bar}}$	$\frac{V}{\text{cm}^3}$	21	21	21	20,9	21,1	21	20,8	21	21	21
------------------------	-------------------------	----	----	----	------	------	----	------	----	----	----

Abb. 18

Alle Produkte steuern um einen bestimmten Wert. Es gilt mit guter Näherung:

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

oder

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Dafür sagt man auch:

»Bei gleichbleibender Temperatur ist das Produkt aus Druck mal Volumen ($p \times V$) für eine abgeschlossene Gasmenge konstant.«

Dieses Gesetz wird nach zwei Physikern, dem Engländer Robert Boyle (1627–1691) und nach dem Franzosen Edènè Mariotte (1620–1684), als Boyle-Mariottesches Gesetz bezeichnet. Sie formulierten eines der wichtigsten Gesetze für die Taucher.

Der ABC-Taucher hat, wie schon unter II.2.9. erwähnt eine Tiefengrenze. Seine anfängliche Totalkapazität von 6 l wird in 30 m Wassertiefe auf 1,5 l komprimiert, so daß die komprimierte Luft nur noch sein Residualvolumen ausmacht. Obwohl er immer noch 6 l Luft, gemessen nach Umgebungsdruck der Wasseroberfläche, in der Lunge hat. Soll seine Lunge wie beim Gerätetaucher ständig konstant gefüllt sein, so muß auf der Abb. 19 der Faktor **k** (konstant) neben **p** (Druck) und **V** (Volumen) berücksichtigt werden.

Es zeigt sich, daß sich während der ersten 10 m der Druck verdoppelt; analog erfolgt die größte Volumensverkleinerung. Von 10 m auf 20 m erfolgt nur noch eine Druckzunahme von 2 bar auf 3 bar und eine entsprechend geringere Volumenabnahme von $\frac{1}{2}$ auf $\frac{1}{3}$.

Boyle-Mariotte
 $p \times V = k$

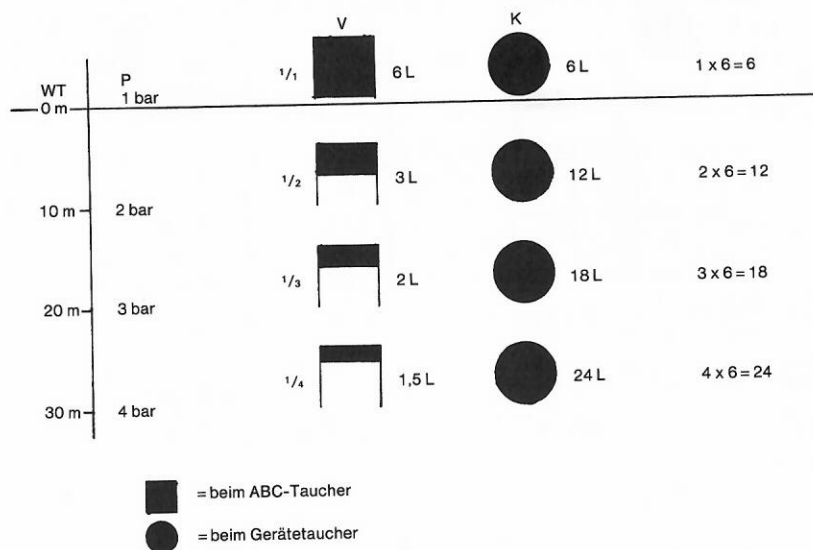


Abb. 19

Rechenbeispiele:

Rechnung 1

Geg.: 2 x 6-l-PTG/300 Bar Ges.: Tauchzeit
 AMV 40 NL
 20 m Tiefe

$$\begin{aligned}
 p \times V &= k \\
 300 \text{ bar} \times (2 \times 6 \text{ l}) &= 3600 \text{ NL} \\
 - \text{Reserve } 40 \text{ bar} \times (2 \times 6 \text{ l}) &= 480 \text{ NL} \\
 \hline
 &= 3120 \text{ NL}
 \end{aligned}$$

3 bar x 40 NL (AMV) = 120 NL AMV in 20 m Tiefe
 3120 NL : 120 NL = 26 Minuten

Antwort: Die Tauchzeit beträgt in 20 m Tiefe 26 Minuten.

Rechnung 2

Geg.: Hebeballon $V = 1 \text{ m}^3$ Ges.: NL in 10 m Tiefe
 in 20 m $\frac{1}{2}$ gefüllt

$$\begin{aligned}
 p_1 \times V_1 &= p_2 \times V_2 \\
 \frac{p_1 \times V_1}{p_2} &= V_2
 \end{aligned}$$

$$\frac{3 \text{ bar} \times 500 \text{ NL}}{2 \text{ bar}} = 750 \text{ NL}$$

Antwort: In 10 m Tiefe befinden sich 750 NL Luft im Hebeballon.

2.3. Das Gesetz von Dalton

Der englische Physiker Dalton (1766–1844) erstellte im Jahre 1808 folgendes Gesetz:

»Am Gesamtdruck eines Gasgemisches sind die Einzelgase entsprechend ihrem Volumenanteil beteiligt. Die Summe der Teildrücke (Partialdruck) ergibt den Gesamtdruck.«

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

Wie schon unter III.1 erwähnt, ist unsere Atemluft ein Gasgemisch. Sie besteht aus:

- 21 % Sauerstoff
- 78 % Stickstoff
- 0,04% Kohlendioxyd
- 0,96% Edelgase

Folglich hat, volumenmäßig ausgedrückt, 1 Liter Atemluft:

- 0,2100 l Sauerstoff
- 0,7800 l Stickstoff
- 0,0004 l Kohlendioxyd
- + 0,0096 l Edelgase
-
- 1,0000 l Atemluft

Unser Umgebungsdruck ist ≈ 1 bar. Nach Dalton, in Druck ausgelegt:

- 0,2100 bar Sauerstoff (Teildruck)
- 0,7800 bar Stickstoff (Teildruck)
- 0,0004 bar Kohlendioxyd (Teildruck)
- + 0,0096 bar Edelgase (Teildruck)
-
- 1,0000 bar Gesamtdruck

Partialdruck unter Überdruckbedingungen

Der prozentuale Anteil der Gase bleibt stets derselbe, es ändern sich nur die tatsächlichen Druckwerte entsprechend dem Gesamtdruck. Daher läßt sich der Partialdruck eines Gases unter Überdruckbedingungen einfach ermitteln, indem der Volumenanteil des jeweiligen Gases mit dem Gesamtdruck multipliziert wird. Z. B. beträgt der Sauerstoffpartialdruck in 20 m Tiefe (3 bar absolut) $0,21 \times 3 = 0,63$ bar, der des Stickstoffes $0,78 \times 3 = 2,64$ bar.

Es darf in einem Gasgemisch das längere Zeit geatmet wird, der Sauerstoffpartialdruck nicht über 1,7 bar (ca. 75 m WT) und der Stickstoffpartialdruck nicht über 4–5 bar (ca. 50 m WT) betragen. Ansonsten wirken die Gase toxisch.

Beispiel:

In der atmosphärischen Luft, die rund 80% Stickstoff und 20% Sauerstoff enthält (der Einfachheit halber wird mit diesen abgerundeten Zahlen gerechnet), beträgt der Partialdruck bei:

0 m WT	1 bar	= 0,2 bar pO ₂ = 0,8 bar pN ₂
10 m WT	2 bar	= 0,4 bar pO ₂ = 1,6 bar pN ₂
20 m WT	3 bar	= 0,6 bar pO ₂ = 2,4 bar pN ₂
50 m WT	6 bar	= 1,2 bar pO ₂ = 4,8 bar pN ₂

Für das Tieftauchen müssen daher die Mengenanteile von O₂ und N₂ mit steigendem Druck vermindert werden (Mischgasgeräte).

2.4. Das Gesetz von Gay Lussac

Aus III.2.2. (Das Gesetz von Boyle-Mariotte) wissen wir, daß Gase sich bei Erwärmung ausdehnen und zwar gegen den Atmosphärendruck. Z. B. dehnt sich ein Fahrradschlauch aus, wenn er in der Sonne liegt. Druck, Temperatur und Volumen einer Gasmenge beeinflussen sich gegenseitig.

Die Geschwindigkeit der Gasteilchen ist nicht nur von ihrer Masse, sondern auch von ihrer Temperatur abhängig. Alle Teilchen bewegen sich bei höherer Temperatur rascher. Beim Erwärmen steigt daher die Bewegungsenergie der Gasteilchen; sie prallen mit größerer Wucht auf die Wände (siehe Abb. 16) auf. Der Druck des Gases wird größer oder aber – bei gleichbleibendem Druck – das Gasvolumen.

Dieses Phänomen läßt sich mit dem Gesetz erklären, das der französische Chemiker und Physiker Gay Lussac (1778–1850) zu Beginn des 19. Jahrhunderts formulierte:

»Pro 1° C Temperaturerhöhung dehnt sich ein Gas um $\frac{1}{273}$ seines Volumens bei 0° C aus. Ist eine Ausdehnung nicht möglich, so erhöht sich entsprechend der Druck. Dasselbe gilt auch umgekehrt, d. h. bei Abkühlung um 1° C verringert sich das Volumen entsprechend.«

Bei Abkühlung auf –273° C wäre das Volumen aller Gase gleich Null. Das bedeutet, daß bei dieser Temperatur jede Molekülbewegung aufhört, die kinetische Energie der Teilchen also gleich Null wird. Diese Temperatur, die als absoluter Nullpunkt bezeichnet wird, dient als Nullpunkt für die Temperaturskala (Abb. 20) nach Kelvin. Die Skala heißt nach einem Vorschlag des Physikers Lord Kelvin (1824–1907) absolute Temperaturskala, deren Werte als »absolute Temperatur« bezeichnet werden.

Die Kelvin-Temperatur erhält man aus der Celsius-Temperatur durch einfache Addition oder Subtraktion von 273.

$$0 \text{ K } T\text{-Kelvin} = T\text{-Celsius} - 273^\circ \text{ C}$$

$$0^\circ \text{ C } T\text{-Celsius} = T\text{-Kelvin} + 273 \text{ K}$$

Die Berechnung der Volumen- oder Druckänderung erfolgt nach folgenden Formeln:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ oder } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

p₁ = Anfangsdruck in bar

p₂ = Erreichter (End-)Druck bei Temperatureinfluß in bar

T₁ = Anfangstemperatur in Kelvin (K)

T₂ = Erreichte (End-)Temperatur bei Druckeinfluß in Kelvin (K)

Rechnung:

Eine 300 bar Preßluftflasche ist auf 300 bar bei 15° C gefüllt worden.

Frage: »Auf welche Temperatur muß die Preßluftflasche erwärmt werden, um den Prüfdruck (450 bar) zu erreichen?«

Formel: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad T_2 = \frac{T_1 \times p_2}{p_1}$

Geg.: T₁ = 288 K (273 + 15° C)

p₁ = 300 bar

p₂ = 450 bar

Ges.: T₂ = X° C

Rechnung: $T_2 = \frac{288 \text{ K} \times 450 \text{ bar}}{300 \text{ bar}} = 432 \text{ K} - 273 = 159^\circ \text{ C}$

Antwort: »Die Preßluftflasche muß von 15° C auf 159° C erwärmt werden, um den Prüfdruck zu erreichen.«

Temperatur Skala nach

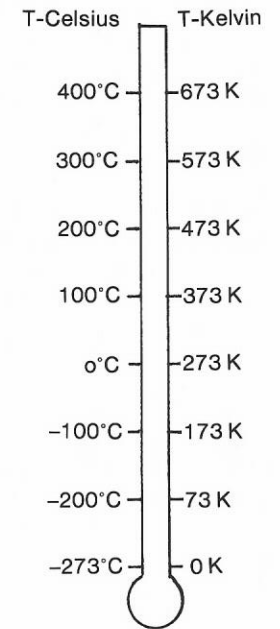


Abb. 20

3. Die Lösung von Gasen in Flüssigkeiten

3.1. Das Gesetz von Henry

Der englische Arzt William Henry (1797–1878) formulierte im 19. Jahrhundert folgendes Gesetz:

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

Steht ein Gas über einer Flüssigkeit, so stoßen die Moleküle gegen die Oberfläche der Flüssigkeit, dringen zum Teil ein und lösen sich auf.

Die gelösten Teilchen werden durch Diffusion fortgeführt. Schließlich stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, in dem ebensoviele Gasmoleküle sich auflösen, wie aus der Lösung entweichen, so daß überall in der Flüssigkeit die gleiche Anzahl Moleküle gelöst ist. Der Druck über der Flüssigkeit muß während des gesamten Vorganges konstant gehalten werden. Im Gleichgewichtszustand ist die Flüssigkeit mit dem betreffenden Gas gesättigt.

Wird am Flüssigkeitsspiegel der Druck erhöht, so dringen weiterhin Gasmoleküle ein und gehen in physikalische Lösung über (Abb. 21), bis wiederum ein Gleichgewichtszustand herrscht. Sinkt jedoch der Druck über dem Flüssigkeitsspiegel, so perlt das Gas aus der Flüssigkeit aus (Abb. 22), bis ein Druckgleichgewicht (Abb. 23) (im Partialdruck) hergestellt ist. Z. B. beim Öffnen einer Seltenerwasserflasche entweicht als erstes unter zischendem Geräusch der Druck. Anschließend perlt sofort die Kohlensäure aus, da ihr Partialdruck jetzt höher ist als der des Gases (Luft) über dem Flüssigkeitsspiegel. Verstärkt wird das Freiwerden des Gases durch schütteln der Seltersflasche.

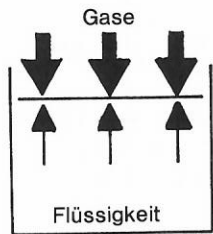


Abb. 21

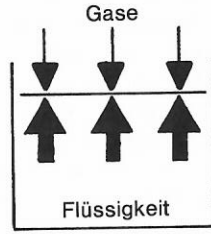


Abb. 22

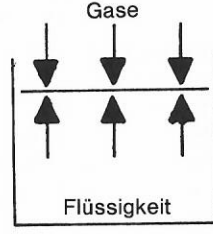


Abb. 23

Beim Tauchen, insbesondere beim Abtauchen, erhöht sich der Umgebungsdruck (siehe III.2.1.). Somit erhöht sich der Partialdruck des Gases gegenüber dem des im Körper gelösten. Es geht Gas in physikalische Lösung über, bis ein Druckgleichgewicht des Gases besteht. Umgekehrt ist es beim Auftauchen, das Gas kann bei zu schnellem Auftauchen anfangen auszuperlen (Seltenerwasserereffekt).

Je tiefer getaucht wird, um so mehr erhöht sich der Partialdruck, und es löst sich eine weitere Menge des Gases im Körper, entsprechend des Henryschen Gesetzes, ohne daß je eine Grenze zu erreichen wäre.

Maßgebend für die Lösungsmenge sind die Faktoren:

- Druck
- Dauer der Druckeinwirkung
- Temperatur
- Löslichkeit der Gase
- Art der Flüssigkeit
- Oberflächengröße der Flüssigkeit

Eine Einschränkung erfährt dieses Gesetz. Gase, die eine chemische Reaktion eingehen, wie z. B. die O_2 -Bindung an das Hämoglobin. Erst wenn das Hämoglobin vollständig mit O_2 gesättigt ist, kann eine weitere physikalische

Gaslösung im Blut erfolgen. Stickstoff hingegen geht keine chemische Reaktion ein und ist somit Hauptursache für die sogenannte Caissonkrankheit (siehe VI.7.).

3.2. Lösung von Gasen in Flüssigkeiten in Abhängigkeit von Druck und Zeit

Unser Körper besteht zu 90% aus Wasser, also einer Flüssigkeit.

Wie schon unter III.3.1. erwähnt, versucht jedes Gas immer ein Druckgleichgewicht zwischen dem gelösten Gas in der Flüssigkeit und dem darüber stehenden herzustellen. Wird der Druck erhöht, so erfolgt eine weitere Lösung (Sättigung) von Gasen in der Flüssigkeit, bis eine vollständige Sättigung, sprich Druckgleichgewicht, hergestellt ist. Wird nun wiederum der Druck erhöht, so beginnt der Prozeß von neuem bis ein Druckausgleichgewicht vorhanden ist. Dies kann ohne ein Ende fortgesetzt werden, so daß bei ständiger Druckzunahme eine vollständige Sättigung nie erreicht wird.

Der Faktor Zeit spielt hierbei eine erhebliche Rolle, denn nicht alle Flüssigkeiten sättigen sich gleich schnell. Bis eine Flüssigkeit bei konstantem Druck vollständig gesättigt ist, bedarf es einer gewissen Zeitspanne. Der Sättigungsgrad in einer Flüssigkeit hängt also vom Druck und der Zeit, in der die Flüssigkeit unter Druck steht, ab. Erhöht man den Druck, erfolgt die Sättigung zuerst schneller, verlangsamt sich aber mehr und mehr, da die Druckdifferenz geringer wird, je mehr Moleküle von der Flüssigkeit aufgenommen worden sind. Es entsteht dabei nur ein höherer Partialdruck des betreffenden Gases.

3.3. Freiwerden von Gasen aus Flüssigkeiten

Feste Stoffe (z. B. Zucker in Wasser) lösen sich bei höherer Temperatur meist besser als bei niedriger Temperatur. Bei Gasen nimmt die Löslichkeit dagegen mit höherer Temperatur ab und die vorher gelösten Gase entweichen aus der physikalischen Lösung.

Erfolgt eine Druckentlastung, so entweicht das vorher gelöste Gas ebenfalls aus seiner physikalischen Lösung. Das Phänomen des Gasaustausches, sprich Druckgleichgewichtsherstellung, beginnt sich umzukehren. Von diesem Augenblick an befindet sich die Flüssigkeit im Zustand der sogenannten Übersättigung. Das gelöste Gas entweicht dann aus der Flüssigkeit unter Blasenbildung, wie aus einer Seltenerwasserflasche, die man ruckartig geöffnet hat. Der Faktor Zeit spielt hierbei ebenfalls eine Rolle. Am Anfang verläuft die Gasausscheidung sehr rasch; sie wird in dem Maße langsamer, wie die Differenz zwischen dem Gasdruck in der Flüssigkeit und des Umgebungsdruckes abnimmt. Die Zeitspanne der vollständigen Entsättigung entspricht annähernd der der vollständigen Sättigung. Z. B. eine Seltenerwasserflasche sprudelt zu

Beginn der Druckentlastung (beim Öffnen der Flasche) stark. Bis jedoch die Kohlensäure vollständig ausgeperlt ist vergehen einige Stunden.

4. Das archimedische Prinzip

4.1. Das spezifische Gewicht (spez. Dichte)

Im täglichen Leben wurden bisher die Begriffe Masse und Kraft für die Bezeichnung »einer« Eigenschaft verwendet. Erst durch die Einführung des Newton (siehe III.2.1.) als (Gewichts-)Kraft-Einheit erfolgt hier eine scharfe Trennung. Physikalisch war diese Trennung schon immer vorhanden. Ein Körper besteht aus einer bestimmten Stoffmenge und drückt mit einer bestimmten Gewichtskraft auf seine Unterlage. Die Gewichtskraft, also der Druck auf die Unterlage, wird durch die Erdanziehung bestimmt. Daraus ergibt sich zwangsläufig ein Einfluß der Erdanziehung. Da die Erdanziehung mit der Entfernung von der Erde abnimmt, nimmt bei »gleichbleibender Stoffmenge« die Gewichtskraft (spez. Gewicht) ab. Masse und Dichte eines Stoffes sind auf der Erde und auf dem Mond gleich, nicht aber ihre Gewichtskraft.

Masse:

Masse ist verhältnismäßig der Stoffmenge. Die Einheit der Masse ist das Kilogramm (kg). Definiert ist 1 kg als die Masse, die der Menge von 1 dm³ Wasser bei 4° C entspricht.

Gewichtskraft:

Die Gewichtskraft ist als Sonderfall der Krafteinwirkung das Produkt aus der Masse **m** eines Körpers und der örtlichen Fallbeschleunigung **g**.

$$\text{Gewichtskraft } F_G = m \times g$$

Dichte:

Vergleicht man verschiedene Stoffe hinsichtlich ihres Volumens und ihrer Masse miteinander, so stellt man fest, daß gleicher Rauminhalt verschiedener Masse, gleich Masse verschiedenen Rauminhalt ergibt. Zum Vergleich benötigt man also von jedem Stoff ein bestimmtes Volumen (cm³, dm³, m³), und bezeichnet das Verhältnis Masse zu Rauminhalt als Dichte.

$$\text{Dichte } (\rho) = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} = \frac{g}{cm^3}, \frac{kg}{dm^3}, \frac{t}{m^3}$$

4.2. Das archimedische Prinzip

Warme Luft steigt nach oben, kalte sinkt ab. Im Wasser beobachtet man ähnliches. Wasser, kälter als 4° C sinkt in warmem Wasser ab, warmes Wasser in kaltem steigt dagegen auf.

Man muß aber nicht immer gleichartige Stoffe nehmen. Zum Beispiel steigen Körper aus Öl, Alkohol und Holz im Wasser nach oben und schwimmen. Körper aus Eisen oder Blei und Steine sinken auf den Boden.

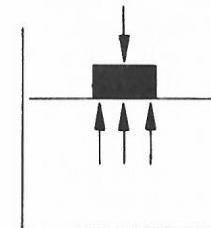
Stadtgas und Wasserstoff steigen in der Luft nach oben, Kohlendioxyd und Ätherdampf sinken ab. Eine mit Luft gefüllte Gummiblase sinkt zu Boden, ebenso wie ein mit Wasser gefüllter Gummiball im Wasser zu Boden sinkt, während er mit Luft gefüllt an der Oberfläche schwimmt.

»Alle flüssigen bzw. gasförmigen Körper sinken in einem anderen flüssigen bzw. gasförmigen Körper ab, wenn der Stoff, aus dem sie bestehen eine größere Dichte hat, als die sie umgebende Materie. Ist die Dichte kleiner, steigen sie nach oben.«

Mit anderen Worten:

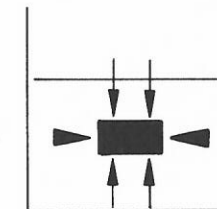
»Ist die Dichte eines Stoffes größer als die der Flüssigkeit, dann sinkt ein Körper aus diesem Stoff in der Flüssigkeit, ist sie gleich, dann schwebt er in beliebiger Tiefe, ist sie schließlich kleiner, dann steigt er an die Oberfläche und schwimmt.«

Wenn ein Körper in einer Flüssigkeit aufsteigt, muß eine Kraft auf ihn einwirken, die größer ist als seine Gewichtskraft (Abb. 24); schwebt er, so ist sie gleich (Abb. 25), sinkt er, so muß sie kleiner sein (Abb. 26).



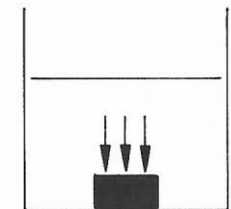
Auftrieb

Abb. 24



Schwebezustand

Abb. 25



Abtrieb

Abb. 26

Ein Beispiel zeigt, daß eine Kraft nötig ist, ein unten verschlossenes Glasrohr in Wasser einzutauchen. Läßt man es los, so schnell es nach oben. Man führt diese Kraft auf den Schweredruck der Flüssigkeit zurück.

Der Schweredruck äußert sich durch eine nach oben gerichtete Kraft (Auftrieb Abb. 24). Das Wasser bedrängt den Körper von unten und von den Seiten. Dieser Auftrieb müßte auch bei einem Körper vorhanden sein, der ganz in die Flüssigkeit eingetaucht wird, denn der Schweredruck ist unten größer als oben. Es bleibt somit ein Übergewicht der unten angreifenden Kraft (Abb. 25). Alle Körper müssen demnach unter Wasser scheinbar leichter sein, da der Auftrieb (Schweredruck) der Gewichtskraft entgegenwirkt.

Der griechische Mathematiker Archimedes fand heraus, daß die Größe des Auftriebs der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeitsmenge entspricht.

Merksatz:

»Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit scheinbar so viel an Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt.«

Rechnungsbeispiel siehe Seite 200 Nr. 8.

4.3. Auf- und Abtrieb beim Tauchen

Ein Liter chemisch reines Süßwasser bei 4° C hat die Dichte von 1,0 = 1 kg Masse. Ist die Dichte eines Körpers kleiner als 1,0 so schwimmt er auf der Wasseroberfläche; ist sie größer, so sinkt der Körper.

Der Mensch hat im Durchschnitt eine Dichte von 1,0. Daher schwebt der Körper des Menschen unmittelbar an der Wasseroberfläche und eine ABC-Taucher kann, ohne Neopreneanzug, relativ leicht abtauchen. Wird jedoch ein Naß- oder Trockentauchanzug angelegt, ändert sich die Dichte des Tauchers auf ca. 0,8. Der Taucher muß zusätzlich Gewichte (Bleigurt) mitnehmen, um seinen Auftrieb zu kompensieren und abtauchen zu können. Ist der Taucher auf 10 m abgetaucht, stimmt plötzlich seine Tarierung nicht mehr. Aufgrund des doppelten Druckes hat sich das Anzugsvolumen auf etwa die Hälfte komprimiert (siehe Abb. 31). Das Verhältnis zwischen Auftriebsvolumen und angelegtem Blei stimmt nicht mehr und der Taucher klebt regelrecht am Grund. Mit zunehmender Tiefe wächst dieses Mißverhältnis und der Taucher bekommt einen immer stärkeren Abtrieb.

Neben dem Auftrieb des Anzuges sind die Gewichtsverhältnisse der einzelnen Tauchgeräte nicht außer acht zu lassen. Ein 2 x 6 l Tauchgerät wiegt einsatzbereit mit gefüllten Flaschen (300 bar) 27,4 kg. Hier spielt nun das Gewicht der komprimierten Luft eine erhebliche Rolle. 1 m³ Luft wiegt 1,29 kg. Beim Tauchgerät mit 2 x 6 l Flaschenvolumen ergibt sich daraus ein Gewicht der Luft von 3,33 m³ x 1,29 kg/m³ = 4,29 kg. Das leere Gerät hat somit einen um 43 N größeren Auftrieb. Der erhöhte Auftrieb um 40 N, bei nahezu leerem Gerät, muß zu Beginn des Tauchens berücksichtigt werden. D. h. der Taucher sollte beim Anlegen der Ausrüstung mindestens 3 kg Blei mehr anlegen und ist somit beim Einstieg ins Wasser etwas überbleit.

Um dieses Auf- und Abtriebsmißverhältnis auszugleichen gibt es Rettungs- und Tarierwesten. Mit dieser ist der Taucher in der Lage, den Volumenschwund des Anzuges durch Einblasen von Luft auszugleichen. Der Taucher tariert sich so aus, daß er am Ende des Tauchganges (mit nahezu leergeatmeten Gerät) an der Wasseroberfläche im hydrostatischen Gleichgewicht ist, dabei ist die Tarierweste völlig leer.

Nicht zu vergessen ist die größer werdende Dichte des eigenen Körpers, bei steigendem Umgebungsdruck. Die Weichteile des menschlichen Körpers werden unter steigendem Umgebungsdruck etwas zusammengedrückt, so daß das ursprüngliche Auftriebsvolumen des Körpers nicht mehr vorhanden ist. Dies beeinflusst den Abtrieb beim Tauchen mit zunehmender Tiefe ebenfalls.

5. Lichtabsorption unter Wasser; Lichtbrechung

Von den Sinnesorganen, mit denen man die Umwelt erfassen kann, hat das Auge die größte Reichweite. Der Bereich des Sichtbaren erstreckt sich bis in die Tiefe des Weltalls, der des Hörbaren ist mit wenigen Kilometern, der des

Riechbaren mit wenigen Metern begrenzt. Der Tastsinn ist durch die Länge der Arme bemessen (Reichweite) und der Geschmacksinn auf die Zunge beschränkt.

Das »Sehen« wird erst durch das Zusammenwirken von Licht und Auge möglich. Das Auge empfängt einen Lichteindruck oder Reiz, der von der Lichtquelle erzeugt wird. Es empfindet hell und dunkel oder verschiedene Helligkeitsgrade und Farben.

Zerlegt man das Sonnenlicht durch ein Glasprisma, so erhält man ein Farbband von Rot nach Blau, ein sogenanntes Spektrum (Abb. 27).

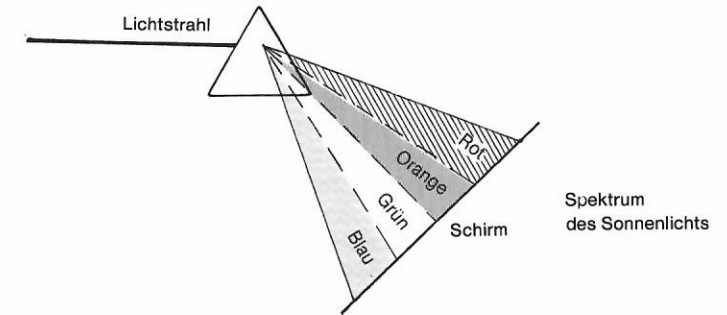


Abb. 27

Weißes Licht ist also nicht einheitlich; es besteht vielmehr aus einem Gemisch verschiedenfarbiger Lichtarten. Physikalische Untersuchungen zeigen, daß Licht als Welle aufgefaßt werden kann. Jede Lichtfarbe ist durch eine bestimmte Wellenlänge und eine dazugehörige Frequenz gekennzeichnet.

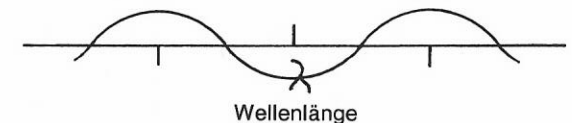


Abb. 28

Als Wellenlänge λ bezeichnet man den in Abb. 28 dargestellten Abstand zwischen zwei Wellenbergen. Die Frequenz gibt die Zahl der Schwingungen pro Sekunde an.

z. B.

Farbe	Wellenlänge λ (nm)
Rot	720
Gelb	600
Blau	460

Ein Teil der Sonnenstrahlung wird beim Durchgang durch das Wasser absorbiert. D. h. die Sonnenenergie erfährt eine Umwandlung. Licht wird dabei vornehmlich in Wärme umgewandelt. Hier wird als erstes der Rotanteil des Sonnenlichtes absorbiert, da es langwellig ist (Abb. 29). Blutet man im klaren

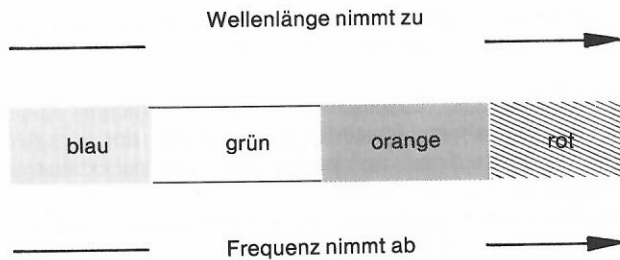
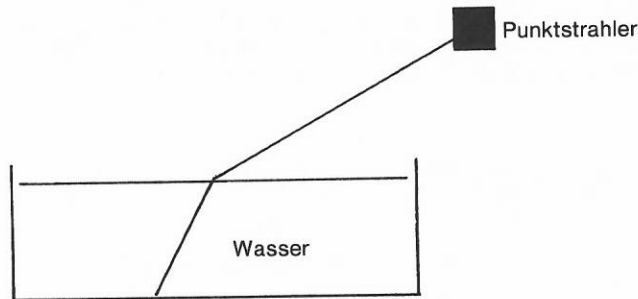


Abb. 29

Wasser in 10 m Tiefe, so ist das Blut nicht mehr rot, sondern dunkelgrau bis schwarz. Hier fehlt bereits dem Licht der Rotanteil, der durch das Wasser absorbiert ist. Mit zunehmender Tiefe werden die einzelnen Fragen des Spektrums (Abb. 29) absorbiert. Ausschlaggebend ist natürlich auch der Verschmutzungsgrad des Wassers. Schwebstoffe im Wasser behindern ebenfalls den Durchgang von Licht.

Weiterhin wird das Licht beim Übergang von Luft ins Wasser gebrochen (Abb. 30). Luft hat die Brechzahl 1, Wasser dagegen 1,33. Auf Grund der größeren Brechzahl von Wasser kommt es beim Tauchen zu einer scheinbaren Vergrößerung der Gegenstände. Die Entfernungsverhältnisse ändern sich scheinbar ebenfalls.



Luft: Brechindex 1 Wasser: Brechindex 1,33

Abb. 30

Gegenstände scheinen ca. $\frac{1}{3}$ größer und $\frac{1}{4}$ näher.

Beispiel:

Tatsächliche Entfernung 2 m, Brechindex 1:1,33

$2 \text{ m} : 1,33 = 1,5 \text{ m}$ scheinbare Entfernung

oder

Tatsächliche Größe 3 m, Brechindex 1:1,33

$3 \text{ m} \times 1,33 = 4 \text{ m}$ scheinbare Größe

6. Schallausbreitung unter Wasser

Der Schall erfährt ebenso wie das Licht unter Wasser eine Veränderung. Das Wasser hat eine fast 800mal größere Dichte als Luft und läßt sich kaum komprimieren. Daher wird der Schall wesentlich besser weitergeleitet und die Schallgeschwindigkeit ist $\frac{1}{2}$ mal so hoch wie in der Luft.

Schallgeschwindigkeit:

330 m/sec. in der Luft;
1450 m/sec. im Wasser.

Durch die hohe Schallgeschwindigkeit ist ein Richtungshören unter Wasser kaum möglich. Die Schallwellen erreichen fast gleichzeitig beide Ohren. Ebenso kann die Entfernung der Geräuschquelle schlecht eingeschätzt werden. Auf Grund der geringen Schallabsorption sind entfernte Schallquellen nicht von nahen zu unterscheiden.

Eine Verständigung zwischen Leinenmann und Taucher ist durch Zurufen nicht möglich. Die Schallwellen werden beim Übergang von der Luft in das Wasser durch die größere Dichte reflektiert und durchdringen die Wasseroberfläche kaum. Umgekehrt trifft es ebenfalls zu, da die Differenz der beiden Schallgeschwindigkeiten zu hoch ist.

Um eine Verständigung zwischen Signalmann und Taucher herzustellen gibt es verschiedene Möglichkeiten, die unter VI.8. Tauchausrüstung/Signalgeräte näher erläutert werden.

7. Wärmeleitfähigkeit von Wasser und Luft

Die Wassertemperatur ist nahezu immer wesentlich niedriger als die Körpertemperatur. Daher entzieht das am Körper vorbeistreichende Wasser dem Taucher ständig Wärme. Die spezifische Wärme von Wasser ist höher als die der Luft. Demnach ist der Wärmeverlust von Wasser zum Körper etwa 6 mal so hoch, wie bei Luft zum Körper. Das Wohlbefinden eines Tauchers hängt unter anderem auch von der Körper- bzw. Wassertemperatur ab. In Tiefen von 10 m ist, durch die Anomalie des Wassers (bei 4°C größte Dichte; sinkt also immer nach unten), über das gesamte Jahr eine niedrige Temperatur anzutreffen. Daher sollte jeder Taucher einen Taucheranzug anlegen. Die Wirkungsweise eines Taucheranzuges wird unter IV.1. beschrieben.

IV. Tauchausrüstung / Gerätekunde

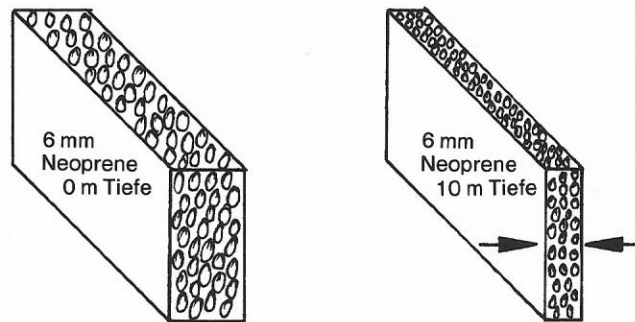
1. Der Anzug

1.1. Neopreneanzug (Naßtauchanzug)

Wie der Name Naßtauchanzug schon sagt, schützt er den Taucher nicht vollständig vor dem Kontakt mit Wasser; durch die Reißverschlüsse und Nähte dringt Wasser in den Anzug ein und verteilt sich als dünner Wasserfilm am ganzen Körper. Dieses Wasser wird erwärmt und bildet eine Grenzschicht zwischen Körper und Anzug. Bei einem gutsitzenden Anzug findet nahezu kein Wasseraustausch statt und das einmal erwärmte Wasser bleibt weitgehend erhalten.

Bei sehr niedrigen Wassertemperaturen kann vor Beginn des Tauchens warmes Wasser in den angelegten Anzug eingefüllt werden.

Beim Tauchanzug spielt das verwendete Neoprene für die Wärmeisolierung eine wesentliche Rolle. Neoprene ist ein kautschukartiges Material, das zum größten Teil aus mikroskopisch kleinen Lufteinschlüssen besteht. Ausschlaggebend ist zum einen die Dicke des Neoprenes und zum anderen die Verschäumungszahl. Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft wird ein hoher Isolationsgrad erreicht. Mit zunehmender Tiefe werden entsprechend dem Boyle-Mariotteschen Gesetz die Lufteinschlüsse, in den ersten 10 m nahezu linear komprimiert (Abb. 31). Damit geht in größeren Tiefen ein beträchtlicher Anteil der Isolierwirkung verloren, und eine Unterkühlung wird durch die erheblich geringere Wassertemperatur beschleunigt.



1/1 Isolierung
1/1 Auftrieb

1/2 Isolierung
1/2 Auftrieb

Abb. 31*

Weiterhin verhindert der Anzug, daß das am Körper vorbeistreichende Wasser dem Organismus Wärme entziehen kann.

Der Anzug sollte eng anliegen, damit ein möglichst geringer Wasseraustausch im Inneren des Anzuges stattfindet. Den Naßanzug gibt es als Ein- und Zweiteiler. Der Einteiler eignet sich aus einsatztaktischen Gründen gut bei Einsätzen zur Rettung von Menschenleben, er kann sehr schnell angelegt werden. Wärmer ist jedoch der Zweiteiler, der sich aus Jacke und Hose zusammensetzt. An der Jacke sollte die Kophaube angesetzt und die Ärmel mit Reißverschlüssen versehen sein. Eine gute Hose reicht bis zur Brust, man nennt sie dann Long John. Die Beinenden sollten ebenfalls mit Reißverschlüssen versehen sein. Grobe Reißverschlüsse sind besser als zu feine, die mit Schmutz verklebt zum Klemmen neigen.

Im Material unterscheidet man Doppelkaschiert, Haihaut und Schildkrötenpanzer. Doppelkaschiert ist das bessere, da hier innen wie außen ein Nylongewebe das Neoprene vor mechanischen Einflüssen schützt und bei kleinen Rissen das kautschukartige Material zusammenhält.

1.2. Haube, Handschuhe, Füßlinge

Die Haube sollte an der Jacke des Anzuges fest angesetzt sein. Reine Kopfhäuben mit zu kurzem Hals- und Nackenansatz sind abzulehnen, da gerade hier beim Abtauchen ein starker Wasseraustausch stattfindet. Beim Tragen einer Kophaube kann es vorkommen, daß der Druckausgleich nicht mehr einwandfrei funktioniert, wenn die Kophaube press am Ohr anliegt und der Umgebungsdruck sich nicht im äußeren Gehörgang fortpflanzen kann. Abhilfe schafft ein kleines, in Ohrhöhe gebohrtes oder gestanztes Loch von ca. 3 mm Durchmesser.

Auf Handschuhe kann aus zwei Gründen nicht verzichtet werden. Erstens benötigt man sie zum Schutz vor Kälte, zweitens vor Verletzungen bei Unterwasserarbeiten. Fünffingerhandschuhe eignen sich zum Arbeiten besser, als die wärmeren Dreifingerhandschuhe.

Um einer Unterkühlung und Verletzung vorzubeugen, trägt der Taucher mit Naßtauchanzug Füßlinge, laut FwDV 8 mit schnittfester Sohle, die mit einer Laufsohle versehen sein sollten.

1.3. Trockentauchanzug

Wie der Name schon sagt, bleibt der Taucher trocken und kommt mit eventuellem Schmutzwasser nicht in Berührung. Der herkömmliche Trockentauchanzug hat einen entscheidenden Nachteil. Die Luftblase im Anzug wird bei zunehmender Tauchtiefe komprimiert, so daß ab einer gewissen Tiefe ein relativer Unter-

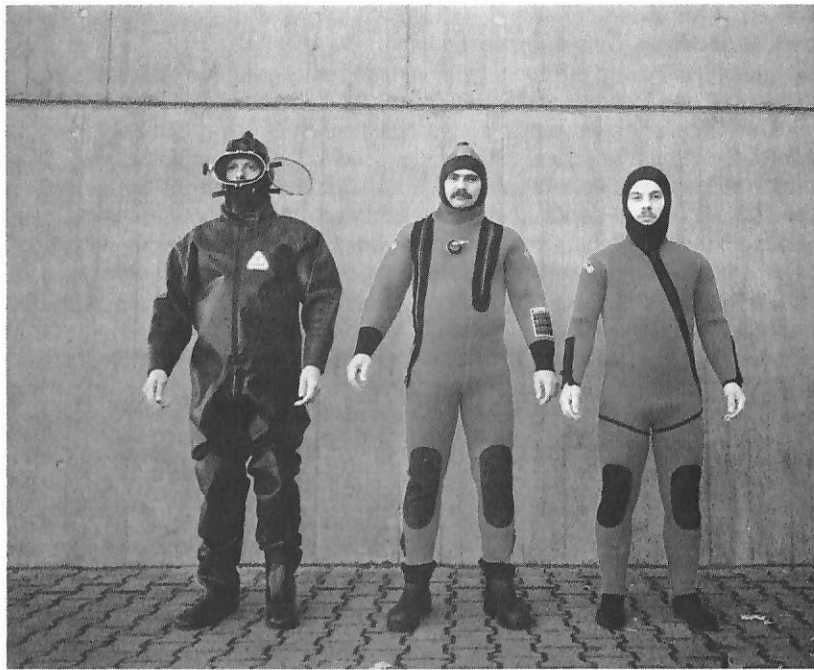


Abb. 32: v. links: Trockentauchanzug, Konstantvolumenanzug, Naßtauchanzug

druck im Anzug entsteht, was ein Barotrauma der Haut (siehe VI.4.3) zur Folge haben kann.

1.4. Konstantvolumenanzug

Der Konstantvolumenanzug ist im Prinzip ebenfalls ein Trockentauchanzug, wobei hier das Volumen des Anzuges immer konstant gehalten werden kann. Wird die Luftblase im Anzug durch den steigenden Umgebungsdruck komprimiert, so kann Luft von dem Tauchgerät über ein Ventil zugeschossen werden. Weiterhin ist es möglich, mit dem Anzug zu tarieren oder ihn als Auftriebsmittel in Notfällen zu benutzen.

2. Tauchgerät

2.1. Anforderungen an ein Tauchgerät für den Feuerwehrdienst

Die Anforderungen an ein Tauchgerät im Feuerwehrdienst legt die DIN 58 640 Teil 10 fest.

Diese Norm enthält die sicherheitstechnischen Festlegungen im Sinne des Gesetzes über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz).

Genaue Bezeichnung der DIN:

DIN 58 640 Teil 10 Sicherheitstechnische Anforderung, Prüfung, Kennzeichnung von autonomen Leichttauchgeräten mit Preßluft (Druckluft) für das Tauchen bei den Feuerwehren.

Sie untergliedert sich in:

1. Anwendungsbereich
2. Zweck
3. Einteilung
4. Bezeichnung
5. Anforderungen
 - 5.1. Allgemeine Anforderungen
 - 5.2. Sicherheitstechnische Anforderungen

In der DIN 58 640 Teil 10 werden folgende Normen zitiert:

- DIN 3174 Teil 10 Atemgeräte, Flaschenventile für Feuerwehren; Außenmaße
 - DIN 3179 Teil 3 Einteilung von Atemgeräten; Tauchgeräte
 - DIN 3183 Teil 3 Anschlüsse für Atemgeräte; Gewindeanschluß für Tauchgeräte
 - DIN 58 640 Teil 2 Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft (Preßluft)
 - DIN 58 641 Teil 1 Bauteile für autonome Leichttauchgeräte; Vollmasken
- Die DIN 58 640 Teil 10 kann bezogen werden bei Beuth Verlag GmbH, Berlin 30.

2.2. Zugelassene Tauchgeräte für das Tauchen im Feuerwehrdienst

Die Firmen Interspiro und Dräger sind die einzigen Gerätehersteller, die die Norm für den Bau und die Prüfung von Behältergeräten mit Druckluft (Preßluft-atmern) für das Tauchen bei den Feuerwehren erfüllen.

Bei Interspiro sind es folgende Gerätetypen:

Typ	Fülldruck	Flaschen	Atemluftvorrat
T 44/200	200 bar	2 × 4 l	1600 l
T 66/200	200 bar	2 × 6 l	2400 l
T 44/300	300 bar	2 × 4 l	2400 l
T 66/300	300 bar	2 × 6 l	3600 l

Bei Dräger sind es folgende Gerätetypen:

Typ	Fülldruck	Flaschen	Atemluftvorrat
PA 38/1600	200 bar	2 × 4 l	1600 l
PA 38/2800	200 bar	2 × 7 l	2800 l
PA 38/3600	300 bar	2 × 6 l	3600 l

Anhand des PA 38–3600 wird der Aufbau und die Wirkungsweise von einem Tauchgerät im folgenden erklärt.

2.3. PA 38

Der Preßluftatmer PA 38 ist ein Leichttauchgerät, das sowohl in der gewerblichen Taucherei als auch bei den Feuerwehren eingesetzt wird. Die gewerbliche Taucherei und ihre Belange sind dabei besonders berücksichtigt. Bei den Feuerwehren sind folgende PA 38 zugelassen:

- PA 38–1600; mit 1600 Ltr. Luftvorrat für kurze Tauchzeiten der Größenklasse A bis 10 m Tauchtiefe
- PA 38–2800; mit 2800 Ltr. Luftvorrat, der Größenklasse B bis 20 m Tauchtiefe
- PA 38–3600; mit 3600 Ltr. Luftvorrat, der Größenklasse B bis 20 m Tauchtiefe

Die Bezeichnungen PA 38–1600, 2800, 3600 bedeuten:

- PA = Preßluftatmer
- 38 = Modell
- 1600 = 2 × 4 Ltr.Flasche mit 200 bar gefüllt (1600 Ltr. Luftvorrat)
- 2800 = 2 × 7 Ltr.Flasche mit 200 bar gefüllt (2800 Ltr. Luftvorrat)
- 3600 = 2 × 6 Ltr.Flasche mit 300 bar gefüllt (3600 Ltr. Luftvorrat)

2.3.1. Verwendungszweck des PA 38

Der Preßluftatmer PA 38 ist als Leichttauchgerät bei Rettungs- und Unterwasseraufgaben eingesetzt. Es ist ein lungenautomatisches Tauchgerät mit offenem Atmungssystem. Die Einatemluft wird dem Gerät lungengesteuert unter dem Druck der jeweiligen Wassertiefe entnommen. Die Ausatemluft entweicht durch ein Ausatemventil ins Wasser.

2.3.1.1. Rettungsaufgaben

Retten von Personen, die am, im und unter Wasser in Not geraten sind. Retten von eingeschlossenen Personen (PKW). Befreien eingeklemmter Taucher.

2.3.1.2. Unterwasseraufgaben

Alle Arbeiten die in den Aufgabenbereich der Feuerwehr fallen und die unter Wasser auszuführen sind.
Suchen und Bergen von Ertrunkenen. Suchen von verlorenen Gegenständen.
Suchen und Bergen von PKW.

2.4. Anforderungen an den PA 38

Um die Rettungs- und Unterwasseraufgaben erfüllen zu können, muß der PA 38 gewisse Voraussetzungen mit sich bringen:

- Unbehindertes freies Atmen
- Bewegungsfreiheit
- Maximale Sicht
- Wirksamer Kälteschutz
- Schnelles Anlegen des Gerätes
- Beweglichkeit unter dem Gerät
- Großer Aktionsradius.

Das sind Voraussetzungen für eine effektive Rettungs- bzw. Unterwasserarbeit.

2.5. Allgemeine Gerätebeschreibungen des PA 38–3600

Die Einatemluft wird von zwei auf dem Rücken getragenen Preßluftflaschen (Fülldruck 300 bar) durch ein lungenautomatisches Ventil entnommen, das selbständig diejenige Luftmenge liefert, die zum Füllen der Lunge erforderlich ist. Die Ausatemluft entweicht durch ein im Gehäuse des lungenautomatischen Ventils angeordnetes Ausatemventil.

Sobald der Druck in den Preßluftflaschen auf etwa 60 bar gesunken ist, steigt der Einatemwiderstand langsam spürbar an und wird erst nach Einschalten eines Reserveluftvorrats wieder normal.

Zur Vermeidung von Luftverlusten muß bei einem Gerät, das zum Tauchen eingesetzt werden soll, das Ausatemventil in nächster Nähe der Membran des Lungenautomaten angeordnet sein. Aus diesem Grund befindet sich das Ausatemventil im Gehäuse des Lungenautomaten.

Der PA 38/3600 ist stets entweder zusammen mit den Vollsichtmasken Modell 60 R, 168 R oder mit einem Konstantvolumenanzug zu verwenden. Durch die schwere Bauweise ist das Gerät nicht schwimmfähig. Es sollte deshalb stets in Verbindung mit Taucheranzügen verwendet werden.



Abb. 33a: Preßluft-Tauchgerät PA 38/3600, Vorderansicht

2.6. Geräteaufbau

Das Gerät besteht aus dem Rückentragegerüst mit Tragebänderung, dem Druckminderer mit Warneinrichtung und Reserveschaltung, der Manometerleitung mit Manometer, dem Lungenautomaten mit Mitteldruckleitung und Kupplung sowie den beiden Vorratsflaschen.

2.6.1. Das Rückentragegerüst

Das Rückentragegerüst aus korrosionsfester Aluminium-Legierung besteht aus einem T-Profil-Rahmen, der alle Geräteteile aufnimmt. Der Rahmen ist im unteren Teil abgewinkelt und spornartig ausgebildet.

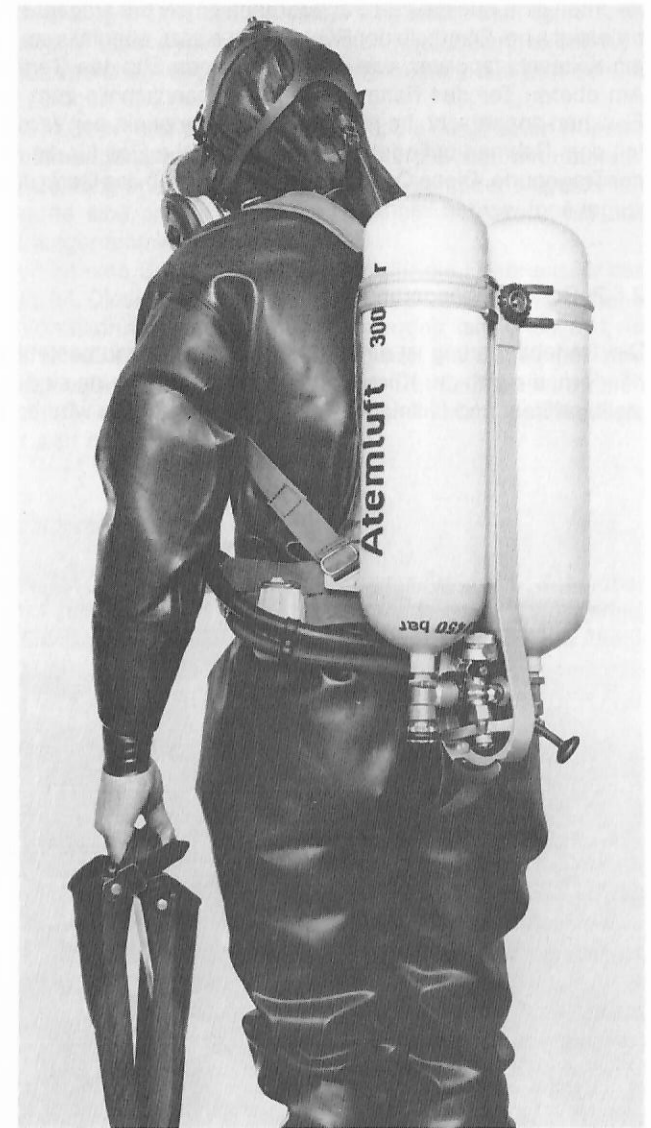


Abb. 33b: Preßluft-Tauchgerät PA 38/3600, Rückansicht

Der Sporn dient als Stoßschutz beim Absetzen des Gerätes, als Abweisschiene zum Schutz gegen Hängenbleiben und als Schutz für den Druckminderer. Unten am Sporn ist ein kräftiges Gummipolster aufgeklopft um Stöße, die beim Absetzen des Gerätes entstehen können, abzufangen. An der am Rücken des Geräteträgers zugekehrten Seite des T-Profil-Rahmens

ist unten eine Rückenstütze angeordnet, an der die Tragegurte und der Leibgurt befestigt sind. Oberhalb der Rückenstütze sitzt, ebenfalls am Rahmen befestigt, ein Kälteschutzpolster, das einen bequemen Sitz des Gerätes garantiert. Am oberen Teil des Rahmens ist eine Spannschelle zum Halten der beiden Flaschen angebracht. Im rückseitigen Knotenpunkt der Vernietung der Schelle mit dem Rahmen befindet sich die bewegliche Öse für die obere Aufhängung der Tragegurte. Diese Öse ist so ausgeführt, daß das Gerät daran getragen oder aufgehängt werden kann.

2.6.2. Die Tragebänderung

Die Tragebänderung ist eine Schnellbänderung und besteht aus breiten Gurtbändern, die sich der Körperform anpassen. Die Gurte sind aus Trevira hergestellt, reißfest und fäulnisfrei. Die Schnellbänderung wird erst bei angelegtem



Abb. 34: Ablesen des Manometers

Gerät durch einfachen Zug auf die richtige Länge eingestellt. Man kann diese Bänderung auch unter Wasser ohne Schwierigkeiten nachstellen, so daß sich stets der beste Sitz erreichen läßt. Die Bänderung besteht aus den beiden Tragegurten, dem Leibgurt und dem Schrittgurt.

Die Tragegurte sind in Ober- und Untergurt eingeteilt, die durch einen Doppelringverschluß zusammengehalten werden. Dadurch ergibt sich eine äußerst einfache Längeneinstellung und eine leicht lösbare Fixierung der eingestellten Länge. Die Tragegurte sind an der Schulteraufgabe so verbreitert, daß das Gerätegewicht gut aufgenommen wird.

Am linken Untergurt ist eine Schlaufe angenäht, an der die Halterung für das Manometer befestigt ist. Diese Halterung ist so ausgeführt, daß das Manometer zum Ablesen des Vorratsdruckes leicht abgeklappt werden kann (Abb. 34). An dem Doppelringverschluß dieses Gurtes befindet sich ein Bügel, der zum Einhängen des Lungenautomaten-Schlauches dient. Der Leibgurt wird durch einen Schnellverschluß, der koppelschloßartig eingehakt wird, geschlossen. Der Verschluß läßt sich durch einen Griff öffnen.

2.6.3. Der Druckminderer

Der Druckminderer ist in dem Sporn des Tragegestells mit 2 Schrauben befestigt. Er besteht aus einem Messinggehäuse, das gleichzeitig das Verbindungsbauteil aller Gerätearmaturen ist. Der Druckminderer ist gegen das Aluminium-Tragegestell isoliert. Außer dem Druckminderer sind im oder am Druckminderer angeordnet:

Die beiden Hochdruckanschlüsse für die Vorratsflaschen, die Widerstandswarnung mit Reserveschaltung, das Sicherheitsventil sowie

die Anschlüsse für die Manometerleitung und die Mitteldruckleitung.

Die Reserveschaltung ist so angeordnet, daß der Schalthebel geschützt in dem Sporn des Profilrahmens des Tragegestells liegt. Die Hochdruckanschlüsse sind mit Gummidichtringen und je einem Handrad mit Griffing versehen. Die Vorratsflaschen werden von Hand angeschraubt. Um ein selbständiges Lösen der Anschlüsse während des Transports zu verhindern, ist an der Befestigung des Druckminderers am Tragegestell eine Rüttelsicherung angebaut.

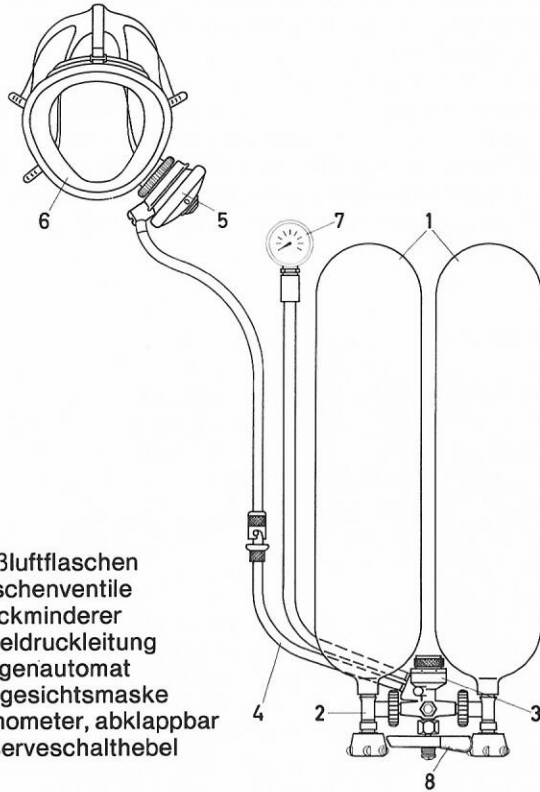
Die mit dem Druckminderer verschraubte flexible Manometerleitung führt unter dem linken Arm hindurch zum linken Tragegurt. Am Ende der Manometerleitung sitzt das staub- und wasserdicht abgekapselte Manometer. Es wird durch eine Gummischutzkappe gegen Stoß und Schlag geschützt.

Die Manometerleitung ist innen mit einer stabilen Bronzedrahtseele versehen, die jede Zugbeanspruchung aufnimmt. Um diese Bronzedrahtseele herum ist in Form einer Wendel die eigentliche Manometerleitung gewickelt. Sie ist damit von Zug- und Biegebeanspruchung entlastet. Um die Leitung vor äußeren Einflüssen zu schützen, ist sie mit einem stabilen Gummischlauch überzogen, in dem eine starke Gewebeeinlage eingebettet ist.

Die Mitteldruckleitung zum Lungenautomaten besteht aus einem stabilen, reißfesten Gummischlauch mit Gewebeeinlage. Sie ist niederdruckseitig mit dem Druckminderer verschraubt und endet in einem Kupplungsstück (Mutterteil).

Um einen unzulässigen Druckanstieg bei einem Funktionsfehler des Druckminderers zu vermeiden, ist die Niederdruckseite des Druckminderers mit einem Sicherheitsventil versehen, das beim Erreichen des Sicherheitsdruckes automatisch abbläst (9–14 bar).

Der Druckminderer selbst ist als Bolzendruckminderer ausgeführt. Er ist unempfindlich gegen Verschmutzung.



- 1 Preßluftflaschen
- 2 Flaschenventile
- 3 Druckminderer
- 4 Mitteldruckleitung
- 5 Lungenautomat
- 6 Vollgesichtsmaske
- 7 Manometer, abklappbar
- 8 Reserveschalthebel

Abb. 35: Preßluft-Leichttauchgerät PA 38/3600, schematisch

2.6.4. Der Lungenautomat

Der Lungenautomat ist als stabile Membrandose ausgebildet, die eine Membran und einen durch die Membran betätigten Kipphebel aus nichtrostendem Stahl enthält. Diese Membrandose ist am Boden mit einem Anschlußstutzen und einer Überwurfschraube mit dem für Atemschutz genormten Gewinde Rd 40 × 1/4" zum direkten Anschluß an die Maske versehen. Zwischen dem Anschlußstutzen und dem Lungenautomatenraum unterhalb der Membran sind das Ausatemventil und ein Rückschlagventil, beide leicht auswechselbar, angeordnet. Die Ausatemschlitze in der Membrandose sind abgedeckt. Der Deckel der Membrandose schützt die Membran vor Beschädigungen. Mit Hilfe seiner

anpressenden Verriegelung dient er zum Halten und Abdichten der Membran auf der Membrandose. Über den Deckel und den Verschlußrand ist eine Gummikappe gezogen, die mit einem Druckknopf zur manuellen Betätigung des Lungenautomaten ausgerüstet ist. Dieser Gummiüberzug dient besonders am Rand der Membrandose als Stoßschutz. Vom Lungenautomaten führt ein flexibler, druckfester Schlauch zum Druckminderer des Gerätes. Damit der Lungenautomat vom Gerät leicht gelöst werden kann, ist der Schlauch mit einer Bajonett-Kupplung ausgerüstet; dadurch kann an dieser Stelle auch ein Luftführungsschlauch mit einem speziellen Umschaltventil angeschlossen werden.

2.6.5. Die Preßluftflaschen

Die beiden Preßluftflaschen aus legiertem Stahl haben einen Rauminhalt von 6 Liter und sind für einen Gebrauchsdruck von 300 bar zugelassen. Theoretisch ergibt sich daraus ein Atemluftvorrat von $2 \times 6 \times 300 = 3600$ Liter (Tatsächlicher Vorrat siehe 2.11.). Die Flaschen haben einen Durchmesser von 140 mm und sind einschließlich Flaschenventil ca. 620 mm lang. Die Flaschen sind unter der sichtbaren Deckfarbe mit einem Zink-Spezialanstrich versehen; dadurch sind sie weitgehend gegen Korrosion geschützt. Punktförmige Korrosion (Lochfraß) und Flächenkorrosion können unter Umständen zum Gefäßzerknall führen. Daher müssen Tauchflaschen aus Stahl alle zwei Jahre zum TÜV. Der

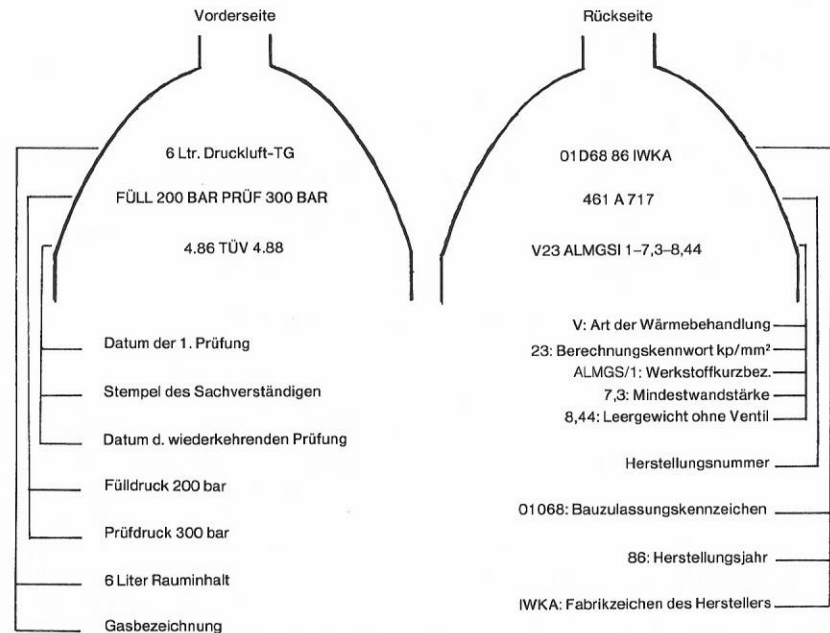


Abb. 36

Prüfdruck der Flaschen beim TÜV liegt immer 50% über dem Gebrauchsdruck. D. h., daß diese Flaschen mit Wasser auf 450 bar abgedrückt werden. Die Kennfarbe von nichtbrennbaren Gasen ist gemäß der deutschen Druckgasverordnung »Grau«. Die Preßluftflaschen müssen jedoch laut FwDV 8 einen gelben Anstrich haben, wobei die Flaschenschulter grau bleibt. In der Flaschenschulter müssen die Daten der Abb. 36 eingeschlagen sein.

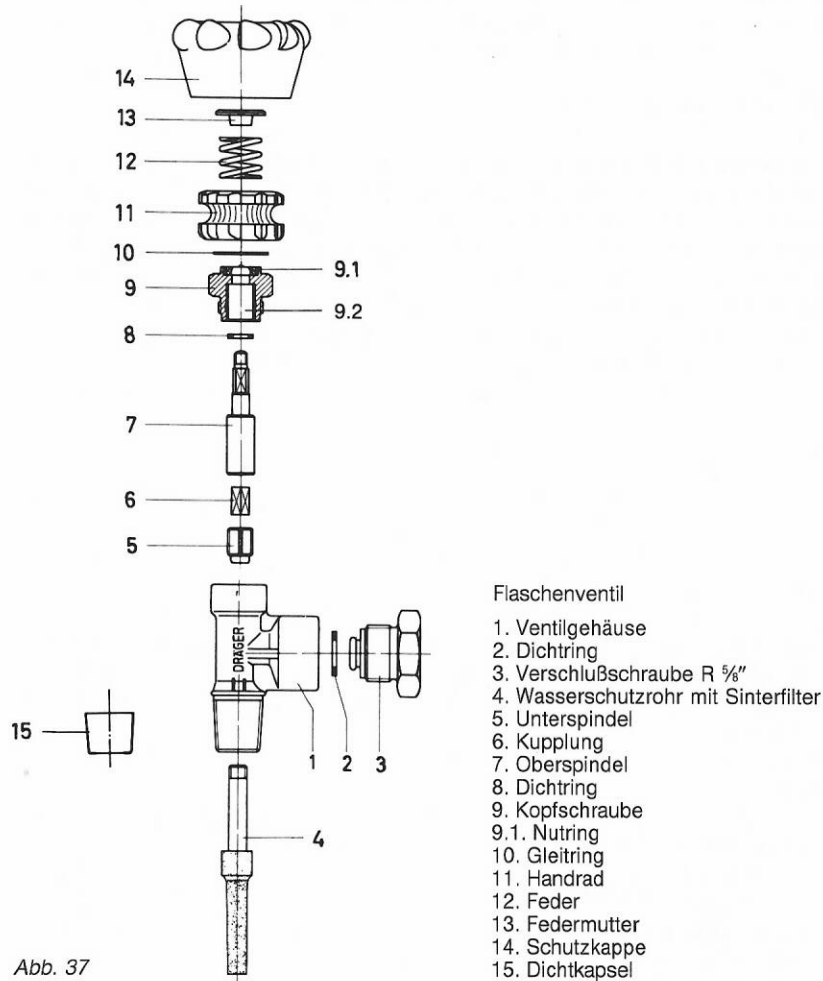


Abb. 37

2.6.6. Die Flaschenventile

Die Flaschenventile (Abb. 37) sind aus Messing hergestellt und mit einer stopfbuchsenlosen Spindelführung versehen. Sie bestehen aus der Unterspin-

del mit Dichtsitz, der Oberspindel mit Abdichtung nach oben, der Kopfschraube des Handrades, der Druckfeder, der Handradmutter und der Schutzkappe.

2.7. Wirkungsweise des PA 38/3600

Die beiden im Tragegestell ruhenden Preßluftflaschen 1 sind mit 300 bar Preßluft gefüllt; siehe Abb. 35.

Beim Öffnen der Flaschenventile 2 strömt die Preßluft über die beiden Hochdruckanschlüsse zum Druckminderer 3. Vom Hochdruckteil geht die Manometerleitung zum Manometer 7 ab. Der Hochdruckmanometer zeigt den jeweiligen Druck der Preßluftflaschen an. Der Druckminderer entspannt den Hochdruck auf etwa 6,5 bar im Mittel. Unter diesem Druck gelangt die Preßluft durch die Mitteldruckleitung 4, die unter dem linken Arm verläuft, zum Lungenautomaten 5. Der Lungenautomat wird unmittelbar an die Maske 6 geschraubt. Der Reserveschalthebel 8 dient zum Umstellen auf den Reserveluftvorrat, wenn der Luftvorrat zur Neige geht.

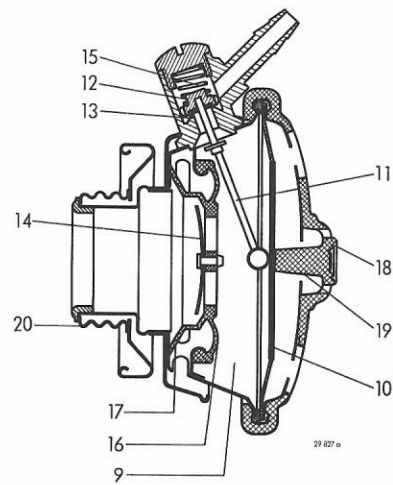
2.7.1. Wirkungsweise des Lungenautomaten

Beim Einatmen entsteht in der Maske und in der Kammer 9 des Lungenautomaten (Abb. 38) ein geringer Unterdruck, unter dessen Einwirkung sich die Membran 10 aus gummiertem Gewebe nach links durchwölbt. Sie nimmt dabei den Hebel 11 mit, an dessen Ende der Ventilteller 12 befestigt ist. Durch die Bewegung des Hebels 11 wird der Ventilteller 12, der sich auf den Rand des Ventil Sitzes 13 stützt, derart gekippt, daß zwischen dem Ventil Sitz und dem Ventilteller ein Spalt entsteht. Nun strömt Preßluft – sich entspannend – in die Kammer 9 des Lungenautomaten und von hier durch das geöffnete Rückschlagventil 14 in die Maske.

Am Ende des Einatemzuges staut sich die Luft in der Kammer 9 des Lungenautomaten. Die Membran 10 geht in die Ausgangslage zurück, und das Ventil 12/13 schließt sich unter der Wirkung der Feder 15 und des Preßluftdruckes. Der Ventilteller 12 wird auf den Ventil Sitz 13 gedrückt, die Zufuhr von Atemluft in die Maske hört damit auf.

Beim Ausatmen schließt sich das Rückschlagventil 14. Durch den entstehenden Überdruck wird somit die Membran 16 durchgewölbt und die Ausatemventilglocke 17 angehoben, so daß die Ausatemluft, ohne erst wieder in die Lungenautomatenkammer 9 zu gelangen, durch die am Umfang angebrachten Schlitze abströmen kann.

Durch den in der Gummiabdeckung des Lungenautomaten eingearbeiteten Knopf 18 kann zwecks Druckentlastung über den Stößel 19 das Ventil 12/13 direkt betätigt werden.



- 9 Kammer des Lungenautomaten
- 10 Membran
- 11 Hebel
- 12 Ventilteller
- 13 Ventil Sitz
- 14 Rückschlagventil
- 15 Feder
- 16 Membran
- 17 Ausatemventilglocke
- 18 Knopf
- 19 Stößel
- 20 Rundgewindeanschluß

Abb. 38: Schnitt durch den Lungenautomaten

2.7.2. Wirkungsweise des Lungenautomaten beim Tauchen

Der Lungenautomat eines Preßlufttauchgerätes hat nicht nur die Aufgabe dem Geräteträger stets die für die Atmung erforderliche Luftmenge zu liefern, sondern er muß unter Wasser auch für den notwendigen Druckausgleich sorgen. Bekanntlich nimmt der Druck je 10 m Tiefe um 1 bar zu. Damit eine Atmung bei diesen Drücken möglich wird, muß in den Atemwegen des Tauchers und auch im Maskenraum sowie in allen mit diesen Hohlräumen in Verbindung stehenden weiteren Hohlräumen ein entsprechender Gegendruck gebildet werden. Dieser Gegendruck wird durch den Wasserdruck mit Hilfe des Lungenautomaten erzeugt. In dem Deckel des Lungenautomaten sind Öffnungen vorhanden, durch die das Wasser Zutritt zur Membran 10 hat (Abb. 38). Der Druck bzw. das Gewicht der Wassersäule vom Lungenautomaten bis zur Wasseroberfläche überträgt sich somit auf die Membran, bewegt diese aus der dargestellten Lage nach links und bewirkt über den Kipphebel 11 ein Öffnen des Ventils 12/13 in gleicher Art wie beim Beatmen des Gerätes. Das Ventil 12/13 öffnet sich dabei stets so lange, bis in der Lungenautomatenkammer 9 und den angeschlossenen Räumen ein dem rechts der Membran 10 herrschenden Wasserdruck gleicher Gegendruck gebildet ist.

Diese Funktion des Lungenautomaten läßt klar werden, weshalb das Ausatemventil sich in der Nähe der Membran des Lungenautomaten befinden muß. Befände sich das Ausatemventil bei irgendeiner Tauchlage höher als der Lungenautomat, so würde es mit einem geringeren Druck durch das Wasser belastet sein, als die Membran des Lungenautomaten. Das lungenautomatische Ventil würde sich somit, wie vorher beschrieben, öffnen, um den Druckausgleich herbeizuführen. Das dann von außen mit einem geringeren Druck als von innen belastete Ausatemventil würde sich öffnen, und es würde fortlaufend Luft

abströmen. Ein erheblicher Luftverlust und damit eine Tauchzeitverkürzung würde eintreten; deshalb muß sich das Ausatemventil stets etwa in gleicher Höhe mit dem Lungenautomaten befinden. Wenn dieses in allen Tauchlagen der Fall sein soll, so muß das Ausatemventil am vorteilhaftesten im Lungenautomaten angeordnet sein.

2.7.3. Druckminderer / Wirkungsweise

Der hebellose Druckminderer, der den Flaschendruck auf einen Überdruck von etwa 6,5 bar entspannt, ist in der Abb. 39 schematisch dargestellt. Der Druckminderer ist durch die Handanschlüsse 21 mit den Flaschenventilen verschraubt und durch die Dichtringe 22 abgedichtet. Die Hochdruck-Preßluft strömt durch die in den Anschlußstutzen sitzenden Siebpatrone 24, durch die Bohrung 25 und 38, über das Drosselventil 40/41, weiter durch die Bohrung 36 zum Ventilkegel 27 und dessen Dichtung 28. Da ohne Druckbelastung der Ventilkegel 27 über das Druckstück 30 durch die Kraft der Feder 32 von der Dichtung 28 abgehoben wird, kann die einströmende Preßluft zunächst in den Raum unterhalb der Membran 29 einströmen. Sobald in diesem Raum der Überdruck auf etwa 6,5 bar angestiegen ist, wird über die Membran 29 und den Membranteller 31 eine Gegenkraft ausgeübt, wodurch die Feder 32 soweit

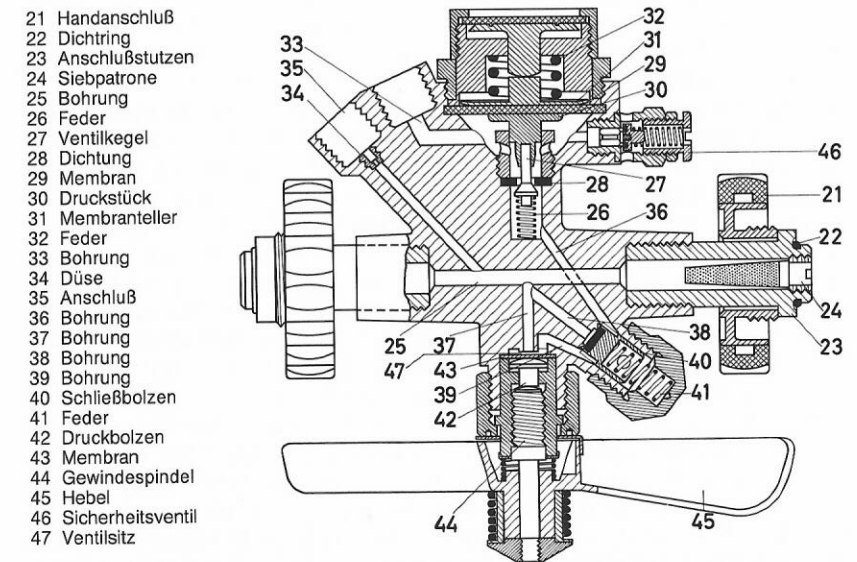


Abb. 39: Vereinfachter Schnitt durch den Druckminderer mit Widerstandswarnung und Reserveschaltventil

zusammengedrückt wird, daß der Ventilkegel 27 unter dem Einfluß der Feder 26 auf die Dichtung 28 drückt und gegen den weiteren Zufluß von Preßluft abdichtet. Der Raum unterhalb der Membran 29 steht über die Bohrung 33 mit dem Lungenautomaten des Gerätes in Verbindung. Wenn durch Beatmung des Lungenautomaten aus diesem Raum Luft entnommen wird, sinkt der Druck etwas und die Feder 32 streckt sich, wodurch das Ventil 27/28 wieder geöffnet wird und Preßluft nachströmt. Dieser Vorgang wiederholt sich jedesmal, wenn der Lungenautomat anspringt. Der Arbeitsdruck unter der Membran 29 bleibt nahezu konstant.

Mit dem Raum unterhalb der Membran 29 steht das Sicherheitsventil 46 in Verbindung. Bei einer Störung im Druckminderventil und einem unzulässigen Druckanstieg (9–14 bar) im Druckminderraum unterhalb der Membran 29 öffnet sich das Sicherheitsventil 46 automatisch (selbsttätig), und die Luft strömt ab. Die von der Bohrung 25 nach links aufwärts gerichtete Bohrung leitet die Preßluft durch eine Düse 34 zum Anschluß 35 weiter zum Druckmesser des Gerätes. Das Preßluft-Tauchgerät PA 38/3600 ist mit einer Widerstandswarnung und einer Reserveschaltung versehen.

Das Drosselventil 40/41 sperrt mit seinem Schließbolzen 40 den Zugang der Preßluft über die Bohrung 38 und 36 zum Druckminderventil 27/28 ab. Da jedoch die Feder 41 nur so stark ist, daß sie bis zu einem auf den Schließbolzen wirkenden Druck von 60 bar das Gleichgewicht hält, wird das Ventil 40/41 bei höherem Vordruck durch den Druck geöffnet, und die Preßluft kann zum Druckminderer und zum Lungenautomaten gelangen. Sobald der Vorratsdruck auf 60 bar abgesunken ist, beginnt eine Drosselung der Luftzufuhr, da die Kraft der Feder 41 die auf die Ventilfläche wirkende, durch Druck mal Fläche gebildete Kraft überwiegt. Die Drosselung wird um so wirksamer, je weiter der Vorratsdruck unter 60 bar absinkt. Der Geräteträger verspürt dadurch einen langsam steigenden Atemwiderstand und wird somit auf den zur Neige gehenden Luftvorrat hingewiesen.

Im unteren Teil der Abbildung 38 ist das Reserveschaltventil dargestellt. Sobald das Drosselventil 40/41 bei Erreichen des Warndruckes von 60 bar die Luftzufuhr über die Bohrungen 38 und 36 sperrt, wird der Hebel 45 des Reserveschaltventils umgelegt; dadurch bewegt sich die Gewindespindel 44 nach unten, der Druckbolzen 42 folgt dieser Bewegung, da die die Bohrung 37 verschließende Membran 43 jetzt durch den Restdruck vom Ventilsitz 47 abgehoben und in die dargestellte Lage gedrückt wird. Der restliche Luftvorrat kann nunmehr bei geschlossenem Drosselventil 40/41 über die Bohrungen 37 und 39 zum Drosselventilgehäuse, am Schließbolzen 40 vorbei, weiter durch die Bohrung 36, frei zum Druckminderventil 27/28 strömen.

Der Hebel 45 des Reserveschaltventils ist im Gerät so angeordnet, daß er in der Normalstellung, d. h. in der Anfangsstellung, wenn das Ventil 43/47 geschlossen ist, verdeckt und eingerastet in der Halterfeder unter dem T-Profil des Tragegestellsporns steht. Außerdem ist er am Anfang der Gerätebenutzung schwer zu bewegen, da die Membran 43 mit dem vollen Preßluftdruck belastet wird, so daß die Ventilgewindespindel 44 gegen die Gewindeflanken der Gewindespindel Mutter gepreßt wird; dadurch wird ein unbeabsichtigtes Umschalten vermieden. Im umgelegten Zustand, d. h. in der Schaltstellung für Benutzung der Luftreserve, liegt der Hebel 45 am rechten und linken Handrad der Fla-

schenventile an (Abb. 40). Diese am Anfang der Gerätebenutzung verkehrte Stellung wird also beim Öffnen der Flaschenventile bemerkt. Ferner ist der Hebel 45 innen rot ausgelegt. Diese rote Seite des Hebels ist nur bei umgelegtem Hebel sichtbar (Abb. 40).

2.8. Technische Daten

Abmessungen des Gerätes:

Länge: ca. 670 mm

Breite: ca. 310 mm

Höhe: ca. 165 mm

Gewicht des einsatzfertigen Gerätes (ohne Maske): ca. 27,4 kg

Gewicht einer auf 300 bar gefüllten Flasche: ca. 11,0 kg

Luftvorrat bei gefüllten Flaschen: 3330 l

2.9. Betrieb des Gerätes

2.9.1. Fertigmachen zum Gebrauch

Gerät mit Kälteschutzpolster nach unten hinlegen. Zwei gefüllte Preßluftflaschen von unten in die Doppelschelle einschieben. Die Flaschenventile auf die Anschlußstutzen setzen und die Anschlußschrauben mit der Hand anziehen. Auf guten Zustand der Dichtringe achten. Rüttelsicherung einhängen und die Spanneinrichtung an der Schelle des Tragegestells fest anziehen. Reserveschalthebel in die Feder des Tragegestells einrasten.

2.9.2. Kurzprüfung des Gerätes auf Einsatzbereitschaft

2.9.2.1. Einstellung der Reserveschaltung

Vor dem Öffnen der Flaschenventile Reserveschalthebel nach oben stellen, so daß er eingerastet in der Haltefeder unter dem T-Profil des Tragegestellsporns steht. Wurden die Ventile vorher geöffnet, so läßt sich der Hebel schwer bewegen. In diesem Fall Ventile wieder schließen, Gerät durch Druck auf den Entlüftungsknopf des Lungenautomaten vom Druck entlasten und dann den Reserveschalthebel in die richtige Stellung bringen.

2.9.2.2. Vorratsdruck der Flaschen

Ein Flaschenventil öffnen und wieder schließen. Vorratsdruck am Manometer ablesen. Kurz den Entlüftungsknopf des Lungenautomaten drücken und das

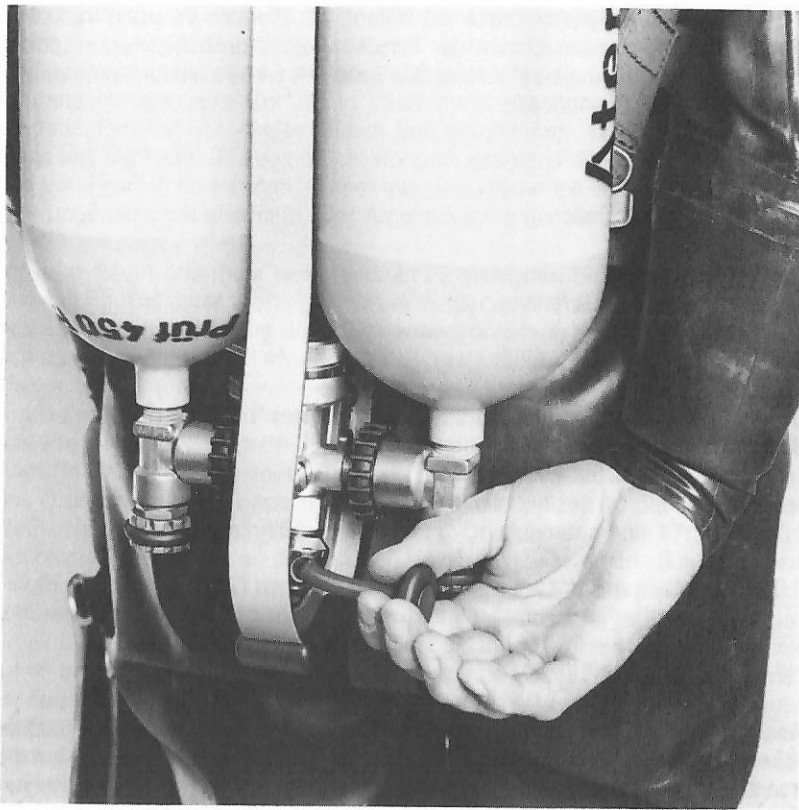


Abb. 40a: Umlegen der Reserveschaltung: Gummi-Knebelgriff ziehen

Gerät zum Teil entleeren. Das andere Flaschenventil öffnen und Druck ablesen. In beiden Fällen soll der Druck etwa 300 bar betragen. Ist eine Flasche nicht ganz auf 300 bar gefüllt, so strömt beim Öffnen beider Flaschenventile die Preßluft solange über, bis in beiden Flaschen der gleiche Druck herrscht. Der Vorratsdruck muß mindestens 270 bar, kann also 10% weniger als der Gebrauchsdruck von 300 bar, sein.

2.9.2.3. Hochdruck-Dichtprüfung

Flaschenventile wieder schließen und das Manometer beobachten. Der angezeigte Vorratsdruck darf innerhalb von einer Minute nicht sinken.

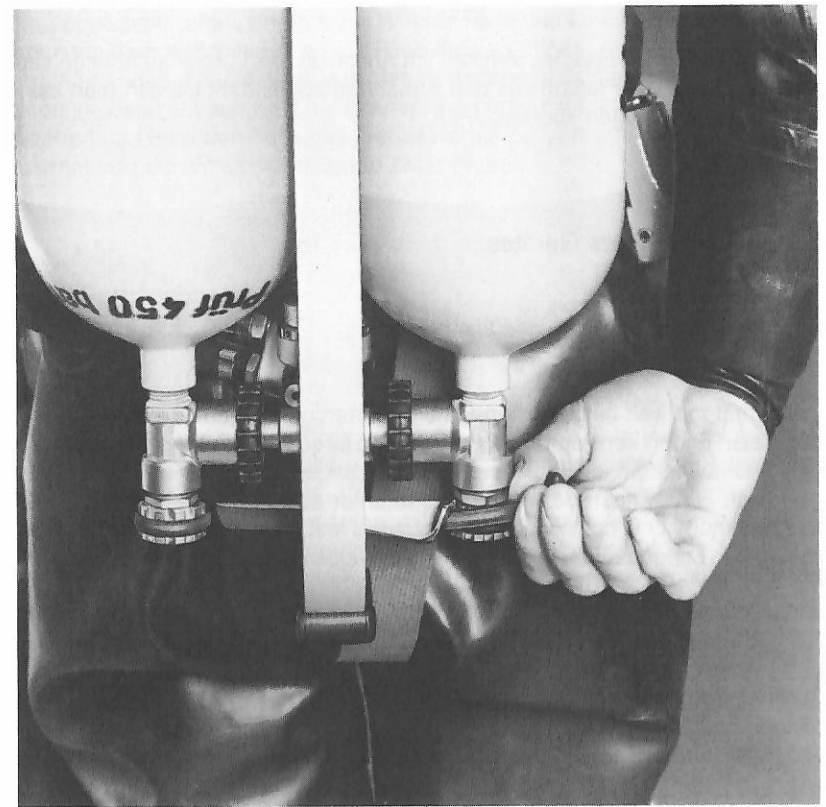


Abb. 40b: Umgelegte Reserveschaltung

2.9.2.4. Prüfung des Lungenautomaten und der Widerstandswarnung

Das von der Hochdruckdichtprüfung noch volle Gerät über den Lungenautomaten anatmen. Öffnungswiderstand 25 mm Wassersäule. Nach dieser Prüfung ist noch genügend Luft im Gerät, um die Widerstandswarnung zu prüfen (mindestens 100 bar). Wenn nicht, ein Flaschenventil nochmals kurz öffnen und schließen.

Nun wird am Lungenautomaten vorsichtig angesaugt oder der Entlüftungsknopf vorsichtig betätigt und dabei das Manometer beobachtet. Bei spätestens 50 bar muß der Zeiger des Manometers stehenbleiben, bzw. er darf nur noch langsam abfallen. Reserveschalthebel umlegen, dabei darf der Zeiger bis auf »0« zurückgehen; bei weiterem Absaugen bzw. Betätigen des Druckknopfes muß der Zeiger bis zum Anschlag (»0«) zurückgehen. Reserveschalthebel wieder in die Ausgangsstellung bringen, d. h. in die Feder des Tragegestells einrasten.

2.9.2.5. Unterdruck-Dichtprüfung

Bei geschlossenen Flaschenventilen am Anschluß des Lungenautomaten saugen. Nachdem die Preßluft aus den Armaturen abgeströmt ist, darf man keine Luft mehr nachsaugen können.

2.10. Gebrauch des Gerätes

2.10.1. Richtiges Anlegen des Gerätes

Das Gerät mit weit eingestellten Schultergurten umhängen und durch Zug an den freien Enden hochziehen, bis es fest und bequem sitzt. Leibgurt schließen, dabei darauf achten, daß der Schlauch des Lungenautomaten unter dem Leibgurt liegt. Freie Enden der Schultergurte unter den Leibgurt stecken. Lungenautomat mit dem Anschluß der Maske fest verschrauben. Der Druckanschluß des Lungenautomaten muß abwärts weisen. Die Vollgesichtsmaske wird mit weit eingestellter Bänderung über den Kopf gestreift. Gegebenenfalls muß das Maskenfenster vor der Benutzung mit Klarsichtmittel eingerieben werden. Bei noch nicht geöffnetem Flaschenventil versuchen, Luft zu holen; wenn keine Luft zuströmt, sind Maske und Lungenautomat dicht. Die Maske ist ventillos. Bläst man während des Tauchens Luft am Maskenrand ab, so muß die Maskenbänderung nachgestellt werden.

2.10.2. Nochmalige Gerätekontrolle

Beide Flaschenventile mit etwa $1\frac{1}{2}$ Umdrehungen der Handräder öffnen. Beim Öffnen der Flaschenventile darf der Reserveschalthebel nicht stören, andernfalls ist die Reserve nicht richtig eingestellt. Manometer ablesen (Abb. 34). Der Druck muß mindestens 270 bar betragen. Richtige Lage der Manometerklammer prüfen. Durch zwei tiefe Atemzüge überprüfen, ob der Lungenautomat genügend Luft spendet.

2.10.3. Ablegen des Gerätes

Nach Gebrauch Vollgesichtsmaske mit angeschraubtem Lungenautomaten vom Kopf abziehen, Lungenautomatenschlauch in die Klammer am linken Schultergurt einhängen. Durch Hochdrücken der oberen Öse mit dem Daumen Schultergurte lockern und Gerät ablegen. Nicht abwerfen! Das Manometer kann keine starken Stöße vertragen. Unmittelbar nach Ablegen des Atemanschlusses des Preßluftatmers sind die Flaschenventile zu schließen. Dadurch verbleibt ein Restdruck in den Flaschen.

Die Druckgasflaschen sind bis zur Wiederfüllung verschlossen zu lagern und erst nach dem Anschließen an die Füllanlage zu öffnen. Auf diese Weise wird verhindert, daß Feuchtigkeit aus der Atmosphäre in die Druckgasflaschen eindringt. Jetzt auf den Entlüftungsknopf am Lungenautomaten drücken, damit die Preßluft führenden Teile des Gerätes drucklos gemacht werden. Lungenautomat von der Vollgesichtsmaske abschrauben.

2.11. Gebrauchszeit

2.11.1. Luftvorrat

Entscheidend für die Gebrauchszeit ist der Luftvorrat. Er beträgt beim PA 38/3600 theoretisch 3600 l (Fülldruck \times Flaschenvolumen). Beim Fülldruck von 300 bar muß jedoch für Luft, als nicht ideales Gas, ein Korrekturfaktor (pv-Abweichung) berücksichtigt werden, wodurch der wirkliche Luftvorrat im vorliegenden Fall um ca. 8% kleiner ist. Tatsächlicher Luftvorrat 3330 l. Die zur Verfügung stehende Verbrauchsluft läßt sich ermitteln durch Abziehen der Reserveluft.

Gesamtluftvorrat:	3330 l
Reserveluft:	– 720 l
Verbrauchsluft:	2610 l

2.11.2. Gebrauchszeit des Gerätes beim Tauchen

Unabhängig von dem sehr unterschiedlichen Luftverbrauch durch die verschiedenen Leistungen, steigt der Luftverbrauch noch in starkem Maße mit der Zunahme der Tauchtiefe. Da der Wasserdruck je 10 m Tiefe um etwa 1 bar zunimmt und der Lungenautomat stets den Druckausgleich herbeiführt, wird dem Taucher die Atemluft immer unter dem der Tauchtiefe entsprechenden Druck zugeführt. In 10 m Tiefe wird somit unter einem Überdruck von 1 bar eingeatmet. Da das zum Füllen der Lunge erforderliche Atemvolumen unabhängig von der Tauchtiefe gleich bleibt, wird in 10 m Tiefe die doppelte, in 20 m Tiefe die dreifache Luftmenge verbraucht. Beträgt z. B. das Volumen eines Atemzuges 2 l, so werden in 10 m Tiefe, d. h. unter einem Druck von 2 bar absolut $2\text{ l} \times 2 = 4\text{ l}$, in 20 m Tiefe (= 3 bar absolut) $2\text{ l} \times 3 = 6\text{ l}$ Luft, stets bezogen auf atmosphärischen Druck, verbraucht. Aus Abb. 41 sind für 3 verschiedene Luftumsätze die Gebrauchszeiten in Abhängigkeit von der Tauchtiefe bis 40 m ablesbar. Auf der Waagerechten ist die Tauchtiefe in m, auf der Senkrechten die Tauchzeit in Minuten eingetragen. Die Kurven a), b) und c) entsprechen den nachstehenden Luftumsätzen:

- 30 l/min (leichte Arbeit)
- 40 l/min (mittelschwere Arbeit)
- 50 l/min (schwere Arbeit)

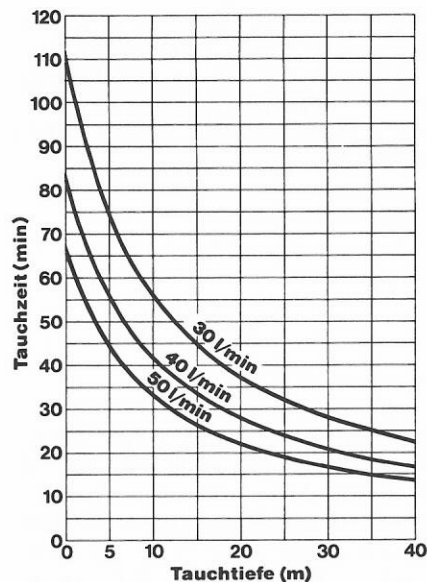


Abb. 41: Tauchzeit für das Preßluft-Leichttauchgerät, abhängig von Luftverbrauch und Tauchtiefe

Die Anfangspunkte der nach rechts abfallenden Verbrauchskurve über der Tauchtiefe »0 Meter« lassen die Gerätegebrauchszeiten bei atmosphärischem Druck oder beim Tauchen unmittelbar unter der Wasseroberfläche erkennen:

- a) ca. 111 min bei leichter Arbeit
- b) ca. 83 min bei mittelschwerer Arbeit

c) ca. 67 min bei schwerer Arbeit. Die Schnittpunkte der senkrechten Linie über der Tauchtiefe »15 Meter« mit den Verbrauchskurven ergeben, auf der Senkrechten abgelesen, die entsprechenden Tauchzeiten mit ca. 45, 33 und 27 Minuten.

Es ist unbedingt darauf zu achten, daß mit der Verkürzung der Gebrauchszeit infolge der Zunahme der Tauchtiefe auch die Verbrauchszeit des Reserveluftvorrates verkürzt wird. Daher stets auftauchen, wenn »Reserve« umgeschaltet wurde.

2.12. Wartung

2.12.1. Reinigung des Gerätes nach Gebrauch

Das Gerät soll nach Möglichkeit nach dem Tauchen sofort mit Süßwasser abgespült werden. Die Preßluftflaschen abschrauben und zum Füllen geben. Der Fülldruck soll bei Zimmertemperatur 300 bar betragen. Falls das Gerät nicht druckentlastet wurde, sind die Ventile zu schließen und die Armaturen durch Druck auf den Entlüftungsknopf am Lungenautomaten drucklos zu machen; dann lassen sich die Flaschen leicht abschrauben.

Der Lungenautomat wird vom Gerät abgekoppelt, desinfiziert und mit klarem, lauwarmem Wasser kräftig gespült und an einem nicht zu warmen, vor direktem Sonnenlicht geschützten Ort zum Trocknen aufgehängt.

Nach der Reinigung wird das Gerät wieder zusammengebaut. Stets auf Vorhandensein und guten Zustand der Dichtringe achten!

2.12.2. Füllen der Preßluftflaschen

Bei der Wiederfüllung ist darauf zu achten, daß nur ausreichend getrocknete Luft mit einem Sauerstoffanteil von mindestens 20% und ohne atemschädliche Bestandteile eingefüllt wird, wie es in DIN 3188 (Januar 1974) als Anforderung für die abzufüllende Druckluft (Preßluft) für Atemgeräte festgelegt ist.

Danach soll die abzufüllende Druckluft (Preßluft) u. a. so getrocknet werden, daß der Wassergehalt der auf 1 bar entspannten Druckluft für 200-bar-Flaschen nicht mehr als 50 mg/m³ und für 300-bar-Flaschen nicht mehr als 35 mg/m³ beträgt.

Zu hoher Wassergehalt – insbesondere flüssiges Wasser in der Druckgasflasche – hat zur Folge:

1. Es kann eine derartige Korrosion im Flascheninneren auftreten, daß die Sicherheit der Druckgasflasche vor dem Ablauf der Prüffrist zur Wiederholungsprüfung in Frage gestellt sein kann. Punktförmige Korrosion (»Lochfraß«) kann während der Benutzung zu plötzlichen Undichtigkeiten, Flächenkorrosionen und unter ungünstigen Umständen zum Bersten führen.
2. Es kann sich beim Gebrauch des Gerätes in den Hochdruckwegen des Druckminderers Wasser niederschlagen und ansammeln. Sinkt die Temperatur des Druckminderergehäuses bei niedrigen Umgebungstemperaturen unter den Gefrierpunkt (meistens an einer äußeren Reifbildung erkennbar), so gefriert im Inneren eventuell vorhandenes Wasser zwangsläufig. Funktionsstörungen am Warnsignal und an der Druckanzeige können die Folge sein. Hat sich durch häufige Gerätebenutzung in unmittelbarer Folge viel Wasser im Druckminderer angesammelt, so kann es unter Umständen zur Drosselung der Luftzufuhr kommen (siehe VII.3.3. Eistauchen).
3. Bei niedrigen Umgebungstemperaturen wird ein zu hoher Wassergehalt in der Druckgasflasche in Schnee- und Eiskristalle umgewandelt. Dadurch kann es in den Bohrungen und an den Schutzsieben des Druckminderers zu Verstopfungen kommen, wodurch die Luftzufuhr gedrosselt oder sogar blockiert wird.

2.12.3. Pflege und Aufbewahrung von Geräten

Pflege und Aufbewahrung von Geräten dürfen nicht vernachlässigt werden! Verschmutzte Geräte baldmöglichst sorgfältig reinigen. Bei der Aufbewahrung ist darauf zu achten, daß das Gerät nicht verschmutzt oder verstaubt. Es ist wichtig, daß die Geräte stets gebrauchsfertig aufbewahrt werden. Die Lager Räume müssen trocken sein und die Geräte darin so aufgestellt werden, daß sie keiner direkten Sonnenbestrahlung und ständiger Neonbeleuchtung ausgesetzt sind.

Mindestens halbjährig sind die Geräte zu prüfen, auch wenn sie zwischenzeitlich nicht benutzt wurden.

Der Druckminderer des Gerätes soll alle 6 Jahre dem Herstellerwerk oder einer autorisierten Werkstatt zu einer Grundüberholung übergeben werden, sofern nicht andere Vorschriften einen kürzeren Zeitraum vorschreiben. Bei dieser Grundüberholung werden mindestens alle nichtmetallischen Teile durch neue ersetzt.

Wichtig für den Einsatz eines Gerätes ist die Beschaffenheit der Membran des Lungenautomaten; bei ständig benutzten Geräten sollten diese Membranen wenigstens jährlich auf ihren einwandfreien Zustand untersucht werden. Sind schadhafte Stellen (Brüchigkeit, Klebrigkeit, Verhärtung, Verformung u. a.) an der Membran feststellbar, so muß sie ausgetauscht werden. Bei Einsätzen in aggressiven Medien oder bei starker Hitzeeinwirkung empfiehlt sich eine Untersuchung nach der Gerätebenutzung.

Bei laufend im Einsatz befindlichen Geräten empfiehlt es sich, die Membranen 3 Jahre nach dem ersten Einbau auszutauschen. Membranen, die ab Fertigungsdatum älter als 6 Jahre sind, müssen grundsätzlich ausgetauscht werden. Das gilt auch für lagernde Membranen oder Gerätebestände.

Der Dichtring für den Hochdruckanschluß ist bei häufigem Gerätegebrauch nach 6 Monaten, bei seltenem Gebrauch nach einem Jahr auszutauschen. Nicht warten, bis der Dichtring beim Anschluß der Flaschen nicht mehr einwandfrei dichtet, weil sonst die Gefahr besteht, daß die durch den Druck dichtende Dichtung bei 300 bar dicht ist, aber im unteren Druckbereich nach Verbrauch der Luft z. B. bei 50 bar undicht wird.

Die Preßluftflaschen sind nach Ablauf von 2 Jahren (erste Abnahme ist an der Flaschenschulter eingepreßt) dem TÜV erneut zur Abnahme bzw. Prüfung vorzustellen. Abgelaufene Flaschen dürfen nicht gefüllt werden. Ein Leeratmen der Flasche nach Ablauf der Prüffrist ist jedoch statthaft.

3. Die Vollgesichtsmaske

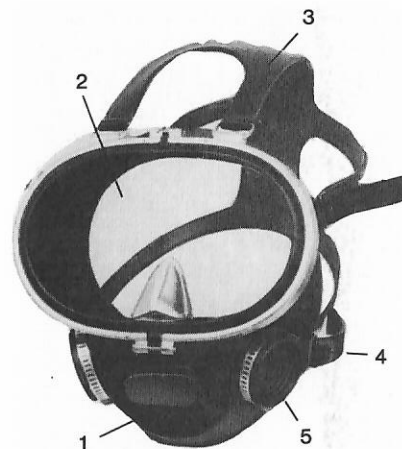
3.1. Verwendungszweck und Zulassung

Die Taucher-Vollgesichtsmaske schützt das Gesicht des Tauchers vor kaltem und verschmutztem Wasser. Sie ermöglicht durch eine plane Sichtscheibe das verzerrungsfreie Sehen unter Wasser. Jeder der zugelassenen Gerätehersteller hat seinen zum jeweiligen Tauchgerät passenden Maskentyp. Hier will ich näher auf die Vollgesichtsmaske 168 R eingehen. Die Ausführung R ist nach DIN 3182 ausgelegt und dient zum Anschluß von Lungenautomaten mit Rundgewinde.

Laut Eignungserklärung der Hauptstelle für das Grubenrettungswesen vom 13. 11. 78 ist die Taucher-Vollgesichtsmaske Modell 168 R für das Tauchen bei den Feuerwehren geeignet und erfüllt alle Anforderungen, die an derartige Masken gestellt werden.

3.2. Technische Daten und Aufbau der Maske 168 R

Geräteprinzip: Vollgesichtsmaske mit Augen/Nasen- und Mund-Raum
Geräteanschluß: Rundgewinde



- 1 Maskenkörper
- 2 Fensterscheibe
- 3 Kopfverband
- 4 Schnellverstell-Schnallen
- 5 Anschluß R

Abb. 42: Vollgesichtsmaske

Rd 40 × 1/4"
DIN 3182, Anschluß einseitig, linke Manschettenseite (Anschluß R) ohne Mundstück
Gewicht: Maske R ca. 0,610 kg.

Der Maskenkörper 1 in Universalgröße besteht aus einem Formteil, er ist aus einer Neoprene-Naturkautschuk-Mischung (schwarz) gefertigt. Die plane Maskenscheibe 2 hat in Nasenhöhe eine Nase nachgeformt. Die Scheibe wird im Maskenkörper befestigt. Anschluß R: 5.

3.3. Gebrauch

3.3.1. Anlegen der Maske

Kopfbänderung weit stellen. Bei voraussichtlich großen Temperaturunterschieden zwischen Innen- und Außenseite der Scheibe, die Innenseite mit Klarsichtmittel behandeln.

Mit beiden Händen die Bänderung so spreizen, daß Nacken- und Schläfenband zwischen Daumen und Zeigefinger liegen (Abb. 43). Das Kinn in die Kinntasche der Maske legen und die Maskenbänderung über den Kopf streifen. Mittelplatte der Bänderung am Hinterkopf nach unten glatt streichen. Nacken- und Stirnbänder gleichmäßig anziehen.



Abb. 43a

3.3.2. Dichtprüfung der aufgesetzten Maske

Anschlußöffnung der Maske mit dem Handballen unter leichtem Druck verschließen und langsam einatmen. Dabei darf keine Luft über dem Maskenrand eindringen. Bei bereits angeschlossenem Tauchgerät kann auch bei geschlossenen Geräteflaschen durch Saugen der dichte Sitz der Maske überprüft werden.

3.3.3. Ausblasen der Maske unter Wasser

Ist während des Tauchganges Wasser in den Brillenraum der Maske gelangt, wird dieses folgendermaßen ausgeblasen, ohne daß der Taucher hierzu auftauchen muß:

Kopf bei senkrechter Körperlage in den Nacken legen und kräftig über die Nase ausatmen.

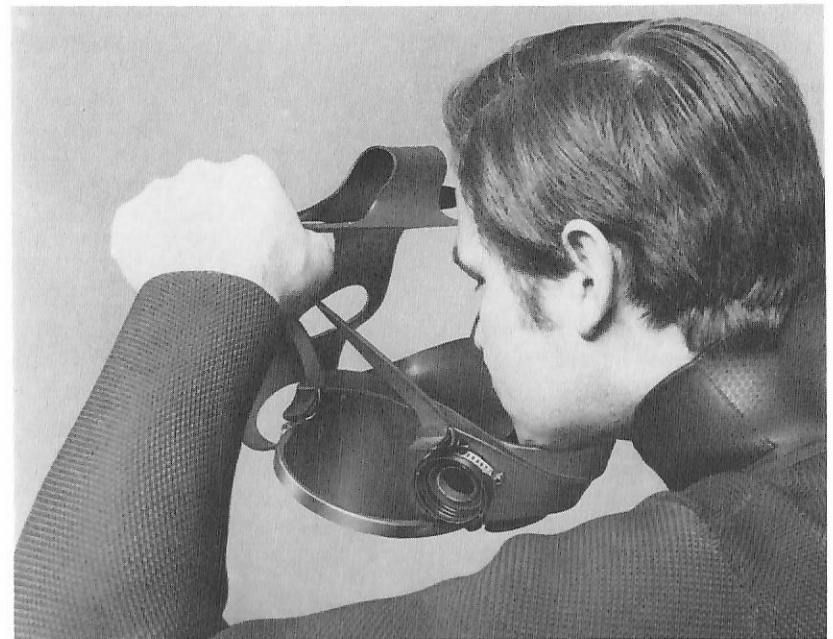


Abb. 43b



Abb. 43c



Abb. 44

3.3.4. Ablegen der Maske

Zum Ablegen mit dem Daumen die Lappen der beiden Klemmschnallen der Nackenbänder gleichzeitig nach vorn drücken und dabei die Maske zunächst nach unten vom Gesicht weg und nach oben über den Kopf ziehen (Abb. 44). Die Schläfenbänder können ebenfalls in der oben geschilderten Weise gelöst werden.

3.4. Pflege und Wartung

Die Reinigung und Desinfektion der Maske muß nach jedem Einsatz erfolgen. Die verschmutzte Maske wird mit Seife in lauwarmem Wasser gesäubert und

anschließend mit klarem Wasser nachgespült. Bei Bedarf kann kurzzeitig reines Benzin verwendet werden. Andere organische Lösungsmittel dürfen nicht verwendet werden.

Die einwandfreie mechanische Reinigung ist unbedingte Voraussetzung für jede Desinfektion. Es sind Desinfektionsmittel zu verwenden, die Gummi, Polyamid und Plexiglas nicht angreifen. Die richtige Konzentration ist nach der zugehörigen Gebrauchsanweisung einzustellen. Die Masken sind nach der Desinfektion mit klarem Wasser zu spülen und anschließend zu trocknen. Dabei sind Temperaturen über 60° C zu vermeiden.

4. Auftriebsrettungsmittel für Taucher

4.1. Verwendungszweck gemäß GUV 10.6

Die Richtlinie über Bau und Betrieb von Auftriebsrettungsmitteln für Taucher (GUV 10.6) besagt folgendes:

Auftriebsmittel sollen beim Tauchen mit Leichttauchgeräten die Rettungsfunktion der Signalleine unterstützen, indem sie einen erschöpften Taucher, der in großer Entfernung zum Signalmann auftaucht, an der Wasseroberfläche halten, bis er an Land oder Bord genommen wird.

Außerdem sollen sie im Notfall nach Abwurf des Gewichtsgürtels das Austauchen erleichtern. Hierbei wird davon ausgegangen, daß auch in maximaler Tauchtiefe der Taucher ohne Gewichtsgürtel einen positiven Auftrieb aufweist.

4.2. Anwendungszweck

Diese Richtlinien finden Anwendung auf Bau, Ausrüstung und Betrieb von Auftriebsrettungsmitteln (Taucher-Rettungs-Kragen, Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise) für Taucher.

4.3. Begriffsbestimmungen

4.3.1. Taucher-Rettungs-Kragen

Taucher-Rettungs-Kragen sind aufblasbare Rettungsmittel, die das Austauchen des Tauchers unterstützen und ihn an der Wasseroberfläche in einer vor dem Ertrinken sicheren Lage (ohnmachtsicher) halten.

4.3.2. Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise

Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise sind aufblasbare Rettungsmittel, die das Austauchen des Tauchers unterstützen ihn an der Wasseroberfläche in einer vor dem Ertrinken sicheren Lage (ohnmachtsicher) halten und es dem Taucher ermöglichen, Auftriebsunterschiede unter Wasser auszugleichen (zu tarieren).

4.4. Allgemeine Anforderungen

Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, daß Auftriebsmittel für Taucher nach diesen Richtlinien und im übrigen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik beschaffen sind und betrieben werden. Abweichungen sind zulässig, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise gewährleistet ist.

4.5. Betrieb

Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, daß die von den Herstellern der Auftriebsrettungsmittel mitgelieferten Gebrauchsanleitungen befolgt werden. Erforderlichenfalls hat er ergänzende Betriebsanweisungen aufzustellen.

4.6. Prüfung

Vor jedem Tauchgang sind Auftriebsrettungsmittel vom Taucher auf ihren betriebsbereiten Zustand zu überprüfen. Die Prüfung der Betriebsbereitschaft erstreckt sich vor allem auf die Füllung von Preßluftflaschen und die Gängigkeit von Ventilen und Armaturen.

Auftriebsmittel sind nach Bedarf, mindestens jedoch einmal jährlich, von einem Sachkundigen auf Betriebssicherheit zu prüfen. Das Ergebnis der Prüfung ist schriftlich festzuhalten.

Die Prüfung der Betriebssicherheit erstreckt sich vor allem auf die Dichtigkeit des Schwimmkörpers und die Funktionsfähigkeit aller Ventile und Armaturen.

Sachkundige sind Personen, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung und Erfahrung ausreichende Kenntnisse über das jeweilige Arbeitsmittel besitzen und mit den einschlägigen staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften, Richtlinien, Sicherheitsregeln und allgemein anerkannten



Abb. 45a, b: Taucher-Rettungs-Kragen



Abb. 46: Rettungs- und Tarierweste

Regeln der Technik so weit vertraut sind, daß sie den arbeitssicheren Zustand des Arbeitsmittels beurteilen können.

Schadhafte und nicht betriebsbereite Geräte sind als solche zu kennzeichnen und sofort dem Gebrauch zu entziehen.

4.7. Secumar TRK 96KV

Der Secumar TRK 94KV (Abb. 45) ist ein Taucher-Rettungs-Kragen, der das Austauchen des Tauchers im Notfall unterstützt und ihn an der Wasseroberfläche in einer ohnmachtsicheren Lage hält.

Der Taucher-Rettungs-Kragen ist besonders geeignet zum Einsatz mit Leichttauchgeräten und Konstantvolumenzügen mit Kopfhäuben und anhängenden Lungenautomaten. Die Konstruktion entspricht den Richtlinien über den Bau und Betrieb von Auftriebsrettungsmitteln für Taucher des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaft und der VBG 39 einschließlich Durchführungsbestimmungen.

Technische Daten: Aufblasbarer, leuchtend orangefarbener Schwimmkörper, verpackt in Schutzhülle mit verstellbarem Leib- und Schrittgurt. Schwimmkörper mit Überdruckventil und Mundventil, Aufblasvorrichtung: Leichtstahldruckgasflasche 0,47 l x 200 bar = 94 l, Flaschenventil nach DIN 477, Schlaucharmatur, Flaschengewinde mit Anschluß R 1/8", Schwimmkörpervolumen 16 l.

4.8. Rettungs- und Tarierweste

Die Rettungs- und Tarierweste (Abb. 46) ist ein Auftriebsrettungsmittel kombinierter Bauweise, die das Austauchen des Tauchers unterstützt, ihn an der Wasseroberfläche in einer ohnmachtsicheren Lage hält und es dem Taucher ermöglicht, Auftriebsunterschiede unter Wasser auszugleichen (zu tarieren). Sie ist ebenfalls geeignet beim Einsatz mit Leichttauchgeräten und Konstantvolumenzügen mit Kopfhäuben und anhängenden Lungenautomaten. Ihre Konstruktion entspricht den Richtlinien über den Bau und Betrieb von Auftriebsrettungsmitteln für Taucher.

Technische Daten: Aufblasbarer, leuchtend orange- oder gelbfarbener Schwimmkörper, verpackt in Schutzhülle mit verstellbarem Leib- und Schrittgurt. Schwimmkörper mit Überdruckventil und Entwässerungseinrichtung sowie Mundventil. Aufblasvorrichtung: Einmal die Stahldruckgasflasche 0,47 l x 200 bar = 94 l, Flaschengewinde R 1/8" für Nottfälle, und die Schlaucharmatur für die Luftzuschußeinrichtung (Inflator) zum austarieren, Schwimmkörpervolumen 21 l. Ferner besitzt die Weste ein Schnellstop-Ventil, das dem Taucher einen kontrollierten Notaufstieg ermöglicht, sodaß er nicht zur Wasseroberfläche durchschießt.

5. Tiefenmesser

5.1. Prinzipien der Druckmessung unter Wasser

Das einfachste aber auch ungenaueste Prinzip ist das Kapillarsystem. Hier ist eine einseitig verschlossene Kapillarröhre auf einer Tafel mit Markierungen angebracht. Mit zunehmender Tiefe wird die in der Kapillare eingeschlossene Luft gemäß dem Boyle-Mariotteschen Gesetz komprimiert. Die sich verringernde Luftsäule kann als Meterangabe auf der darunterbefindlichen Tafel abgelesen

werden. Diese Art der Druckmessung ist jedoch nur in den ersten Metern genau und verliert mit zunehmender Tiefe ihre Genauigkeit.

Das nächste Prinzip ist das Röhrenfedersystem. Hier wird eine Feder, die sich in einer Röhre befindet, infolge des steigenden Wasserdruckes zusammengepreßt. Über einen Mechanismus wird der Federstand auf einer Skala als Meterangabe angezeigt. Durch häufige Benutzung treten Ermüdungserscheinungen der Rohrfeder auf, die zu einer Ablesungenauigkeit führt.

Das letzte und beste ist das geschlossene Drucksystem. Der Mechanismus ist hier in einem Ölbad gelagert, das nach einer Seite durch eine flexible Membran abgeschlossen ist. Der steigende Umgebungsdruck wirkt auf diese Membran und pflanzt sich über das Ölbad zum Mechanismus fort, der die jeweilige Wassertiefe auf einer Meter-Skala durch einen Zeiger angibt.

5.2. Anforderungen an einen Tiefenmesser

Der Tiefenmesser soll dem Taucher die aufgesuchte Tiefe anzeigen. Hierzu sind jedoch einige Anforderungen an den Tiefenmesser zu stellen. Ein Tiefenmesser sollte:

- Gute Ablesbarkeit mit Stufenmarkierung 3 m, 6 m und 9 m haben. In diesem Bereich muß die Anzeigegenauigkeit möglichst exakt sein. Zulässige Abweichung $\pm 0,5$ m.
- Gespreizter 3 m bis 6 m Bereich.
- Phosphorisiertes Ablesefeld.
- Nach Möglichkeit einen Schleppzeiger haben, damit zu jeder Zeit die bereits größte, erreichte Wassertiefe abgelesen werden kann.



Abb. 47:

6. Weitere Ausrüstungsgegenstände

6.1. Das Grundtau

Das Grundtau wird zum Ab- und Austauchen in und aus größeren Tiefen verwendet. Es hat einen Durchmesser von ca. 30 mm und wird an einem etwa 30 kg schweren Grundgewicht befestigt. An der Wasseroberfläche wird es an dem verankerten Taucherprahm oder -Boot befestigt. Es ist dem Taucher besonders dienlich zum Festhalten während der Herstellung des Druckausgleiches beim Abtauchen und während der Austauschpausen.

6.2. Die Tauchersandalen

Tauchersandalen (Abb. 48) werden vom Taucher benutzt, wenn Unterwasserarbeiten eine hohe Standfestigkeit erfordern und vorwiegend in senkrechter Körperlage gearbeitet wird. Die Sandalen sind aus Messing gegossen. Zur Erzielung einer größeren Rutschsicherheit auf glattem Untergrund sind die Unterseiten mit Noppen versehen.

Eine kräftige Lederberiemung sichert einen guten Sitz der Sandalen am Fuß des Tauchers. Eine Fersenstütze verhindert das Herausrutschen des Fußes nach hinten. Gewicht: 6,5 kg.

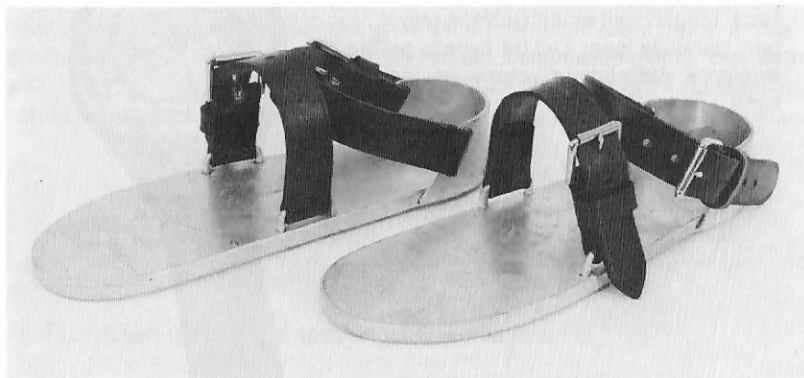


Abb. 48: Tauchersandalen

6.3. Der Taucherschutzhelm

Der Taucherschutzhelm (Abb. 49) ist ein aus Kunststoff hergestellter Kopfschutz, der in Universalgrößen geliefert wird. Der Taucher trägt den Helm während des Einsatzes, um sich vor Kopfverletzungen zu schützen. Außerdem lassen sich viele Arbeiten – bei denen sich der Taucher mit dem Kopf abstützen muß – leichter und sicherer durchführen.

Der Taucherschutzhelm kann in Verbindung mit Naß- und Trockentauchanzügen eingesetzt werden. Da die Verletzungsgefahr bei Taucherarbeiten gegeben ist, sollte man auf diesen zusätzlichen Schutz nicht verzichten.



Abb. 49: Taucherhelm

6.4. Der Bleigürtel, die Bleigewichte

Zum Auftriebsausgleich des Tauchers wird der Gewichtsgürtel mit den Gewichten eingesetzt (Abb. 50).

Der Gewichtsgürtel ist in seiner Länge leicht verstellbar und mit einem Schnellverschluss versehen, so daß bei Gefahr der Taucher den Gewichtsgürtel mit einem Handgriff abwerfen kann.

Die aus Hartblei gefertigten Gewichte sind je 1 kg oder 2 kg schwer und mit einem gelben Anstrich versehen. Mit Hilfe einer Haltefeder mit Ring werden die Gewichte einzeln am Gewichtsgurt befestigt.

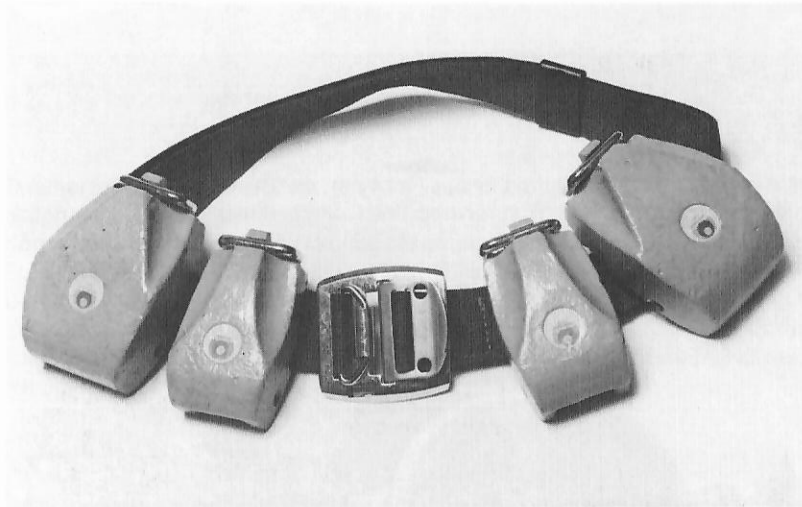


Abb. 50: Bleigürtel mit 1 kg und 2 kg Bleigewichte

6.5. Das Tauchermesser

Das Tauchermesser (Abb. 51) dient im Notfall zum Kappen der Signalleine und kann auch als Werkzeug unter Wasser verwendet werden. Die Klinge ist beidseitig geschärft, wobei die eine Messerseite als Sägeschneide ausgebildet ist. Das Tauchermesser ist als universelles Stich-, Schnitt- und Sägewerkzeug gedacht. Es wird an den Waden getragen, da es dort den Taucher am wenigsten behindert.

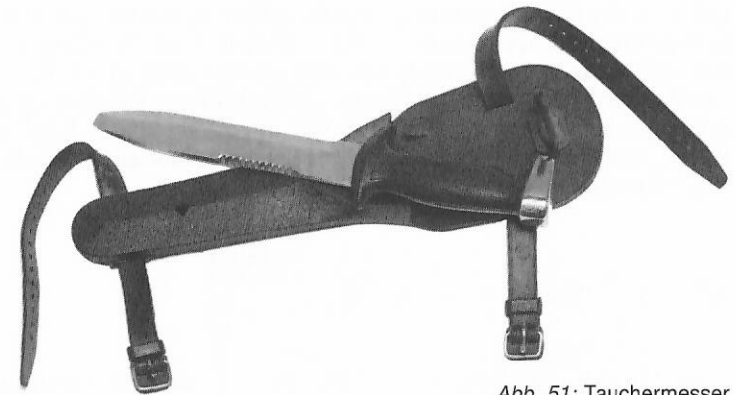


Abb. 51: Tauchermesser

6.6. Die Taucherlampe

Taucherlampen (Abb. 52) leisten bei der Aufhellung des Unterwasserarbeitsplatzes wertvolle Dienste, z. B. im Inneren eines Wracks, in Schleusenkamern, in Tunell und Röhren (Schiffsschrauben), in Höhlen oder allgemein bei Dunkelheit.

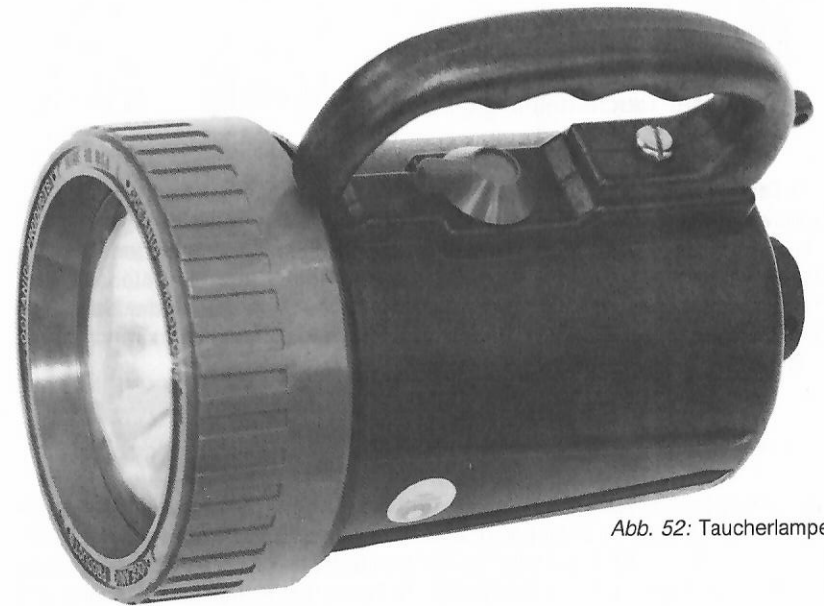


Abb. 52: Taucherlampe

Das Problem der Unterwasserbeleuchtung liegt jedoch weniger in einer entsprechenden Ausführung der Leuchte, sondern in der Schwierigkeit, in verschmutztem Wasser eine entsprechende Ausleuchtung zu erzielen. Der Beleuchtungseffekt unter Wasser ähnelt in diesem Fall dem Fahren eines Autos mit aufgeblendeten Scheinwerfern in dichtem Nebel. Eine lichtstarke Beleuchtung der Wasseroberfläche eignet sich in den meisten Fällen besser zur Ausleuchtung des Wassers als die Tauchlampe selbst.

6.7. Die Taucheruhr

Eine gute Taucheruhr besitzt ein Stahlgehäuse, ist wasserdicht und druckfest bis 200 m Tiefe; möglichst mit Automatik ausgestattet und hat eine verschraubte Krone. Außen um das gutleserliche, phosphoreszierte Zifferblatt befindet sich der nur nach links drehbare Tauchzeitring. Beim Abtauchen stellt man die dreieckige Einstellmarke auf den Minutenzeiger. Durch Weiterlaufen des Zeigers kann genau abgelesen werden, wie lang der Taucher sich unter Wasser befindet.

7. Signalgeräte

7.1. Universal-Tauchertelefon UT 302

Das Taucher-Telefon UT 302 kann bei allen anfallenden Tauchgängen im Rettungswesen eingesetzt werden. Es erweitert das Einsatzgebiet der Taucher und bildet einen sehr großen Sicherheitsfaktor, da der Signalmann den Taucher ständig unter Kontrolle hat und selbst das Befinden durch die Intensität und Frequenz der hörbaren Atmung laufend überwachen kann. Einer der Hauptvorteile dieser Anlage ist seine universelle Einsatzmöglichkeit beim Tauchen mit Trockentauch- und Naßtauchanzügen.

7.1.1. Aufbau

Das einsatzbereite Tauchertelefon besteht, wie Abb. 53 zeigt, aus: Der Kopfgarnitur 1, dem Verstärker 2, einem Telefonkabel 5 oder 6 und der Tauchertelefon-Einheit 7, 8, 9 oder 10. Bei Bedarf gehört ein Lautsprecher 3, ein Zwischenstück 4 und ein zweites Telefonkabel 5 oder 6, sowie ein Koffer für Lagerung und Transport der Kopfgarnitur, des Verstärkers und des Zwischenstückes zur vollständigen Telefon-Anlage.

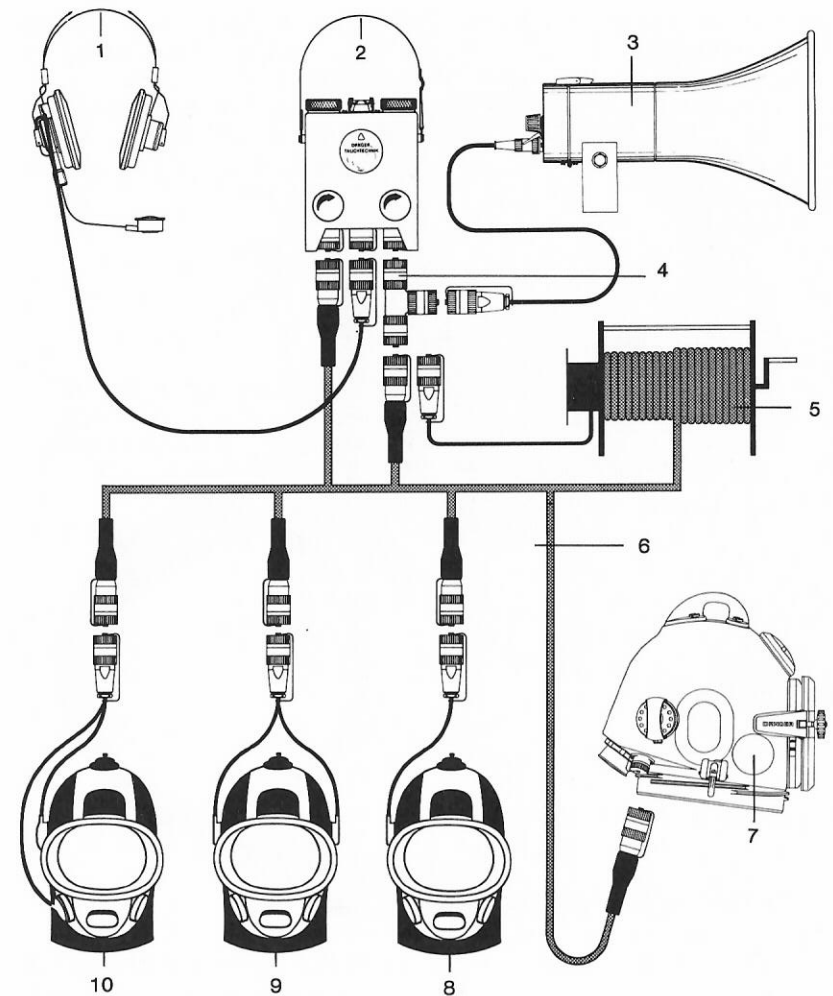


Abb. 53: Übersichtsschema UT 302

Die Kopfgarnitur 1 (Abb. 54) für den Signalmann ist mit drei dynamischen Systemen ausgerüstet (2 Kopfhörer, 1 Mikrofon).

Die beiden gepolsterten Hörmuscheln 11 schützen vor störenden Geräuschen. Durch die geringen Abmessungen kann die Garnitur auch unter einer Kopfbedeckung getragen werden.

Der Verstärker 2 (Abb. 55) ist in einem kompakten, schwallwassergeschützten Gehäuse eingebaut. Auf der Oberseite des Verstärkergehäuses zwischen den beiden Batterieverschlüssen 12 befindet sich die Sprechtaaste 13 zum Umschal-



Abb. 54: Kopfgarnitur

ten der Sprechrichtung bzw. zum Zuschalten des Signalmannes. An der Unterseite des Gehäuses sind 3 Anschlüsse 14 mit Schraub-Kupplungen montiert, die bei Nichtgebrauch durch Schutzkappen wasserdicht verschlossen werden. Der mittlere Anschluß ist für die Kopfgarnitur des Signalmannes bestimmt. Die beiden anderen Anschlüsse können verwendet werden:
 für einen Taucher und einen Lautsprecher oder
 für zwei Taucher oder
 für zwei Taucher und einen Lautsprecher (mit Zwischenstück)

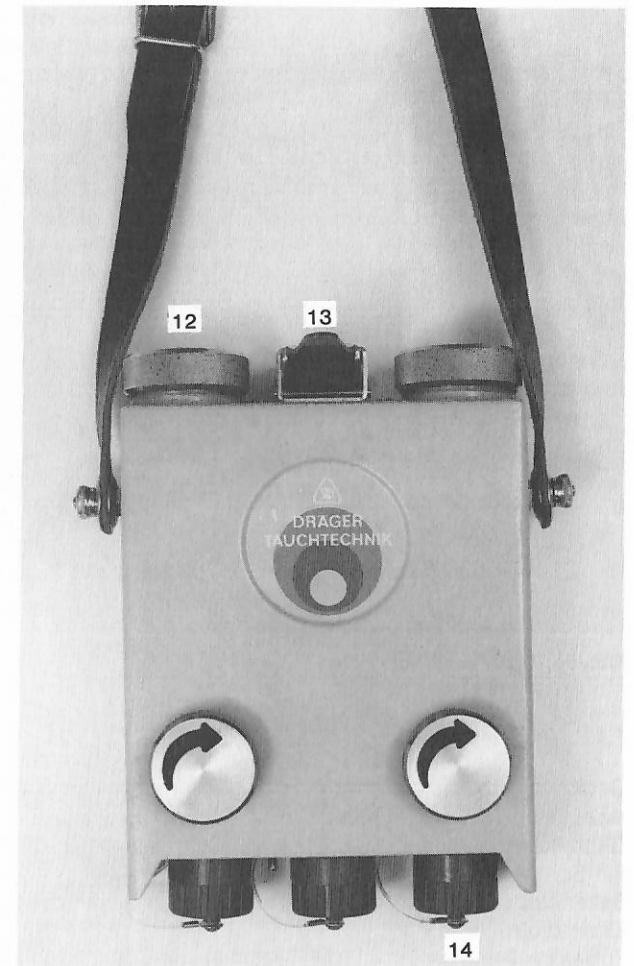


Abb. 55: Verstärker

Das Telefonkabel mit Kabeltrommel 5 (Abb. 56) oder ohne Kabeltrommel 6 stellt die Verbindung zwischen Signalmann und Taucher her. Das Spezialkabel mit wendelförmig angeordneter Ader und einer abriebfesten, verrottungssicheren Kunststoffaservumflechtung ist stärksten Beanspruchungen gewachsen. Es dient gleichzeitig als Signal- und Sicherheitsleine. Durch eine Kausche 15 am Kabelende ist eine kurze Perlonleine geknotet, mit der das Telefonkabel leicht am Taucher zu befestigen ist. Die Verbindungsstecker sind wasserdicht vergossen. Das Kabel ist wie eine Lotleine mit Markierungsfähnchen 16 (siehe IV.7.5.) markiert; so läßt sich sofort die Entfernung zum Taucher abschätzen.

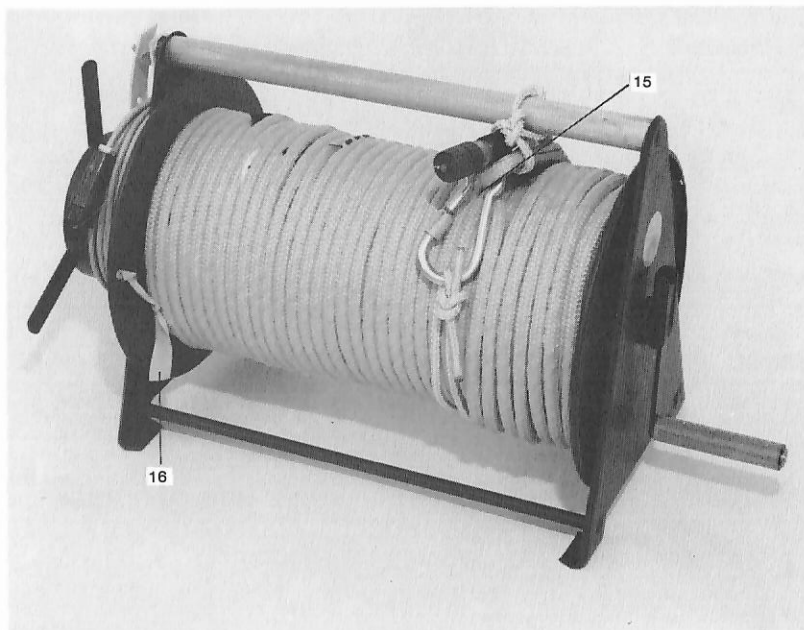


Abb. 56: Kabeltrommel

7.1.2. Technische Daten

Geräteprinzip: Umschaltbar von Gegensprechanlage auf Wechselsprechanlage
 Gebrauchsdauer: Ca. 600 h Sprechverkehr für Verstärker (pro Batteriesatz ca. 6 h Sprechverkehr für Lautsprecher)
 Batteriesatz: 4 Stück für Verstärker, 6 Stück für Lautsprecher, 1,5 Volt
 Einsatztiefe: 75 m
 Zulässige Temperatur: -20 bis $+50^{\circ}$ C
 Tel.-Kabellänge: 50 und 80 m
 Kabelbelastbarkeit: 4000 N (400 kg)

7.1.3. Wirkungsweise

Die Telefonanlage kann nach Abb. 53 zusammengestellt werden. Die Kopfgarnitur des Signalmannes, Verstärker und Lautsprecher sind bei allen Kombinationen gleich.
 Die Telefoneinrichtung für den Taucher muß entsprechend den Einsatzverhältnissen gewählt werden.

- a) Körperschallmikrofon oder
- b) dynamische Hör- und Sprechkapsel.

Im betriebsbereiten Zustand ist die Wechselsprechanlage so geschaltet, daß der Signalmann den Taucher immer hören kann; durch Drücken einer Sprechaste kann der Signalmann dem Taucher Anweisungen geben. Für eine gute telefonische Verständigung ist eine deutliche Aussprache von ausschlaggebender Bedeutung. Alle Anweisungen bzw. Antworten sollen kurz, klar und deutlich bei normaler Lautstärke gesprochen und vom Gesprächspartner wiederholt werden. Dabei ist es wichtig, daß die Endsilben sauber ausgesprochen werden. Bei Höhenänderungen des Tauchers ist das Telefonkabel sofort wieder zu ordnen. Steht keine Kabeltrommel zur Verfügung, hat sich das Aufschießen des Kabels in der 8-Form gut bewährt (Abb. 57).

Bevor der Taucher ins Wasser absteigt, wird die Sprechverbindung aufgenommen und die klare, eindeutige Verständigung in beiden Richtungen geprüft und bestätigt.

Beim Abstieg des Tauchers muß der Signalmann einen sicheren Standplatz

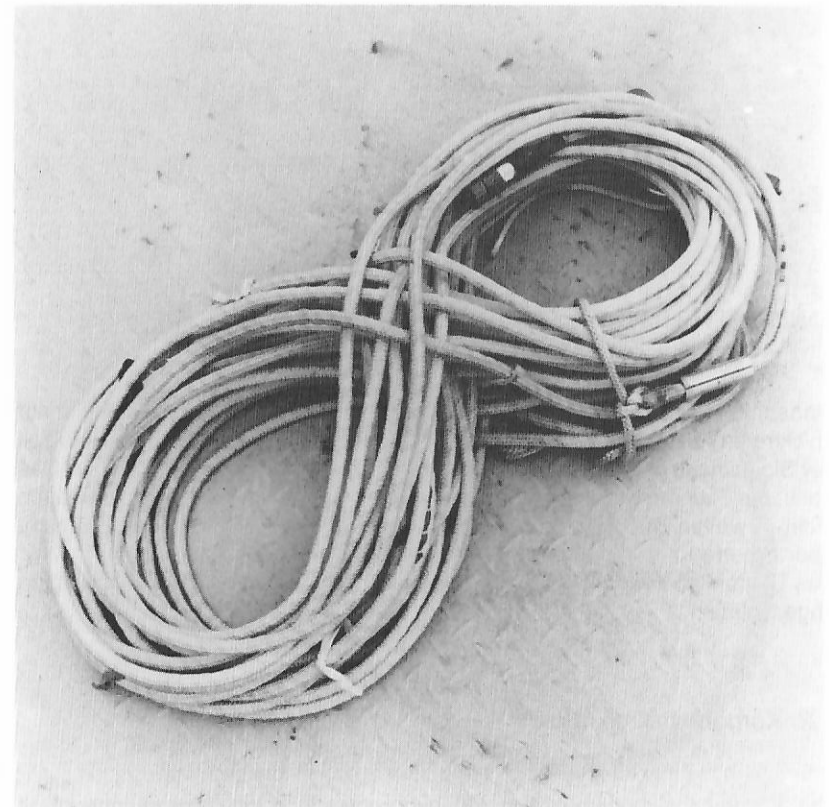


Abb. 57: Telefonkabel in 8-Form



Abb. 58: Körperschallmikrofon

einnehmen. Das Telefonkabel wird Hand über Hand abgelassen. Dabei ist auf knickfreies Auslaufen zu achten. Mit dem Telefonkabel als Sicherheitsleine soll der Signalmann mit dem Taucher möglichst »spürbaren« Kontakt behalten. Das heißt, der Taucher soll nicht behindert werden, daß Telefonkabel soll aber auch nicht in weiten Buchten durchhängen. Weiterhin darf das Telefonkabel nicht über scharfe Kanten auslaufen oder gezogen werden. Das Telefonkabel wird mit je einem kurzen Tampen am Taucher und Signalmann angeschlagen.

7.2. Körperschallmikrofon

Das Körperschallmikrofon (Abb. 58) wird vorwiegend im Zusammenhang mit Naßtauchanzügen eingesetzt oder wenn für Naß- und Trockentauchanzüge nur

eine Telefonausrüstung zur Verfügung steht. Mit einem Durchmesser von 15 mm ist es außerordentlich klein und kann ohne Schwierigkeiten angelegt werden. Beispielsweise genügt es schon, bei der Verwendung einer Einfenstertaucherbrille das Mikrofon 18 unter das (hinter dem Ohr liegende) Kopfband zu schieben. Das Mikrofon ist wasserdicht und mechanisch unempfindlich. Es wird über eine kurze Verbindungsleitung 19 mit einem Stecker wasserdicht an das Telefonkabel angeschlossen. Das Körperschallmikrofon für Wechselsprechbetrieb in einfacher Ausführung sowie das Doppel-Körperschallmikrofon 18 für Gegensprechbetrieb sind für den Taucher zugleich Hör- und Sprechkapseln.

7.3. Dynamische Hör- und Sprechkapsel

Die dynamischen Hör- und Sprechkapseln (Abb. 59) sind die bevorzugten Telefonausrüstungen für Taucher mit Trockentauchanzügen, da sie eine beson-

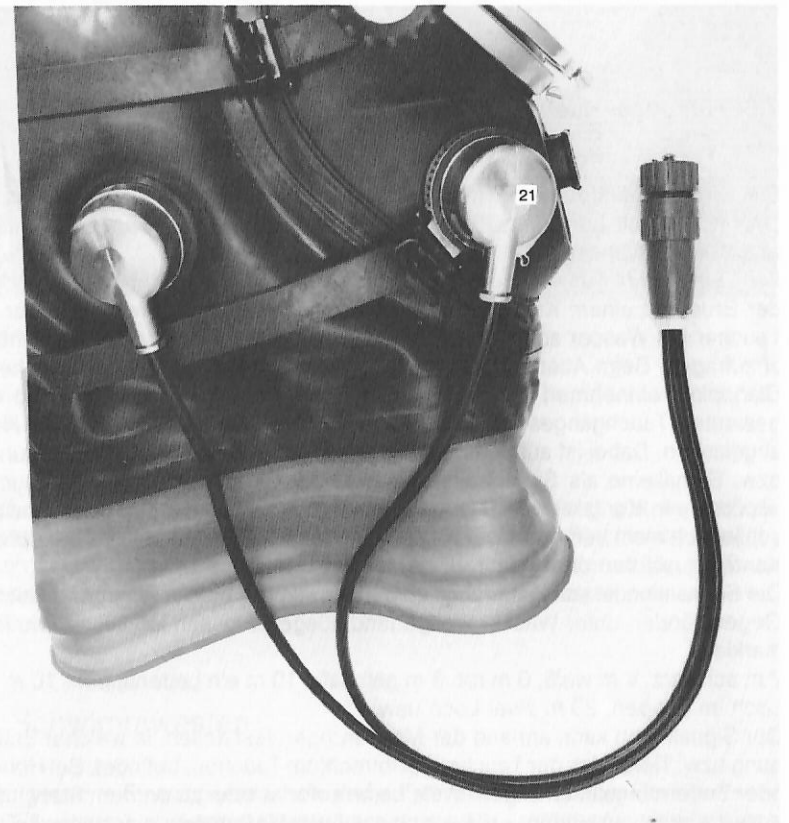


Abb. 59: Dynamische Hör- und Sprechkapsel

ders gute Sprachübertragung garantieren. Sie sind fest in Haube und Maske eingebaut und vor Wasser zu schützen.

Die dynamischen Hör- und Sprechkapseln sind gegen mechanische Beschädigungen durch ein stabiles Gehäuse 21 geschützt. Die Verbindung mit dem Telefonkabel erfolgt über wasserdichte Steckverbindungen. Um eine einwandfreie Verständigung zu erreichen, sind die Hör- und Sprechkapseln lagegerecht in die Kopfhaube des Taucheranzuges eingearbeitet.

7.4. Lautsprecher

Der Lautsprecher 3 mit eingebautem Verstärker wird durch 6 Stück 1,5 Volt Babyzellen gespeist. Durch einen Halteblock ist eine Bordmontage möglich. Am hinteren Ende des Gerätes befindet sich ein Kippschalter und ein Lautstärke-regler.

7.5. Führungs- oder Signalleine

Sie wird verwendet, wenn das Tauchertelefon oder der Verstärker versagt. Drängt die Zeit bei einem Einsatz, so wird die Führungs- oder Signalleine ebenfalls verwendet.

Die Leine (Abb. 60) wird dem Taucher unter den Armen durchgeführt und auf der Brust mit einem Kreuzknoten und einem Halbschlag befestigt. Bevor der Taucher ins Wasser absteigt, sind sämtliche Leinenzeichen vom Signalmann abzufragen. Beim Abstieg des Tauchers muß der Signalmann einen sicheren Standplatz einnehmen und darf nicht mit anderen Tätigkeiten während des gesamten Tauchganges beauftragt werden. Die Leine wird Hand über Hand abgelassen. Dabei ist auf knotenfreies Auslaufen zu achten. Mit der Führungs- bzw. Signalleine als Sicherheitsleine muß der Signalmann mit dem Taucher »spürbar« in Kontakt sein. Das heißt, der Taucher muß die Leine straff halten, soll jedoch nicht behindert werden. Die Sicherheitsleine darf nicht über scharfe Kanten auslaufen oder gezogen werden.

Die Signalleine ist schwimmfähig, so daß ein Hängenbleiben an irgendwelchen Gegenständen unter Wasser weitgehend ausgeschlossen ist. Sie ist wie folgt markiert:

2 m schwarz, 4 m weiß, 6 m rot, 8 m gelb; alle 10 m ein Lederlappen, 10 m ein Loch im Lappen, 20 m zwei Loch usw.

Der Signalmann kann anhand der Markierungen feststellen, in welcher Entfernung bzw. Tiefe, sich der Taucher bei lotrechtem Tauchen, befindet. Bei Höhen- oder Entfernungsänderungen ist die Leine sofort wieder zu ordnen. Steht keine Kabeltrommel zur Verfügung, hat sich das Aufschießen der Leine in der 8-Form gut bewährt (Abb. 57).

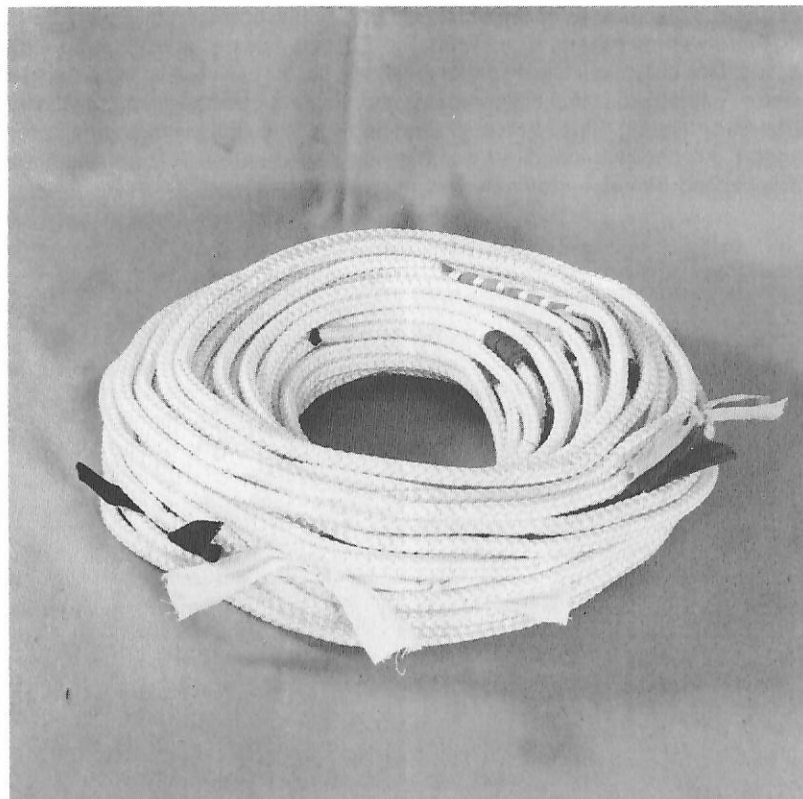


Abb. 60: Führungs- und Signalleine

7.6. Unterwasser-Funk

Neben dem Tauchertelefon als Verständigungseinrichtung gibt es auch den Unterwasser-Funk, als drahtloses Führungsmittel. Die Reichweite beträgt je nach Wasserbeschaffenheit ca. 100 m. Als Kommunikationsmittel im Feuerwehrtaucherwesen entfällt diese Art ganz, denn sie ersetzt in keinem Fall die Sicherheitsleine.

8. Schwimmwesten

Das gesamte Einsatzpersonal am und auf dem Wasser hat bei Übungen sowie bei Einsätzen Schwimmwesten zu tragen. Je nach Fabrikat sollen sie leuchtend gelb und rot zur besseren Kenntlichmachung sein.

Anhand der Secumar BS 10 möchte ich eine Schwimmweste erklären, die für den Feuerwehrdienst ausreichend ist. Die Schwimmweste hat ein Volumen von ca. 10 l. Das entspricht einer Tragfähigkeit von ca. 10 daN. Sie ist ein patentgefalteter Auftriebskörper in Kragenform (Abb. 61) und besitzt eine automatische Aufblasvorrichtung. Eine Mundaufblasung sowie Signalflöte sind ebenfalls vorhanden. An der Hüfte wird sie durch einen verstellbaren Gurt gehalten. Die Patentfaltung gibt eine große Bewegungsfreiheit.



Schwimmweste unaufgeblasen

Schwimmweste aufgeblasen

Abb. 61

V. Tauchpraxis

1. Anlegen der Ausrüstung

1.1. Prüfen auf Funktionsfähigkeit

Vor jedem Tauchgang ist die Ausrüstung hinsichtlich der Vollständigkeit und Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Als erstes wird eine Kurzprüfung des Tauchgerätes gemäß IV.2.9.2. vorgenommen.

Folgende Punkte sind dabei zu beachten bzw. zu überprüfen:

- a) Den Zustand der Dichtungen prüfen
- b) Vorratsdruck der Flaschen prüfen
- c) Hochdruck-Dichtprüfung
- d) Stellung der Reserveschaltung
- e) Funktionsprüfung des Lungenautomaten
- f) Niederdruck-Dichtprüfung
- g) Die Füllung der Flasche vom Auftriebsrettungsmittel.

1.2. Die Reihenfolge des Anlegens der Ausrüstung

Beim Anlegen der Ausrüstung sind einige Kriterien hinsichtlich der Reihenfolge zu beachten. Bei Nichtbeachtung und Eintreten eines Notfalles kann dies verheerende Folgen haben. Beim Anlegen der Ausrüstung sollte daher folgende Reihenfolge eingehalten werden.

- a) Taucheranzug komplett
- b) Führungs- und Signalleine
- c) Auftriebsrettungsmittel
- d) Tauchermesser
- e) Atemhilfe (Schnorchel)
- f) Tiefenmesser
- g) Taucheruhr
- h) Tauchgerät
- i) Gewichtsgürtel
- j) Maske
- k) Flossen
- l) Handschuhe

Von dieser Reihenfolge kann und soll je nach Einsatzart abgewichen werden. Vom Tauchtruppführer kann angeordnet werden, daß auf das Tragen von Teilen der Ausrüstung verzichtet wird.

1.3. Hilfeleistung durch den Leinenmann

Der Leinenmann ist während des gesamten Tauchens für den Taucher verantwortlich. Sein Verantwortungsbereich beginnt bereits mit der Bestimmung, daß er Leinenmann für den Taucher ist und endet erst, wenn der Taucher ausgezogen ist und den Tauchgang in guter körperlicher Verfassung beendet hat. Das heißt, er ist ihm behilflich (verantwortlich) beim Anziehen, er hat verantwortungsbewußte Sorgfalt beim Abstieg, Aufenthalt am Grund und beim Aufstieg walten zu lassen. Ferner muß er dem Taucher beim Ausziehen behilflich sein, denn seine Verantwortung verliert er erst dann, wenn der Taucher gesund und umgezogen an Land ist.

2. Der Einstieg ins Wasser

2.1. Das Setzen der Taucherflagge

Bei Gewässern, die durch Badebetrieb, Surfer oder Bootsbetrieb frequentiert sind, muß eine Taucherflagge (Abb. 62) vor Beginn des Tauchens gesetzt werden. Die Flagge »A (Alpha)« aus dem internationalen Flaggenalphabet ist die sogenannte Taucherflagge. Das heißt, daß sich an diese Stelle Taucher im Wasser befinden und eine ausreichende Distanz zu halten ist.

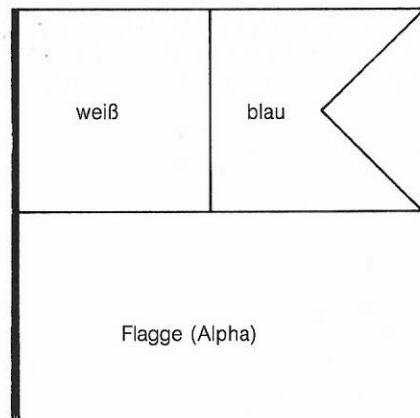


Abb. 62

2.2. Tariierung

An dieser Stelle zu sagen, wieviele Gewichte angehängt werden sollen, ist müßig, da die Tariierung nicht nur von der Stärke des Neopreneanzuges abhängig ist, sondern auch von der Personengröße und dem Leibesumfang. Ferner muß man daran denken, daß in größeren Tiefen unter Einfluß des Druckes nicht nur die Dicke des Neoprene geringer wird, sondern auch die Taillenweite; daher hängt der vorher stramm gezogene Gewichtsgürtel beim Tauchen etwas durch. In größeren Tiefen ist man spezifisch schwerer als an der Wasseroberfläche und man sinkt.

Ein nahezu leergeatmetes 2 x 6 l Tauchgerät (Differenz bei 2 x 6 l, zwischen leer und voll ca. 40 N) hat einen größeren Auftrieb durch den Gewichtsverlust der Luft, was sich in den letzten 10–5 m bemerkbar macht.

Die richtige Bleimenge hat man dann angehängt, wenn man in 3 m Wassertiefe mit fast leergeatmeten Gerät und leerem Auftriebsrettungsmittel im hydrostatischen Gleichgewicht ist. Es muß jedoch betont werden, daß sich die Anzahl der Bleigewichte nach der jeweiligen Einsatzart richtet. Muß z. B. in 4 m Wassertiefe eine Arbeit im Stand verrichtet werden, ist mehr Blei anzulegen, als wenn etwas gesucht wird und Halbkreise geschwommen werden müssen.

2.3. Einstieg ins Wasser

Der Einstieg vom Boot erfolgt über eine Taucherleiter mit breiten Trittstufen. Wird der Tauchgang vom Ufer begonnen, so geht der Taucher mit angezogenen Flossen so lange rückwärts ins Wasser, bis er bequem zur Schwimmlage übergehen kann und an der vorgegebenen Stelle abtaucht. Hierbei erfolgt bereits eine Sicherung durch die Signalleine gegen ein Umfallen des Tauchers, sie wird dabei straff gehalten. Ein Springen ins Wasser ist laut FwDV 8 verboten.

3. Aufenthalt unter Wasser

3.1. Atemtechnik

Die Atemfrequenz unter Wasser ist so klein wie möglich zu halten, was sich im Luftverbrauch und in der eigenen Ruhe bemerkbar macht. Wird gearbeitet, so sollte man bewußt atmen und nicht in Versuchung geraten zu hyperventilieren, denn dies kann unter Umständen zu einer Bewußtlosigkeit führen.

Alle Veränderungen oder Umstände unter Wasser äußern sich beim Taucher durch eine Umstellung der Atmung von normalem auf hastiges Atmen. Die Veränderungen oder Umstände können Kälte, Angst, Panik, Arbeit, Dunkelheit

usw. sein. Die Umstellung der Atmung erfolgt dann bei einem nicht so geübten Taucher schneller, als bei einem erfahrenen, was leicht der Anfang einer Panik sein kann (siehe VI.9.). Mit der Atmung kann der Taucher sein psychisches Gleichgewicht steuern.

3.2. Veränderung der Tauchtiefe

Die Veränderung der Tauchtiefe wird mittels Flossenschlag durchgeführt. Ebenso kann ein austarierter Taucher sich durch ausatmen sinken lassen. Umgekehrt sollte man zum Aufsteigen nie Luft in den Auftriebskörper geben, da sie sich mit zunehmender Druckentlastung proportional ausdehnt. Also durch Einatmen oder Flossenschlag ein geringfügiges Aufsteigen herbeiführen. Wird aufgetaucht, so darf die Luft nicht angehalten werden. Der Auftrieb wird durch Flossenschlag oder Auftriebsmittel kontrolliert erzeugt.

3.3. Das Trieren

Wie schon unter 2.2. erwähnt, wird der Abtrieb des Tauchers mit zunehmender Tiefe größer, und der Taucher beginnt zu sinken. Um ein hydrostatisches Gleichgewicht herstellen zu können, gibt es die Auftriebsrettungsmittel in kombinierter Bauweise. Hier wird Druckluft mittels eines Luftzuschußknopfes (Inflator) in den Auftriebskörper eingeblasen, bis sich der Taucher wieder in der Schwebelage (hydrostatisches Gleichgewicht) befindet.

Umgekehrt verhält es sich beim Auftauchen. Die Luft im Auftriebskörper dehnt sich bei Druckabnahme aus und der Taucher beginnt zu schießen, wenn er keine Luft aus der Weste abläßt. Die Handhabung einer sogenannten Rettungs- und Trierweste erfordert Übung, denn das Durchschießen eines Tauchers kann seinen Tod zur Folge haben.

3.4. Leinenzeichen / UW-Zeichensprache

Neben dem Tauchertelefon als Kommunikationsmittel wird die Sicherheitsleine als Führungs- oder Signalleine verwendet. Die Leinenzugzeichen sind in der FwDV 8 wie folgt festgelegt:

X bedeutet: ein Leinenzug, – bedeutet: kurze Pause

Zeichen	Vom Taucher gegeben	Vom Signalmann gegeben
X	– NOTSIGNAL – Ich bin in Not!	– NOTSIGNAL – Sofort auftauchen!
Als weitere Zeichen werden empfohlen:		
XX XXX XXXX	Ich tauche auf!	Nach links! Nach rechts! Auf tauchen!
XXXXX	Alles in Ordnung!	Alles in Ordnung?
XX–X XX–XX XXX–XXX	Brauche Unterstützung!	Voraus! Zurück!



Abb. 63

Leinenzugzeichen müssen vor dem Tauchen zwischen Taucher und Signalmann abgefragt werden.

Arbeiten zwei Taucher zusammen oder der Reservetaucher muß ins Wasser, so gibt es die Möglichkeit der Verständigung durch eine UW-Zeichensprache. Es gibt eine Reihe solcher Zeichen (*Abb. 63*), die international genormt sind. Diese Zeichen, sowie die Leinenzeichen muß man sich einprägen, denn davon kann im Notfall das eigene oder das Leben eines anderen abhängen.

3.5. Die Orientierung

Sofern es die Wasserqualität, die örtlichen sowie zeitlichen Gegebenheiten zulassen, kann man sich unter Zuhilfenahme folgender Punkte unter Wasser orientieren:

Signalleine

Sonnenstand

Mondstand

Licht

Strömung

Boden und Bodenbeschaffenheit

Markante Gegenstände (Abfall, Steine etc.)

Wassertiefe

Uferbeschaffenheit

4. Verlassen des Wassers

4.1. Gefahrenmomente beim Auftauchen

Da man durch die Tauchmaske nur einen sehr begrenzten Blickwinkel hat, ist es empfehlenswert, spiralförmig aufzutauchen und dabei an die Wasseroberfläche zu schauen. Etwaige Hindernisse wie Boote, Bojen oder Schwimmer können durch die 360°-Drehbewegung leichter erkannt werden. Weiterhin ist auf das Ausatmen zu achten, da es auf Grund der Druckentlastung zu einer Lungenüberdehnung bzw. Lungenriß kommen kann.

4.2. Ins Boot steigen

Ist es ein Boot mit Leiter, so zieht man die Flossen im Wasser aus und gibt sie an Bord, um anschließend über die Leiter ins Boot zu steigen.

Hat das Boot jedoch keine Leiter, ist es zweckmäßig, das Tauchgerät im Wasser abzulegen, an Bord zu geben, um anschließend in das Boot mit Hilfe eines Flossenschlages zu klettern.

4.3. An Land gehen

Endet der Tauchgang an Land, so schwimmt man solange bis das Wasser hüfttief ist. Zieht die Flossen aus, oder geht mit den Flossen rückwärts an Land, um sie an Land abzulegen.

4.4. Versorgung der Geräte

Die Gerätschaft nach Möglichkeit nach dem Tauchen sofort mit sauberem Süßwasser abspülen. Das Gerät ist drucklos zu machen und die gesamte nasse Ausrüstung bei längerem Verbleiben am Ort im Schatten zum Trocknen aufzuhängen.

VI. Tauchmedizin

1. Anatomie

1.1. Atmung

Der lebensnotwendige Vorgang der Atmung führt zu stufenweiser Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff durch Sauerstoff. Dabei entstehen Kohlendioxyd, Wasser, Wärme und freie Energie, die für Muskelarbeit oder chemische Arbeit verwendet werden kann. Dank der entstehenden Wärme kann der Mensch eine konstante Körpertemperatur von ca. 37° C aufrechterhalten. Die Atemluft enthält ungefähr 21% Sauerstoff. Der Rest ist Stickstoff. Die Edelgase (0,96%) können vernachlässigt werden. Kohlendioxyd ist in der Einatemluft nur in Spuren (0,04%) vorhanden (Abb. 12 und 13). In den Lungenbläschen wird nur etwa 4% des verfügbaren Sauerstoffs aufgenommen. Die Ausatemluft enthält 17% Sauerstoff und 4,04% CO₂. Der Stickstoffanteil bleibt unverändert.

Der in das Blut übertretende Sauerstoff wird größtenteils an das Hämoglobin gebunden. Die zur Verfügung stehende Aufnahmefähigkeit für Sauerstoff (O₂-Kapazität) wird nicht einmal zur Hälfte ausgenutzt. Die Zellen der Gewebe nehmen den auf dem Blutweg herangeführten Sauerstoff auf.

Die in den Zellen gebildete Kohlensäure (H₂CO₃) tritt ins Blutplasma über und wird zu den Lungen befördert, wo sie in den Lungenbläschen an die Atemluft als Kohlendioxyd (CO₂) übergeht.

Die Atmung umfaßt drei verschiedene Vorgänge:

1. Äußere Atmung,
2. Gastransport im Blut,
3. Innere Atmung der Zellen.

1.1.1. Obere Luftwege

Zu den oberen Atemwegen, durch welche die Atemluft ziehen muß, gehören die Nasenhöhlen und der obere und mittlere Teil des Schlundes (Abb. 64).

Die luftgefüllten Nebenhöhlen im Oberkiefer, im Stirnbein, im Keilbein und in den Siebbeinlabyrinthen wirken als Wärmeisolatoren. Die Nasenschleimhaut mit ihrer starken Gefäßversorgung wärmt die Atemluft vor. Durch Ausscheidung von Flüssigkeit wird die durchstreichende Luft mit Feuchtigkeit gesättigt. Der Schleim bringt Staub und Kohleteilchen zum Festhalten, wodurch die Atemluft gereinigt wird. Die Flimmerhaare bewegen die Teilchen gegen die Nasenlöcher.

Im oberen Teil des Rachens liegt beiderseits die Ohrtrumpete. Im mittleren Teil des Rachens überkreuzen sich Atem- und Speiseweg. Beim Schlucken wird durch Gaumensegel, Zungengrund und Kehldeckel der Atemweg unterbrochen. Der untere Teil des Rachens liegt vor dem Kehlkopf.

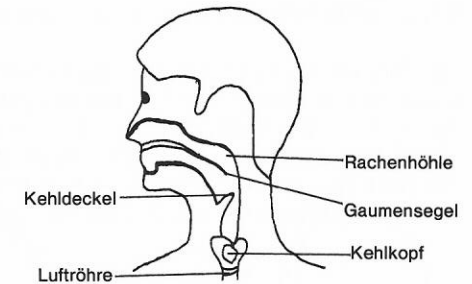


Abb. 64

1.1.2. Untere Luftwege

Zu den unteren Luftwegen werden Luftröhre, Stammbaum und Bronchialbaum gerechnet (Abb. 65).

Die Luftröhre durchzieht den Hals und Brustraum. Sie ist etwa 12 cm lang und liegt vor der Speiseröhre. Das Innere ist mit Schleimhaut ausgekleidet.

An der Teilungsstelle geht die Luftröhre in die beiden Stammbronchien über (Abb. 65).

In der Lungenvertiefung beginnt der Bronchialbaum: Es teilen sich die Stammbronchien in Lappenbronchien. Die drei Lappen der rechten Lunge erhalten drei Lappenbronchien, die zwei Lappen der linken Lunge zwei Lappenbronchien. Die Lappenbronchien lassen Segmentbronchien aus sich hervorgehen. Diese teilen sich in immer feinere Äste. Die letzten Verzweigungen des Bronchialbaumes sind die Bronchioli.

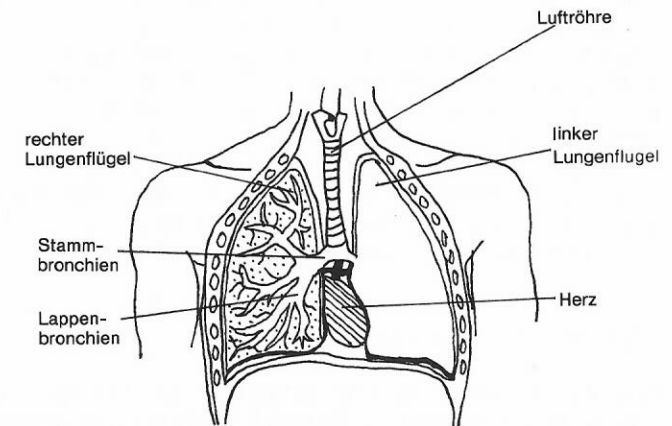


Abb. 65

1.1.3. Atemkammerraum und Gasaustausch

Der Atemkammerraum wird von den Lungenbläschen (Alveolen) gebildet. Die Endverzweigungen des Bronchialbaumes gehen in Alveolengänge über, an denen die Lungenbläschen hängen. Alle Lungenbläschen, die von einem Bronchiolus versorgt werden, bilden ein Lungenläppchen (Abb. 66). Der Durchmesser eines solchen Läppchens beträgt 1 bis 1½ cm. In das Innere des Läppchens dringt der Bronchiolus und ein kleiner Ast der Lungenschlagader.

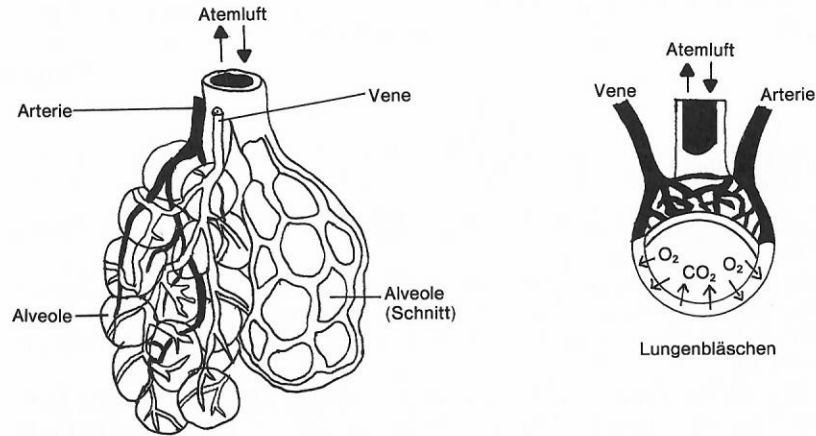


Abb. 66

Ein Lungenbläschen hat einen Durchmesser von ungefähr 1/5 mm. In beiden Lungen sind etwa 500 Millionen Lungenbläschen untergebracht, die etwa 200 m² für den Gasaustausch zur Verfügung stellen. Zwischen den Alveolen liegt ein vielfach verzweigtes Kapillarnetz von etwa 300 m² Gesamtoberfläche. Hier findet unter dem Einfluß der jeweiligen Gasdrücke (Partialdruck) der Austausch von Sauerstoff und Kohlensäure statt. Das Blut gibt Kohlensäure (H₂CO₃) über die Lungenbläschen in die Atemluft als Kohlendioxyd (CO₂) ab und bindet Sauerstoff (O₂) an das Hämoglobin. Es handelt sich um einen rein physikalischen Vorgang (Diffusion).

Bei der Einatmung füllen ca. 140 cm³ der Einatemluft den Raum der Atemwege (toter Raum). Nur derjenige Anteil, der in den Atemkammerraum gelangt, beteiligt sich am Gasaustausch. Die ausgeatmete Luft ist eine Mischung von Alveolarluft und Luft im toten Raum.

1.1.4. Mechanik der Atmung

Durch Erweiterung des Brustraumes (Abb. 67) wird Luft in die Lunge eingesaugt und durch Verkleinerung des Brustraumes wieder ausgestoßen. Die Lungen folgen passiv diesen Bewegungen der Brustwandung und des Zwerchfells. Dem Zwerchfell kommt dabei die Hauptaufgabe zu. Die Zwerchfellatmung wird durch die Brustwandatmung unterstützt. Da mit dem Alter die Dehnbarkeit des

Brustkorbes abnimmt, verliert die Brustwandatmung zunehmend an Bedeutung.

Bei der Einatmung zieht sich die Zwerchfelmuskulatur zusammen. Die Lungen müssen der Ausweitung des Raumes folgen.

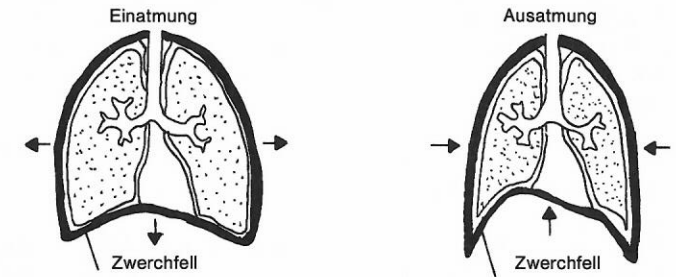


Abb. 67

Bei der Ausatmung erschlafft das Zwerchfell. Es wird durch den Druck im Bauchraum in Form von zwei Kuppeln nach oben gewölbt. Durch Bauchpressen kann die Ausatmung verstärkt werden. Die Erschlaffung der zur Einatmung führenden Muskeln überliefert dem Brustkorb seine eigenen Federkräfte. Die Rippen senken sich, und der Brustraum verkleinert sich. Die Verkleinerung des Rauminhaltes preßt die Lunge zusammen. Die Atemluft strömt nach außen. In Ruhe benötigt ein Erwachsener 7 bis 8 l Luft in der Minute, bei starker Muskelarbeit bis zu 90 l. Beim Atmen ist der Luftwechsel in der Lunge nie vollständig. Bei normaler Atmung atmet man nur 0,5 l Luft ein und aus. Der Rhythmus der Atembewegung wird vom Atemzentrum im verlängerten Rückenmark gesteuert (siehe 1.2.7.). Die normale Atemfrequenz beträgt ca. 20 Atemzüge in der Minute. Der normale Atemrhythmus ist willkürlich beeinflussbar.

1.2. Kreislauf

Um das Blut in die unmittelbare Nähe aller Zellen zu bringen, benötigt der Organismus besondere Kreislauforgane, die das Blut bewegen und weiterleiten.

1.2.1. Kreislauforgane

Der Motor des Kreislaufes ist das Herz. Die Schlagadern (Arterien) bilden das Verteilersystem. Die große Körperschlagader (Aorta) entspringt aus der linken Herzkammer und versorgt den Körperkreislauf (großer Kreislauf), während die Lungenschlagader aus der rechten Herzkammer hervorgeht und den Lungenkreislauf (kleiner Kreislauf) speist.

Der Stoffaustausch erfolgt in den dünnwandigen Haargefäßen (Kapillaren). Die

Rückleitung des Blutes wird von den Blutadern (Venen) übernommen. Alle Gefäße die vom Herzen wegführen werden als Arterien, alle die zum Herzen hinführen als Venen bezeichnet, unabhängig vom Sauerstoffreichtum des geleiteten Blutes.

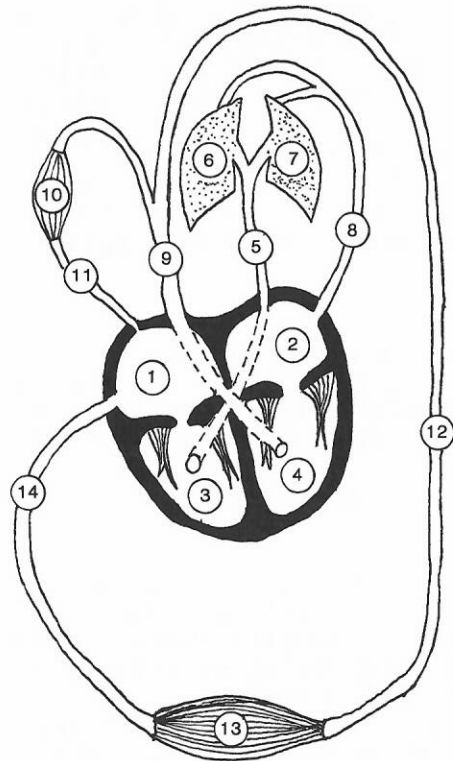
Das Herz ist ein Hohlmuskel, dessen Zusammenziehen das Blut auswirft, mit vier Höhlen:

Zwei Vorhöfen und
zwei Herzkammern.

Die Größe der beiden Herzkammern entspricht der geballten Faust des betreffenden Menschen.

1.2.2. Kleiner Kreislauf

Die obere und untere Hohlvene 11/14 führen das Blut in den rechten Vorhof 1 (Abb. 68), der durch die rechte Vorhof-Kammer-Öffnung mit der rechten Herzkammer 3 zusammenhängt. Aus der Herzkammer 3 wird das Blut durch die Lungenarterie 5 in die Lungen 6/7 geworfen. Durch die Lungenvene 8 strömt das in der Lunge sauerstoffangereicherte Blut in den linken Vorhof 2.



- 1 rechter Herzvorhof
- 2 linker Herzvorhof
- 3 rechte Herzkammer
- 4 linke Herzkammer
- 5 Lungenarterie
- 6 rechter Lungenflügel
- 7 linker Lungenflügel
- 8 Lungenvene
- 9 Aorta
- 10 Kapillare der oberen Körperhälfte
- 11 obere Hohlvene
- 12 große Körperschlagader
- 13 Kapillare der unteren Körperhälfte
- 14 untere Hohlvene

Abb. 68

1.2.3. Großer Kreislauf

Aus der linken Herzkammer 4 wird das Blut durch die Aorta 9 in den Körperkreislauf getrieben. Von hier gelangt es in die Kapillare der oberen Körperhälfte 10 und über die große Körperschlagader 12 zu den Kapillaren der unteren Körperhälfte 13. In den Kapillaren 10/13 findet ein Gasaustausch, wie unter 1.1.3. beschrieben, statt. Nun wird das Blut wieder über die obere und untere Hohlvene 11/14 dem rechten Herzvorhof 1 zugeführt.

1.2.4. Grundlagen der Blutströmung

Die Gesamtblutmenge genügt nicht, um das ganze Gefäßsystem aufzufüllen. Es können jeweils nur ganz bestimmte Gebiete vollständig versorgt werden. Bei körperlicher Anstrengung sind dies besonders die Gefäße der Muskeln und die Kranzgefäße des Herzens, während der Verdauung die Gefäße des Verdauungstraktes, bei Wärmeeinwirkung die Hautgefäße. Nur im Gebiet der Hirngefäße bleibt die Füllung nahezu unverändert.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ist um so kleiner, je größer die Breite des Strombettes ist. Am raschesten fließt das Blut in der Aorta. In den Hohlvenen ist die Strömungsgeschwindigkeit etwas geringer, da der Gesamtquerschnitt der beiden Hohlvenen doppelt so groß ist wie derjenige in der Aorta. In den Kapillaren ist der Gesamtquerschnitt etwa 600- bis 800 mal größer als in der Aorta. Im Gebiet dieser Haargefäße erfolgt der Stoffaustausch. In den großen Arterien fällt der Druck nur wenig ab. Der Widerstand liegt im Gebiet der kleinsten Schlagadern, der Arterien, der Kapillare und der kleinsten Blutadern.

2. Das Verhalten von Körpergeweben bei Druckdifferenzen

Neben dem Wasserdruck wirkt beim Tauchen der Überdruck auch durch die mitgeführten Gase (Atemluft) auf den Organismus. Die Druckänderungen bzw. die dadurch hervorgerufenen Druckphasen lassen sich dreiteilen.

1. Die Kompressionsphase beim Abtauchen,
2. die Isopressionsphase während des Aufenthaltes am Grund und
3. die Dekompressionsphase beim Auftauchen.

Der Ablauf dieser drei Phasen entspricht einem theoretischen Tauchgang. Anhand der Abb. 69 sieht man, daß jede dieser Phasen dem Taucher bei Nichtbeachtung von theoretischen sowie praktischen Kenntnissen eine Schädigung auf Grund der Druckdifferenzen zufügen kann. Beim Ab- und Aufstieg handelt es sich hauptsächlich um Volumensänderungen. Beim Aufenthalt am Grund spielt der Partialdruck von verschiedenen Gasen eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Immer wird fester, flüssiger oder gasförmiger Stoff durch die Druckdifferenzen derart verlagert, daß es zu Schädigungen des Organismus kommen kann.

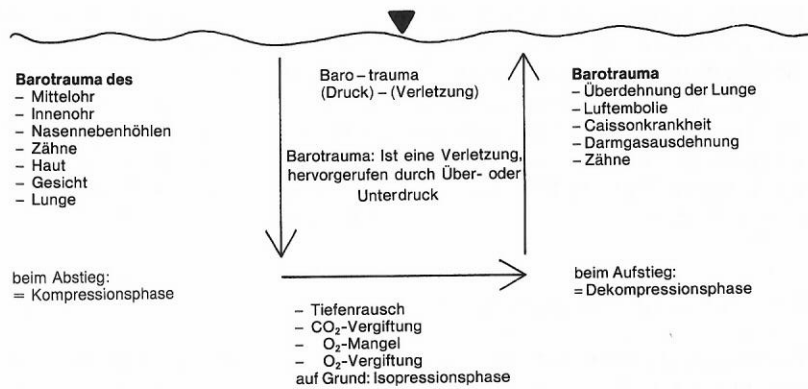


Abb. 69: Skizze Tauchphasen-Taucherkrankheiten

In den folgenden Abschnitten werden Ursachen und Gegenmaßnahmen der einzelnen Taucherkrankheiten beschrieben.

3. Die Barotraumen des Ohres

3.1. Fehlender oder schlechter Druckausgleich / Maßnahmen

Bei leichten Erkältungskrankheiten ist es möglich, daß der Druckausgleich an der Oberfläche gelingt, sich in einer Tiefe von 2–3 m aber nicht mehr durchführen läßt. Hier ist eine verstärkte Schleimhautschwellung vorhanden, verbunden mit einem Verschuß der Lippenwülste am Tubeneingang. Eine Belüftung der Paukenhöhle wird damit unmöglich gemacht oder gelingt nur unter größter Anstrengung. In diesem Fall wird der Tauchgang, soweit es die Einsatzlage zuläßt, abgebrochen, und der Reservetaucher geht ins Wasser.

Ist der erste Tauchabstieg geglückt, so kann es vorkommen, daß beim zweiten kein Druckausgleich mehr zustande kommt. Grund hierfür ist das kalte Wasser und der zeitweise, relative Unterdruck im Nasenrachenraum, so daß die Schleimhäute während des ersten Tauchganges angeschwollen sind. Durch die Schleimhautschwellung ist eine Belüftung der Paukenhöhle nicht mehr möglich und der Tauchgang sollte abgebrochen werden.

Wird erst Druckausgleich durchgeführt, wenn sich bereits Schmerzen bemerkbar machen, so liegt ein relativer Unterdruck in der Paukenhöhle vor, der es verhindern kann, daß sich die lippenartigen Wülste auf Grund des Unterdruckes nicht mehr öffnen und Luft in die Paukenhöhle einströmen lassen. Es handelt sich hierbei um einen sogenannten Ohrenblock. Der Taucher steigt um einige

Meter auf, sodaß der Unterdruck beseitigt wird und die Wülste am Tubeneingang sich öffnen können. Nun kann wieder Druckausgleich durchgeführt und der Tauchgang weitergeführt werden.

3.2. Der Trommelfellriß und das Verhalten des Tauchers in diesem Fall

Beim Trommelfellriß geht in der Regel ein stechender Schmerz voraus, der beim Riß des Trommelfells plötzlich verschwindet. Wird weiterhin Druckausgleich durchgeführt, so zischt gut vernehmbar Luft aus dem betreffenden Ohr. Es sollte sofort aufgetaucht werden, um zu vermeiden, daß Wasser in die Paukenhöhle eindringt und an die Bogengänge gelangt. Die Bogengänge sind für Gleichgewicht und Lagebezug zum Raum verantwortlich. Kommt kaltes Wasser auf Grund eines Trommelfellrisses an die Bogengänge, so kann das Gleichgewichts- und Lagezentrum gestört werden. Der Taucher bekommt einen Drehschwindel und weiß weder was unten noch oben ist. Um dies zu vermeiden, muß der Taucher sofort auftauchen. Die sich in der Paukenhöhe befindliche Luft dehnt sich durch die Druckentlastung aus und entweicht durch das zerstörte Trommelfell. Auf Grund dessen kann kein Wasser in die Paukenhöhle bzw. an die Bogengänge gelangen. Ein Trommelfellriß sowie anhaltende Schmerzen gehören in ärztliche Behandlung. Grundsätzlich keine mechanische Reinigung, Spülung oder Ohrtropfen, da es zur Verschleppung von Keimen im Mittelohr kommen kann. Der äußere Gehörgang soll lediglich durch einen Wattebausch abgedeckt werden. Bis zur völligen Ausheilung eines Trommelfellrisses besteht absolutes Schwimm- und Tauchverbot.

3.3. Gefährdung durch Ohrenstöpsel

Um zu vermeiden, daß Wasser in den Gehörgang gelangt und sich somit der steigende Umgebungsdruck fortpflanzt, werden oft irrtümlich Ohrenstöpsel verwendet. Für einen Schwimmer, der den Wasserkontakt mit seinen Trommelfellen vermeiden will, ist dieses Hilfsmittel angebracht. Für den Taucher kann es jedoch fatale Folgen haben.

Durch den Ohrenpfropf wird ein mit Luft gefüllter Hohlraum zwischen Pfropf und Trommelfell hergestellt (Abb. 70). Dieser luftgefüllte Hohlraum unterliegt beim Abtauchen dem Boyle-Mariotteschen-Gesetz. Das heißt, die Luft wird komprimiert, und es entsteht ein relativer Unterdruck zwischen Ohrenpfropf und Trommelfell. Dieser Unterdruck kann zum einen bewirken, daß sich das Trommelfell so stark nach außen durchwölbt, bis es zum Trommelfellriß kommt. Zum anderen kann auf Grund des Unterdrucks der Ohrenpfropf in Richtung Trommelfell wandern und es perforieren.

Eine eng anliegende Kopfhaube des Tauchanzugs kann die gleiche Auswirkung haben. Hier bohrt man mit einem heißen Draht oder Nadel in Höhe der äußeren

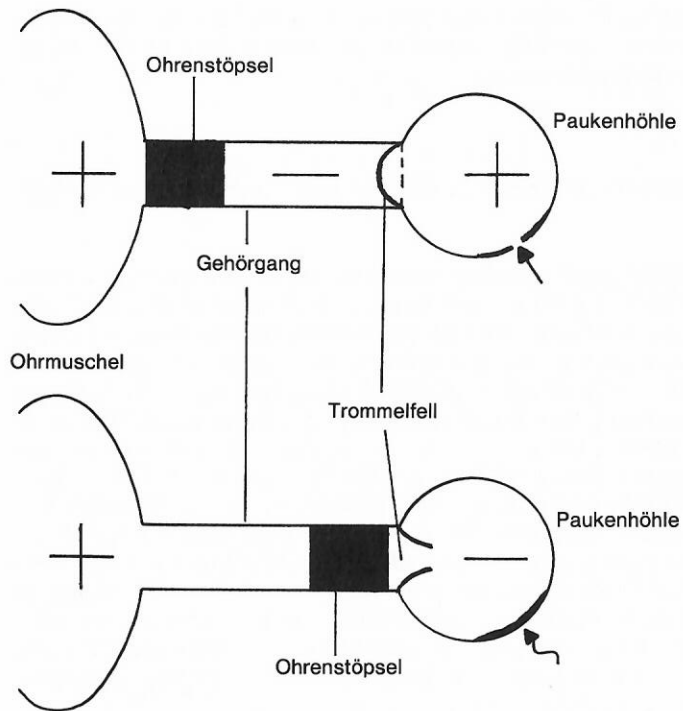


Abb. 70

Gehörgänge jeweils ein kleines Loch in die Haube. Ein kurzes Abheben der Haube nach dem Abtauchen bewirkt jedoch das Gleiche, so daß Wasser in die Gehörgänge eindringt und sich der steigende Umgebungsdruck fortpflanzen kann.

4. Die Barotraumen der Nebenhöhlen, der Zähne, der Haut, des Gesichtes und der Augen

4.1. Barotrauma der Nebenhöhlen

Von den mit dem Nasen-Rachen-Raum in Verbindung stehenden Nebenhöhlen werden am häufigsten die Stirnhöhlen, Nasennebenhöhlen und in seltenen Fällen die restlichen Nebenhöhlen von einem Barotrauma betroffen.

Stirn- und Nasennebenhöhlen sind völlig starrwandig. Daher kommt es bei Verschluss der Verbindungskanäle zum Nasen-Rachen-Raum frühzeitig zu Schleimhautschwellungen, Ausschwitzungen und Blutungen, um den beim Tiefertauchen steigenden Unterdruck auszugleichen (Abb. 71). Die ersten Symptome treten meist in Tiefen von 5–6 m auf.

Anzeichen für den Unterdruck ist ein langsam zunehmender, diffuser Kopfschmerz. Häufig begleitet durch einen stechenden Schmerz oberhalb der Nasenwurzel mit Ausstrahlung in die Augenbraue. Wird trotzdem tiefer getaucht, so kommt es meist zu stärkeren Blutungen in den betreffenden Nebenhöhlen. Das Schmerzempfinden kann nachlassen oder sogar völlig verschwinden.

Beim Auftauchen dehnt sich die eingeschlossene Luft aus. Es entsteht nun ein steigender Überdruck, hervorgerufen durch die vorausgegangenen Blutungen und der damit verbundenen Hohlraumverkleinerung. Dieser Überdruck äußert sich durch Schmerzen an den betroffenen Stellen. Das ausgetretene Blut in den Höhlen wird nun durch den Überdruck über die vorher verschlossenen Verbindungskanäle in den Nasen-Rachen-Raum gepreßt und erscheint in der Maske.

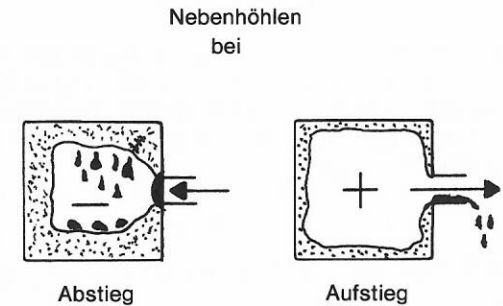


Abb. 71

Ein häufiges Wechseln der Tauchtiefe kann bei einem leicht behinderten Druckausgleich ein schnelles Anschwellen der Schleimhäute verursachen. Dabei werden nach einigen Tiefenwechseln starke, stechende Schmerzen an den betroffenen Stellen bemerkt. Typisch ist nach Erreichen der Wasseroberfläche ein dumpfer Überdruckschmerz. Es sollte daher ein häufiger Tiefenwechsel während eines Tauchganges vermieden werden.

Ein eigenständiges Krankheitsbild stellt der Hörsturz dar, der bei ABC-Tauchern nach Aufsuchen geringer Tiefen (3–5 m) durch plötzliche Druckerhöhung im Mittelohr beim Druckausgleich provoziert werden kann.

4.2. Barotrauma der Zähne

Machen sich Zahnschmerzen während oder nach dem Tauchen bemerkbar, so liegt ein Barotrauma der Zähne vor. Dieses Krankheitsbild tritt jedoch nur bei schadhafte Zähnen auf.

Grund hierfür ist ein hohler oder verplombter Zahn, bei dem unterhalb der

Füllung ein kleiner Hohlraum ist. Diese Hohlräume stehen bei schadhafte Zähnen mittels eines haarfeinen Kanals mit dem Rachenraum in Verbindung. Beim Abtauchen kann in diesen Hohlräumen ein Druckausgleich nicht schnell genug stattfinden, was sich durch ein »Ziehen« bemerkbar macht. Beim Auftauchen hingegen kann die sich ausdehnende Luft nicht schnell genug aus dem betroffenen Zahn entweichen. Dies macht sich durch einen schmerzhaften Druck in der Gegend des Zahnes bemerkbar oder die Füllung des Zahnes wird herausgesprengt. Der schmerzhaft Druck bleibt solange, bis sich wieder ein Druckgleichgewicht zwischen Zahnhohlraum und Umgebungsdruck eingestellt hat.

4.3. Barotrauma der Haut

Ein Barotrauma der Haut gibt es vorwiegend bei den Trockentauchanzügen. Hier wird die Luftblase im Anzug mit zunehmender Tiefe komprimiert, bis ein relativer Unterdruck herrscht. Dieser Unterdruck zieht Blut in die oberen Gewebeschichten der Haut. Das Blut bleibt beim Ausziehen des Anzuges als sogenannter Bluterguß zurück.

4.4. Barotrauma des Gesichtes und der Augen

Durch das Tragen der Tauchermaske wird ein künstlicher, luftgefüllter Hohlraum geschaffen, der dem Boyle-Mariottschen-Gesetz unterliegt. Ein Barotrauma kann in der von der Maske umschlossenen Gesichtshälfte auftreten, wenn nicht Luft durch die Nase in den Maskenraum abgelassen wird. Damit muß der mit zunehmender Tiefe steigende Umgebungsdruck ausgeglichen werden. Wird jedoch nicht in regelmäßigen Abständen der Maskeninnenraum belüftet, so kommt es zu einer wässrigen Schwellung im Bereich der Bindehaut. Im schlimmsten Fall platzen Äderchen im Auge, was eine vorübergehende Einschränkung der Sehleistung zur Folge haben kann.

5. Die Barotraumen der Lunge

5.1. Der Stimmritzenkrampf

Er ist ein Ereignis, das nicht nur von Tauchern gefürchtet wird. Der Name »Stimmritzenkrampf« ist eigentlich nicht richtig, denn die Stimmritze kann sich nicht verkrampfen. Die genaue Bezeichnung müßte »Stimmritzenverschluß« heißen.

Am oberen Ende der Luftröhre liegt der Kehlkopf. Das Gerüst des Kehlkopfes besteht aus vier Knorpeln, die durch elastische Gewebe miteinander verbunden sind. Die Stimmritzen werden durch den oberen, verdickten Rand gebildet.

Von oben betrachtet bilden die beiden Stimmritzen im Ruhezustand eine V-Stellung (Abb. 72).

Die Kehlkopfmuskeln haben zwei wesentliche Funktionen:

1. Sie dienen der Stimmerzeugung und
2. dem Schutz des Luftweges, indem sie bei Gefahr den Eingang und die Stimmritze reflektartig verengen bzw. abschließen.

Dieser Stimmritzenverschluß kann beim Taucher eintreten, wenn kaltes Wasser an den Kehlkopf gelangt. Die häufigste Ursache bei Tauchern ist wohl eine panische Angst, die Wasseroberfläche nach einem Zwischenfall nicht mehr rechtzeitig zu erreichen. Durch die Panik wird das möglicherweise schon vorher nicht ganz ausgeglichene vegetative Nervensystem aus dem Gleichgewicht gebracht, und die engermachenden Funktionen überwiegen. Die Folge ist eine Lungenüberdehnung oder im schlimmsten Fall ein Lungenriß, der die häufigste Todesursache beim Tauchen darstellt.

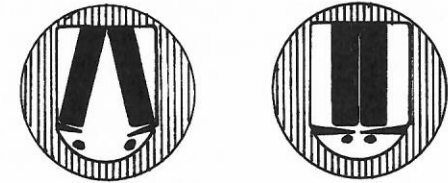
Die beste Maßnahme einem Stimmritzenverschluß entgegenzuwirken ist die solide Ausbildung. Dem Taucher muß klar sein, daß er selbst aus 30 m Tiefe in ausgeatmetem Zustand noch so viel Luft hat, um an die Oberfläche zu gelangen. Dies muß so vertraut sein, daß es ohne großen Denkvorgang reflektorisch richtig gemacht wird.

Wird beim Partner festgestellt, daß er in Panik zur Oberfläche schießt ohne abzuatmen, ist ein Schlag in die Magengrube angebracht. Hierdurch kann ein Lösen des Verschlusses und ein Abatmen erreicht werden. Kann man seinen Partner noch erreichen, aber kein Lösen des Verschlusses erzwingen, so hält man ihn besser unter Wasser. Würde er zur Oberfläche durchschießen, so wäre sein Tod auf Grund einer Lungenüberdehnung sicher.

5.2. Der Lungenriß

Ein Lungenriß kann ausschließlich beim Gerätetauchen auftreten. Die Gefahr des Lungenrisses ist deshalb gegeben, da durch den Lungenautomaten der Druck in der Lunge immer gleich dem Umgebungsdruck ist. Beim Auftauchen dehnt sich die Luft in der Lunge gemäß dem Boyle-Mariottschen-Gesetz in Folge des fallenden Umgebungsdruckes aus. Wird keine entsprechende, kon-

Aufsicht auf die Stimmritze in



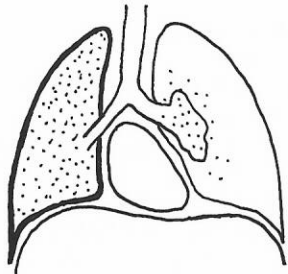
offener und geschlossener Stellung

Abb. 72

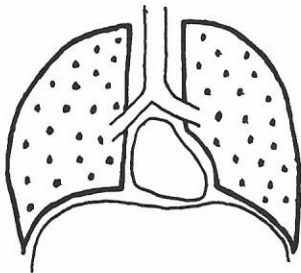
trollierte Druckentlastung (Ausatmung/kontrollierter Aufstieg) durchgeführt, so ist eine Lungenüberdehnung die Folge (Abb. 73).

Die Ursache einer Lungenüberdehnung kann durch viele Faktoren hervorgerufen werden. Allgemein ist jedoch der Hauptgrund immer ein behinderter Gasabfluß aus den Alveolen. Die häufigsten Ursachen einer Gasabflußbehinderung sind die folgenden:

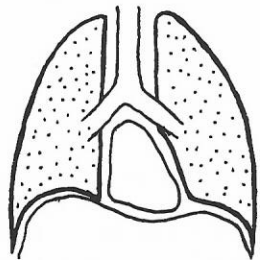
1. Panikartiges Auftauchen zur Wasseroberfläche, ohne dabei abzuatmen. Ein Aufstieg aus 1 m (0,1 bar Lungenüberdruck) Tiefe kann schon zu einer Lungenbläschenüberdehnung führen.
2. Aufstieg unter Wechsellatmung aus einem Gerät. Hier wird oft nicht genügend Luft abgeatmet.
3. Bei vorschriftsmäßig durchgeführten Notaufstiegsübungen, bei denen regel-



Lungen beim Aufstieg oder Oberfläche
Lungenriß



Lunge beim Aufstieg
Alveolen- bzw. Lungenüberdehnung



Lunge am Grund

Abb. 73

mäßig und kontinuierlich Luft abgeatmet wird, tritt eine Lungenüberdehnung ein, wenn die Aufstiegs- (0,3 m/sec.; Steiggeschwindigkeit der kleinsten Luftblasen) überschritten wird. Es wurden schon Aufstiegs- geschwindigkeiten von bis zu 60 m/min nachgewiesen.

4. Erkrankungen der Atemwege können Ursachen einer Gasabflußbehinderung sein.

Das Krankheitsbild äußert sich in einer Überdehnung von Lungenbläschen oder Zerreißen einzelner Lungenteile. Hier ist fast immer Luft und Blut im Brustraum. Die Symptome sind:

1. Brennender, stechender Schmerz auf der betroffenen Seite
2. Knisterndes Geräusch beim Abtasten des Brustkorbes in Höhe des Schlüsselbeines
3. Abklopfen des Brustkorbes; dumpfe Töne sind normal
4. Kopfschmerzen
5. Atemnot, Erstickungsgefühl
6. Bluthusten und Bluterbrechen
7. Schock
8. Ohnmacht
9. Tod.

Die größte Gefahr besteht darin, daß in 50% der Fälle ein Übertritt von Luftblasen in den Blutkreislauf stattfindet. Eine sogenannte arterielle Embolie entsteht. Die Symptomatik reicht je nach Ausmaß, von Symptomlosigkeit über Schlaganfall, Querschnittslähmung, Herzinfarkt bis zum Tod.

Eine Erste Hilfe sollte je nach Möglichkeit folgendes beinhalten:

1. Schockbehandlung; stabile Seitenlagerung, auf die schmerzende bzw. betroffene Seite legen, Beine hoch lagern, O₂ verabreichen
2. Rolle (Decke oder Handtuch) zum Überdehnen der gesunden Lunge unterlegen
3. Druckkammer
4. Transport ins Krankenhaus; dort OP
5. Husten- und schmerzdämpfende Medikamente
6. Infusion (Blut-, Plasmaexpander).

5.3. Gefährdung durch einen überlangen Schnorchel

Wie schon unter I.1.3. erwähnt, ist die Benutzung eines Schnorchels die einfachste Art, unter Wasser zu atmen. Dabei wird die Luft unter atmosphärischen Bedingungen eingeatmet, und es herrscht in der Lunge immer ein Luftdruck, der dem der Wasseroberfläche entspricht. Aufgrund der Druckdifferenz zwischen Wasseroberfläche und Lungenniveau (Abb. 74) entsteht ein geringer, relativer Unterdruck in der Lunge. Dieser Unterdruck ist ungefährlich, wenn die Länge eines Schnorchels 40 cm nicht überschreitet. Eine Verlängerung des Schnorchels zieht die gleichen Erscheinungen wie das Überschreiten der Freitauchgrenze (siehe I.2.9) nach sich. Im Körper treten durch den Unterdruck folgende Erscheinungen auf:

1. Lungenödem; Blutplasma tritt infolge des Unterdruckes aus und behindert den Gasaustausch.
 2. Blutgefäße der Lunge erweitern sich, Blutstau in der Lunge.
 3. Herzerweiterung, da es zwischen den Lungen liegt.
 4. Hauptschlagader ist innerhalb des Brustkorbes erweitert, außerhalb nicht.
 5. Blutdruckabfall und Sauerstoffmangel des Gehirns.
- Aus den Punkten 1–5 resultiert eine Bewußtlosigkeit, die recht rasch eintritt.

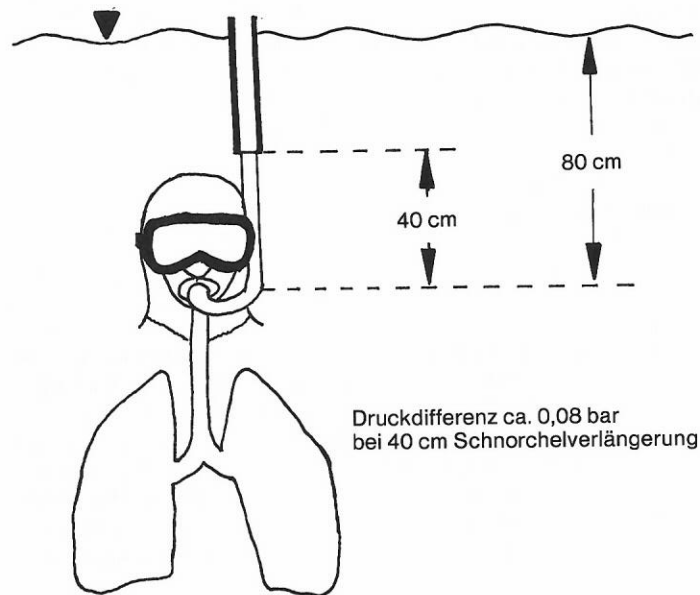


Abb. 74

Zusätzlich entsteht durch die Verlängerung des Schnorchels eine weitere Vergrößerung des Atemlufttodraumes. Die Ausatemluft wird nicht mehr gegen Frischluft ausgetauscht und der Kohlendioxydgehalt steigt. Somit wird der Sauerstoffmangel des Organismus unterstützt, was den Eintritt einer Bewußtlosigkeit beschleunigt (Pendelatmung).

6. Auswirkungen veränderter Gaspartialdrücke

6.1. Sauerstoffmangel

Der Energie- und Sauerstoffverbrauch ist beim Tauchen sehr groß. Gründe hierfür gibt es genügend, wie zum Beispiel Strömung, Bergen von Gegenständen,

Kälte, Angst etc.. Meist treten die Symptome beim ungeübten Taucher häufiger und schneller auf. Die Folge ist dann eine einsetzende Beschleunigung der Atmung, wobei die Sauerstoffausnutzung immer schlechter wird. Kurzatmigkeit und eine rasche, oft hechelnde Atmung stellt sich ein. Die Atmung findet dann fast nur noch im Todraum statt, woraus ein Sauerstoffmangel resultiert. Dieser Sauerstoffmangel kann zu einer Bewußtlosigkeit führen, solange keine Gegenmaßnahme getroffen wird.

Die primäre Gegenmaßnahme ist, daß jede Betätigung eingestellt bzw. langsamer durchgeführt wird. Es muß ein regelmäßiges Atmen erzwungen werden, bis der Atemrhythmus wieder normal ist. Gelingt eine Befreiung aus der Kurzatmigkeit nicht, so ist langsam und kontrolliert aufzutauchen, denn dieser Zustand führt leicht in eine Panik (siehe 9.2.).

6.2. Überhöhter O₂-Partialdruck

Sauerstoff kann in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer und der Höhe des Sauerstoffpartialdruckes giftige Wirkung auf den menschlichen Organismus haben. Hierbei führen geringe O₂-Partialdrücke über einen längeren Zeitraum oder hohe O₂-Partialdrücke über kurzen Zeitraum zu den selben Vergiftungserscheinungen.

Die kritische Grenze des zulässigen O₂-Druckes ist 1,72 bar (1292 Hg). Bei Verwendung von Sauerstoffkreislaufgeräten ist der Wert von 1,7 bar bereits in 7 m Wassertiefe erreicht. Um mit Preßluftgeräten an diesen Wert zu gelangen ist eine Tiefe von ca. 74 m nötig. Da die Tiefe von 74 m jedoch nie von Feuerwehrtauchern erreicht wird, kommt die toxische Wirkung des Sauerstoffes nicht in Betracht.

Einige Umwelteinflüsse sowie die individuelle Empfindlichkeit begünstigen das Auftreten von O₂-Vergiftungen, z. B. vermehrte körperliche Anstrengung, nervliche Belastung, niedrige Umgebungs- und Wassertemperatur.

Die Anzeichen für eine Sauerstoffvergiftung können sich wie folgt äußern:

Flimmern vor den Augen

Übelkeit

Einschränkung des Bewußtseins

Zucken einzelner Muskelgruppen

Epilepsieartige Krampfanfälle

Bewußtlosigkeit

Erinnerungslücken

Ohne Hilfeleistung führen solche Anfälle zum Tod durch Ertrinken. Die Hilfsmaßnahmen gliedern sich wie folgt auf:

1. Befreiung vom pO₂, Zufuhr von Frischluft; so gehen alle Erscheinungen ohne besondere Maßnahmen innerhalb einer Stunde zurück.
2. Betroffenen in Decken einhüllen, um eine Unterkühlung zu vermeiden.
3. Während des Krampfanfalles den Betroffenen vor Verletzungen bewahren.
4. Künstliche Beatmung, besonders mit O₂, ist zu unterlassen.
5. Arzt aufsuchen.

6.3. Überhöhter CO₂-Partialdruck

Die Ursache einer CO₂-Vergiftung ist ein erhöhtes Kohlendioxidangebot in der Einatemluft.

Dieses erhöhte Kohlendioxidangebot kann mehrere Gründe haben. Wie zum Beispiel verunreinigte Atemluft bzw. verbrauchte Filter, Pendelatmung oder ein Druckkammeraufenthalt ohne Frischluftspülung.

Durch den erhöhten CO₂-Partialdruck wird das Säure-Basen-Gleichgewicht im Blut gestört und zwar erfolgt eine pH-Verschiebung zur Übersäuerung. Das Atemzentrum, das im wesentlichen vom Kohlensäurespiegel im Blut gereizt wird, löst eine gesteigerte Atmung aus. Durch dieses Mehratmen soll, als sinnvolle Reaktion des Organismus, der Kohlensäurespiegel im Blut bzw. das Säure-Basen-Gleichgewicht wieder normalisiert werden.

Die Anzeichen einer Kohlendioxidvergiftung können sich wie folgt äußern:

Atemnot

Kopfschmerzen

Schwindel

Schweißausbruch

Übelkeit

Brechreiz

Bewußtlosigkeit

Als Gegenmaßnahme ist eine Frischluftzufuhr, besser O₂-Beatmung, angezeigt.

6.4. CO-Vergiftung

Eine CO-Vergiftung entsteht, wenn der Kohlenmonoxydanteil in der Einatemluft geringfügig erhöht ist. Die Ursache kann im Wesentlichen zwei Gründe haben.

1. wenn der Kompressor mit Verbrennungsmotor angetrieben wird, so daß bei ungünstigem Standort die Abgase über den Luftansaugschlauch in die Geräteflasche gelangen. 2. wenn der Luftansaugschlauch knapp über dem Boden in der Nähe einer stark befahrenen Straße liegt.

Kohlenmonoxid ist für den menschlichen Organismus äußerst giftig, da es eine ca. 300 mal größere Verwandtschaft zu Hämoglobin besitzt und den Sauerstoff aus der Bindung verdrängt.

Die Anzeichen einer Kohlenmonoxydvergiftung können sich wie folgt äußern:

Schwindel

Benommenheit und Ohrensausen

Rauschartige Zustandsbilder

Konzentrations- und Handlungsfähigkeit läßt nach

Gesicht bekommt rosige Färbung

Atmung wird flacher

Krämpfe

Bewußtlosigkeit

Atemlähmung

Als Gegenmaßnahme ist eine Frischluftzufuhr und O₂-Beatmung angezeigt.

6.5. N₂-Einwirkung (Tiefenrausch)

Die exakte Ursache dieses Krankheitsbildes ist bis zum heutigen Tag noch nicht restlos geklärt.

Fest steht jedoch, daß der Stickstoff, als Inertgas, in der Einatemluft den ausschlaggebenden Faktor spielt. Unter erhöhtem Druck haben alle Inertgase eine narkotische Wirkung. Als inert (lat. untätig, träge) werden Gase bezeichnet, die keine biochemische Reaktion eingehen (z. B. N₂, He, Ne).

Stickstoff geht unter atmosphärischen Bedingungen keine chemische Reaktion im menschlichen Organismus ein. Unter Überdruck erfolgt jedoch eine ca. 5mal höhere Fettlöslichkeit, was durch eine zentralnervöse Wirkung nachgewiesen ist.

Will man mit Stickstoff eine Narkose erzielen, so wären Drücke von 35–40 bar notwendig. Bei 30 m Tauchtiefe wird ein N₂-Partialdruck von ca. 3,2 bar erreicht, der bereits euphorische Zustandsbilder hervorrufen kann. Ausschlaggebend ist jedoch der körperliche sowie ausbildungsmäßige Leistungsstand des Tauchers. Psychische Erregbarkeit, Psychopharmaka sowie Alkohol können den Eintritt eines Tiefenrausches bereits in viel geringerer Tiefe hervorgerufen. Eine größere Menge Restalkohol kann bereits in Tiefen von 10–15 m zum Auftreten von Tiefenrauschsymptomen führen. Der Partialdruck von Kohlendioxid soll die narkotische Wirkung verstärken.

Die eigentliche Grenze für das Auftreten eines Tiefenrausches liegt beim trainierten Taucher zwischen 35–40 m Wassertiefe.

Die Anzeichen eines Tiefenrausches können sich wie folgt äußern:

Alkoholrauschartige Symptome

Euphorisches Grundgefühl oder Angstzustände

Starke Einschränkung der Kritikfähigkeit und Konzentration

Selbstüberschätzung

Erinnerungslücken

Fehlhandlung

Falsche oder fehlende Leinen- bzw. Handzeichen.

Sucht der Taucher geringere Tiefen auf, so verschwinden die Erscheinungen.

Es ist jedoch zu beobachten, ob nicht ein Überlaufen von Angst zur Panik eintritt.

Zur Sicherheit muß der Taucher den Tauchgang beenden.

7. N₂-Lösung und der Austauschprozeß mit seinen Risiken

7.1. N₂-Aufnahme und Abgabe in den Körpergeweben

7.1.1. Abstieg und Aufenthalt am Grund

Beim Abstieg und während des Aufenthaltes auf dem Grund atmet der Taucher Luft unter einem höheren als dem atmosphärischen Druck; dieser Druck entspricht jeweils dem Druck des ihn umgebenden Wassers, da sonst eine Atmung nicht möglich wäre. Wie bekannt, erhöht sich der Wasserdruck für je 10 m Tiefe um 1 bar. ~

Die (Ein-)Atemluft enthält, unabhängig vom Druck rund 20% Sauerstoff und 80% Stickstoff. Beim Durchgang durch die Lunge lösen sich diese Gase entsprechend dem herrschenden Druck im Blut (der Sauerstoff wird zum größten Teil an das Hämoglobin gebunden; der in der Blutflüssigkeit gelöste Sauerstoff kann bei dem nun Folgenden außer Betracht bleiben, da er bei dem Entstehen der Taucherkrankheit praktisch keine Rolle spielt). Die Menge des gelösten Stickstoffs ist nach dem Daltonschen Gesetz direkt vom (Teil-)Druck abhängig, d. h. je größer die Wassertiefe, desto mehr Stickstoff wird schließlich im Blut gelöst sein. Das Blut ist bei seinem Durchgang durch die Lunge praktisch mit Stickstoff gesättigt, denn es ist dort über eine große Oberfläche (ca. 200–300 m²) mit der Atemluft in Kontakt. Diese gewaltige Oberfläche ergibt sich durch die Vielzahl der Lungenbläschen, die von Kapillaren umspinnen sind. Das arterielle Blut trägt den gelösten Stickstoff in den Körper, wo der Oberflächenkontakt mit den Zellen der einzelnen Gewebe beträchtlich ist.

Beim Durchgang durch ein Gewebe wird nun so viel Stickstoff an dieses abgegeben, wie es dem Druckunterschied zwischen dem im Blut und dem im Gewebe gelösten Stickstoff entspricht. Während an der Oberfläche im gesamten Körper ein Stickstoffpartialdruck von rund 0,8 bar herrscht, steigt beim Tauchen der Stickstoffteildruck in der Lunge rascher als im Blut und in den Geweben. Zum Beispiel herrscht in 30 m Wassertiefe in den Lungen ein Teildruck von 3,2 bar Stickstoff und damit eine Druckdifferenz von 2,4 bar (3,2 minus 0,8), die den Stickstoff ins Blut und in die Gewebe »drückt«. Diese Druckdifferenz verringert sich in dem Maße, wie sich das Gewebe mit Stickstoff belädt. Der Lösungsprozeß, der anfangs sehr rasch vor sich geht, verlangsamt sich mehr und mehr, je näher die Grenze der vollständigen Sättigung erreicht wird. Er folgt einem Exponentialgesetz, das man in der Natur oft antrifft. Der Grad der während des Tauchens erreichten Sättigung hängt von vier Faktoren ab:

1. Tauchtiefe (= höchster erreichter (Teil-)Druck des Stickstoffes).
2. Tauchzeit (= Dauer der Druckeinwirkung).
3. Durchblutung des betreffenden Gewebes. Je zahlreicher die Kapillare sind, die das Gewebe durchziehen und je größer das Blutangebot ist (es wechselt mit der geleisteten Anstrengung), um so rascher gleicht sich der Druck des in diesem Gewebe gelösten Stickstoffes dem Stickstoff-Teildruck für die entsprechende Tiefe an.

4. Stickstofflöslichkeit in dem betreffenden Gewebe; in fetthaltigen Geweben löst sich fünf- bis sechsmal mehr Stickstoff als in wasserhaltigen. Der menschliche Körper enthält im Durchschnitt 13% Fett und 70% Wasser. Das Knochenmark enthält 90% die Rückenmarksubstanz 27% Fett. Ein schlecht durchblutetes Gewebe mit hohem Stickstofflöslichkeitsvermögen braucht also für die vollständige Sättigung mit Stickstoff am längsten.

Die Sättigung der Gewebe mit Stickstoff hält so lange an, bis sich ein Gleichgewicht mit dem Druck dieses Gases in der umgebenden Luft eingestellt hat. Der Körper enthält unter atmosphärischem Druck (1 bar) ca. 1 l Stickstoff in einer Verteilung entsprechend der Löslichkeit dieses Gases in den verschiedenen Geweben. Wenn der Druck der Atemluft um ein bar zu- oder abnimmt, kann der Körper einen weiteren Liter Stickstoff lösen bzw. ausscheiden. Eine vollständige Sättigung kann in jeder Wassertiefe erreicht werden, wenn die Aufenthaltsdauer lang genug ist. Untersuchungen an Menschen haben gezeigt, daß 9 bis 12 Stunden nötig sind, bis das oben erwähnte Gleichgewicht hergestellt ist. Diese lange Zeitspanne ist auf die beschränkte Transportfähigkeit des Blutes, auf die verzögerte Aufnahme durch Fettgewebe und auf die normalerweise mäßige Durchblutung gewisser Körpergewebe (Knochen, Sehnen und Bänder) zurückzuführen. Diese Zeitspanne ist unabhängig vom ausgeübten Druck. Auch in großen Tiefen geht es nicht schneller, denn entsprechend dem größeren Druck ist auch die Menge des in Lösung gezwungenen Stickstoffs höher, so daß das Verhältnis (ca. 1 l bei 1 bar, 7 l bei 7 bar) das gleiche bleibt; bzw. je geringer die Tiefe desto geringer ist auch die Druckdifferenz zwischen Lunge und Gewebe.

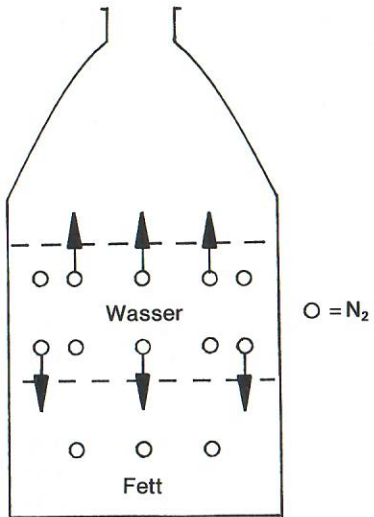
7.1.2. N₂-Diffusion

Außer seinem Transport durch das Blut diffundiert der gelöste Stickstoff während des Abstieges oder des Aufenthaltes auf dem Grund nach den bekannten Gesetzen aus den Geweben, in denen der Stickstoffteildruck am höchsten ist, zu den benachbarten Geweben mit niedrigerem Druck.

Wenn der Aufstieg nach der vollkommenen Sättigung stattfindet (Ausnahmefall = Sättigungstauschen), kehrt sich die Stickstoffdiffusion zwischen den Geweben vom Beginn des Aufstieges an um. Findet der Aufstieg vor der vollkommenen Sättigung statt (Regelfall), so tritt diese Diffusionsumkehr erst nach einer gewissen Zeit ein.

Die Diffusion zwischen den Geweben hat immer das Bestreben, die Druckunterschiede des im Körper gelösten Stickstoffes auszugleichen.

Zur besseren Veranschaulichung stellt man sich den Körper als eine Mischung aus Wasser und Fettsubstanzen vor, die sich in einer offenen Flasche befinden. Ein erheblicher Teil des Fettes ist beim Menschen von Knochen umgeben, wie z. B. das Knochenmark und die Rückenmarksubstanz. Dieses in den Knochen enthaltene Fett denke man sich auf dem Boden der Flasche liegend. Wenn nun der Flascheninhalt für kurze Zeit einem hohen Stickstoffdruck ausgesetzt und dann rasch wieder auf atmosphärischen Druck gebracht wird, findet eine Diffusion des Stickstoffes aus dem Wasser in die umgebende Luft und gleichfalls in das teilweise gesättigte Fett darunter statt (Abb. 75). Mit anderen Worten, das



Wasser (sog. »schnelle Gewebe«) kann sich entsättigen, während das Fett (»langsame Gewebe«) sich noch weiter sättigt. Infolgedessen scheint das teilgesättigte Fett nach kurzer Druckeinwirkung gewissermaßen als Puffer gegen die Blasenbildung in dem darüberliegenden Wasser zu wirken. Im Gegensatz dazu wird das Fett nach langer Einwirkungszeit als Stickstoffspeicher die Blasenbildung fördern. Da das überschüssige Gas nur über das darüberliegende entsättigte Wasser in die Luft entweichen kann.

Abb. 75

7.1.3. .Aufstieg

Beim Aufstieg fällt der Stickstoffteildruck in der Lungenluft. Das Phänomen des Gasaustausches beginnt sich umzukehren, sobald der Druck unter den, des im venösen Blut gelösten Stickstoffes fällt (nur bei vollständiger Sättigung ist er gleich dem im arteriellen Blut, sonst liegt er darunter). Von diesem Augenblick an befinden sich die Gewebe im Zustand der sog. Übersättigung.

Wenn der Druckabfall (= Aufstieg) langsam genug ist, wird der Zustand der Übersättigung nicht unterbrochen; der im Blut gelöste Stickstoff wird auf dem Niveau der Lunge frei, und nach und nach nimmt der in den Geweben gelöste Stickstoff seinen Platz ein, bis sich die normale Sättigung – dem Atmosphärendruck entsprechend – wieder eingestellt hat. Auch der Ablauf der Stickstoffausscheidung verläuft exponentiell, d. h. anfangs sehr rasch; er wird in dem Maße langsamer, wie der Unterschied abnimmt. Auch die Zeitspanne (9–12 Std.) ist die gleiche.

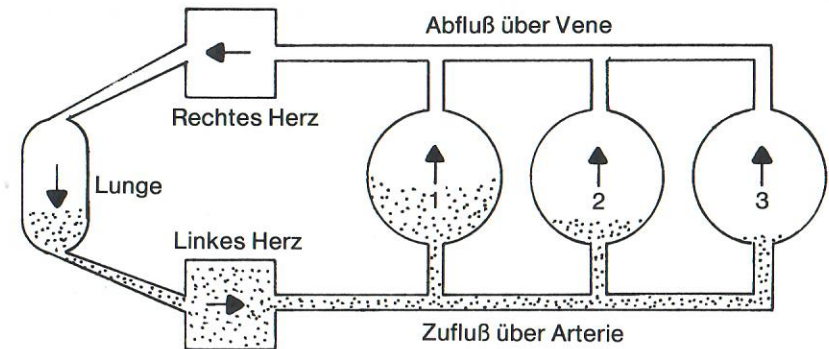
Geht der Aufstieg zu rasch vor sich, so übersteigt die Übersättigung ihren kritischen Wert, der von Fall zu Fall schwankt. Das gelöste Gas entweicht dann im Inneren des Organismus unter Blasenbildung wie aus einer Selterswasserflasche, die man ruckartig geöffnet hat. Diese Blasen sind die Ursachen der Taucherkrankheit (Caissonkrankheit).

Blasen die sich in den Blutgefäßen gebildet haben, führen zu Störungen der Blutzirkulation. Die Art und Schwere der Symptome ist abhängig von dem Entstehungsort und der Größe dieser Blasen. Die Prognose hängt von der Zeitdauer ab, während der die Durchblutung unterbrochen bleibt. Zudem können sich Blasen im Inneren der Gewebe selbst bilden (besonders derjenigen,

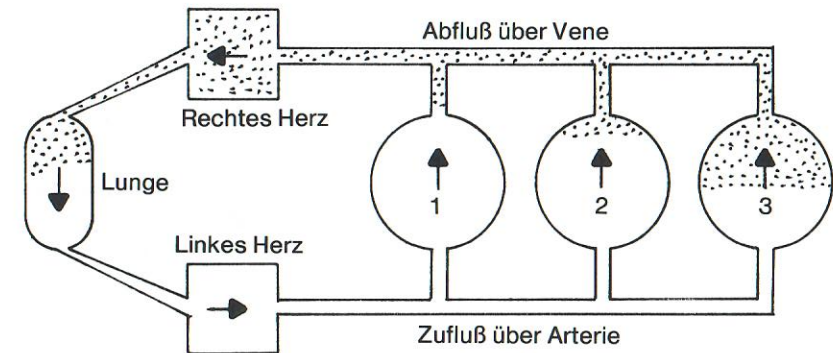
die Stickstoff nur langsam aufnehmen, z. B. Nervenscheiden, Knochenmark) und durch den Druck und Überdehnung zu Gewebeerstörungen führen. Im Augenblick ihrer Entstehung ist die Caissonkrankheit also nichts anderes, als ein Stillstand des Kreislaufes an einem Punkt des menschlichen Körpers durch Gasblasen, im wesentlichen Stickstoff. Auch der in der Blutflüssigkeit gelöste Sauerstoff ist zu einem geringen Teil an der Blasenbildung beteiligt. Er löst sich bei höherem Druck vermehrt im Blut und dann in den Geweben, aber da er im Körper ständig verbraucht wird, steigt sein Lösungsdruck langsamer als der des Stickstoffes und fällt bei Druckentlastung viel rascher ab. Etwa entstandene Sauerstoffblasen dürften demnach keine lange Lebensdauer haben und deshalb kein Durchblutungshindernis darstellen, welches Schäden verursachen kann.

Stickstoffsättigung von drei verschiedenschleunigen Geweben

Kompartimente



Entsättigung; N₂ verläßt die Gewebe in umgekehrter Weise



- 1 Beinmuskeln
- 2 Milz
- 3 Rückenmark

Abb. 76

Die Gefahr einer Erkrankung ist mit dem Erreichen der Wasseroberfläche keineswegs beseitigt. Die Krankheitszeichen treten bei 50% in 30 Minuten, bei 80% innerhalb einer Stunde, bei 95% innerhalb drei Stunden und bei 1% nach 6–15 Stunden auf, nachdem die Wasseroberfläche erreicht wurde. Der Druck des in den Geweben gelösten Stickstoffes bleibt für lange Zeit höher als der Druck der Stickstoffblasen (der dem atmosphärischen Druck entspricht). Unter diesen Bedingungen haben die Blasen, wenn sie sich einmal gebildet haben, sogar die Tendenz, sich zu vergrößern.

7.2. Formen der Dekouanfälle

Beim Auftauchen verringert sich der N_2 -Partialdruck in der Lunge. Das Blut gibt N_2 ab. Bei schneller Druckentlastung wird die Transportkapazität des Blutes überfordert, der Stickstoff wird bläschenförmig wie beim Öffnen einer Selterswasserflasche in den Geweben frei (Abb. 77). Es kommt, je nach dem Grad der Sättigung, vor allem in den schlecht durchbluteten Geweben zu Störungen. Formen der Störungen sind:

1. Taucherflöhe

Leichteste Form. Jucken und Prickeln der Haut, kleine rote Flecken oder Marmorierungen (weiße, rötlich-bläuliche Hautbezirke). Ursache sind Durchblutungsstörungen durch mit N_2 -Bläschen verschlossene Kapillare bzw. N_2 -Bläschen im Unterhautfettgewebe.

2. Bauchschmerzen

Nicht zu verwechseln mit Schmerzen durch sich ausdehnende Darmgase. Dehnungsschmerz durch ausperlenden Stickstoff im Fettgewebe. Fettgewebe werden schlecht durchblutet, daher geht der Abtransport des ausperlenden Stickstoffes langsam vor sich. Fett hat eine 5mal bessere Löslichkeit des Stickstoffes als Wasser.

3. Gelenkschmerzen/Bends

Hier perlt Stickstoff in den Gelenkkapseln aus. Betrifft meistens die großen Gelenke der stärker in Anspruch genommenen Gliedmaßen. N_2 in den Knochenbälkchen am Ende der großen Röhrenknochen kann zu Durchblutungsstörungen in den Gelenkköpfen und so zu chronischen Gelenkveränderungen führen.

4. Nervensystem/Lähmungen

Nerven haben fetthaltige Nervenscheiden (vgl. Isolierung eines Kabels). N_2 kann dort und in den Nervensträngen des Rückenmarks sowie des Gehirns

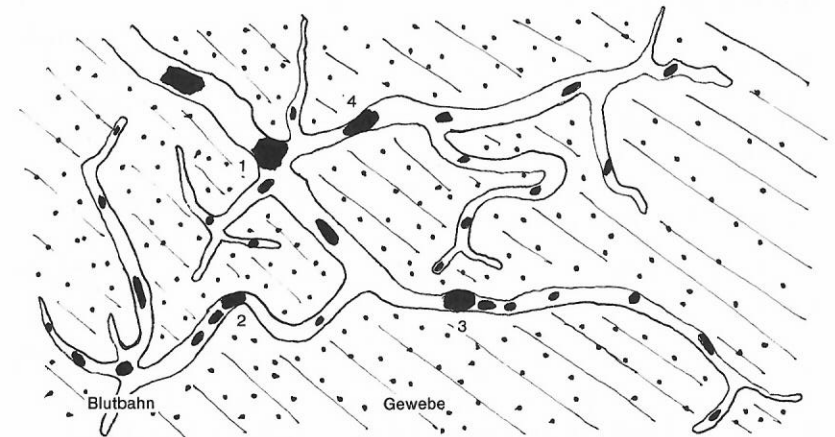
ausperlen. Durch Druck auf die entsprechenden Stellen entstehen Schmerzen, Gefühlsstörungen und Lähmungen einzelner Muskeln (Muskelgruppen) bis zur Querschnittlähmung.

5. Stickstoff-Embolie

Stickstoffblasen im Blut können je nach Lage und Größe die Gefäße verstopfen:
 Arm- und Beinarterien: Blässe, Schmerzhaftigkeit; meist Ausweichkreislauf möglich, ansonsten stirbt das betreffende Glied ab
 Lungenarterie (Chokes): Atemnot, Schock, Schmerzen, Herzschlag
 Herzkranzgefäße: Herzschlag, Herzinfarkt
 Hirnarterie: je nach Lage = Ausfall der Sinnesorgane, Gefühlsstörungen, Lähmungen, Schlaganfall, bei wichtigen Zentren z. B. Atemzentrum = Tod
 Sammeln von Blasen im Herzen: Herz schlägt leer = Tod.

6. Spätschäden/Chronische Schäden

Hirnschäden
 Stimmungsinstabilität
 Persönlichkeitswandel
 Hysterische Zustandsbilder
 Hörverlust/Taubheit
 Skelettveränderungen
 Sinken der Kritikfähigkeit
 leichte Ermüdbarkeit
 Merkstörungen
 Alkoholintoleranz
 Schwindelzustände.



An den Punkten 1–4 behindern N_2 -Bläschen in den Blutbahnen eine einwandfreie Blutzirkulation

Abb. 77: Die N_2 -Abgabe aus dem Gewebe in die Blutbahnen

7.3. Erste Hilfe bei Dekounfällen

So schnell wie möglich in die nächste Druckkammer!

Bis dahin:

1. *Stabile Linksseitenlage*, Kopf tief.
Somit steigen die Gasblasen nicht sofort ins Herz bzw. in den Kopf.
2. *O₂-Beatmung*.
Dadurch fällt der N₂-Partialdruck in der Lunge und der gelöste Stickstoff wird schneller abgeatmet.
3. Wenn möglich *Plasmaexpander*.
4. *Druckkammer*, Arzt verständigen.
5. *Erschütterungsfreier Transport* (lieber langsam).
Durch Erschütterung wird die Gasblasenbildung gefördert (wie wenn man eine Selterswasserflasche schüttelt).
6. Bei *Hubschraubertransport* ist die maximale Flughöhe 300 m. Da mit Höhenzunahme der (Umgebungs-)Luftdruck fällt und somit die Gasblasenbildung gefördert wird.
7. *Taucherprotokoll* erstellen (siehe 12.6.).

7.4. Die Austauschtafel; ihre Entstehung

Schon Paul Bert hat einen langsamen Aufstieg mit gleichbleibender Geschwindigkeit empfohlen, um die als Ursache der Taucherkrankheit erkannte Blasenbildung zu vermeiden. Obwohl die Dauer des Aufstieges verlängert wurde, traten gelegentlich noch Unfälle auf.

Die »Instruktion für Taucher« der deutschen Marine (1872) forderte (Zitat nach Stelzner):

»Ein langsames Steigen ist im allgemeinen und besonders bei großen Tiefen nicht genug zu empfehlen, weil der plötzliche Wechsel des Druckes schädlich ist. Oft ist sogar ein öfteres Anhalten beim Auftauchen geboten. Das Außerachtlassen dieser Vorschrift kann dem Tauchenden sehr nachteilig werden und sogar sein Leben gefährden. Der Erfinder des Apparates hält für notwendig, daß zum Steigen für eine Höhe von 1–2 Metern mindestens eine Minute gebraucht wird, daß also das Steigen aus einer Tiefe von 20–40 Metern 20–40 Minuten in Anspruch nimmt.«

Erst 1907 wurde mit der Herausgabe der Arbeit der »Commission for Deep Diving« der englischen Admiralität endlich Regeln aufgestellt, die die Sicherheit der Taucher und Caissonarbeiter bei der Rückkehr auf atmosphärischen Druck gewährleistet. Diese Regeln wurden in einer Tabelle zusammengefaßt und waren im wesentlichen das Werk des englischen Physiologen Haldane (1860–1936). Sie wurden überall angewandt. Haldane ging von folgenden Überlegungen aus:

»Die Blasenbildung hängt offensichtlich von dem Vorhandensein einer Übersättigung der Körpersäfte mit Stickstoff ab. Es gab jedoch vielfältige Beweise, daß wenn der atmosphärische Überdruck ca. 1¼ bar nicht überstieg eine völlige Immunität gegenüber den durch die Blasen verursachten Symptomen bestand, gleichgültig wie lange die Druckeinwirkung eingehalten hatte und wie rasch ausgetaucht wurde. Das bedeutet, wenn die Übersättigung nicht mehr als einer Dekompression von einem Gesamtdruck von 2¼ bar auf einen Gesamtdruck von 1 bar (d. h. normaler Oberflächendruck) entspricht. Das Volumen des Stickstoffes, der sich freisetzen möchte, ist das gleiche, wenn der Druck halbiert wird, gleich ob der Druck hoch oder nieder war. Daher erscheint es mir möglich, daß es genauso gefahrlos ist, den Druck von 4 auf 2, oder von 6 auf 3 herabzusetzen, wie von 2 auf 1 bar. Wenn das der Fall wäre, könnte ein System der stufenweisen Dekompression möglich sein, und es würde dem Taucher ermöglichen, den Stickstoffüberschuß durch die Lunge viel rascher loszuwerden, als wenn er mit gleichförmiger Geschwindigkeit aufstiege. Die Dauer der Einwirkung hohen Druckes könnte sehr erheblich herabgesetzt werden, ohne die für Arbeiten auf dem Grund verfügbare Zeit zu vermindern.«

Haldane stützte sich also auf die Erfahrungstatsache, daß ein Taucher ohne Beschwerden aus 12 Metern rasch zur Oberfläche aufsteigen kann, gleichgültig wie lange seine Aufenthaltszeit gewesen ist. Dabei übersteigt der Druck des in den Geweben gelösten Stickstoffes das Doppelte des umgebenden Druckes. Daraus folgerte Haldane, daß man den Taucher (bis in bestimmte Tiefen) ohne Beschwerden auf eine erste Stufe bringen könne, wo der Wasserdruck der Hälfte des (Stickstoff-)Druckes in dem am meisten gesättigten Gewebe entspräche. Diese Theorie wurde durch Experimente bestätigt, und es war möglich, den Aufstieg des Tauchers ohne Risiko durchzuführen. Die einzige Bedingung war, daß die Aufstiegsgeschwindigkeit so eingerichtet wurde, daß der Wasserdruck immer mindestens gleich der Hälfte des Druckes des am stärksten stickstoffgesättigten Gewebes blieb. Ein Aufstieg unter diesen Bedingungen setzt eine unterschiedliche Geschwindigkeit voraus (da der Druck des im Körper befindlichen Stickstoffes nicht linear abfällt, muß die Aufstiegsgeschwindigkeit im Verhältnis zur Annäherung an die Oberfläche abnehmen), was in der Praxis schwer durchzuführen ist. Daher begründete Haldane eine entsprechende Aufstiegsmethode, bei der der Taucher alle 3 Meter für eine durch Tabelle festgelegte Zeit anhält, bis der Stickstoffpartialdruck im langsamsten Gewebe einen Wert erreicht hat, der den Aufstieg zur nächsten Stufe ohne Überschreiten des kritischen Übersättigungswertes erlaubt.

Schon Haldane äußerte Zweifel, ob die von ihm erkannte Gesetzmäßigkeit des Halbierens des absoluten Druckes auch für größere Tiefen, als sie bis dahin erforscht waren, Gültigkeit habe. Während eines Experimentes mit 12 Ziegen (92 m Tiefe, 30 Minuten Dauer, erste Stufe 36 m, Gesamttauchzeit 122 Minuten) traten schon frühzeitig Krankheitssymptome auf, was vermuten ließ, daß der anfängliche Druckabfall von 92 auf 36 Meter zu groß war. Durch Berechnungen und durch stufenweises Austauchen (unter **Zugrundelegung einer Druckverminderung von 1,75 : 1 statt 2 : 1**) ließen sich die Beschwerden vermeiden. Die physiologische Erklärung für die 2 : 1-Regel liegt in der zähflüssigen, leimartigen-albuminösen Struktur des Blutes, in dem sich Blasen nicht so rasch

bilden, und das dadurch zweimal soviel Gas in Lösung halten kann wie Wasser bei gleichem Druck. Auch die Gefäßwände und die Form der Blutgefäße vermindern die Neigung zur Blasenbildung.

Der Abstieg zählt zur Tauchzeit. Er soll daher so schnell vor sich gehen, wie es die verwendete Ausrüstung und der Druckausgleich in den Ohren zuläßt. Ein langsamer Abstieg ist zwecklos, da die Stickstoffsättigung nicht erst auf dem Grund, sondern mit dem Moment des Verlassens der Wasseroberfläche einsetzt.

Die Dauer des Aufstieges bis zur ersten Stufe ist bereits Bestandteil des Austauschens. Bestimmte Gewebe des Körpers scheiden während dieser Zeit schon Stickstoff aus. Zwar neigt der Körper (durch die Diffusion) dazu, ein Gleichgewicht des gesamten im Körper gelösten Stickstoffes herzustellen, aber gegen Ende des Aufstieges kann trotzdem in den fetthaltigen Geweben die Grenze der Übersättigung erreicht werden. Wenn auch gefordert werden muß, daß der Aufstieg anfangs rasch vor sich gehen soll, um möglichst bald die oben beschriebene Diffusionsumkehr zu erreichen, so sollte die Aufstiegsgeschwindigkeit bei zunehmender Annäherung an die Wasseroberfläche bzw. die erste Austauschstufe beträchtlich herabgesetzt werden.

In der deutschen Tauchpraxis ist eine gleichmäßige Aufstiegsgeschwindigkeit von 0,3 m/Sek. = 18 m/Min. üblich, wie sie die FwDV 8 auch vorschreibt. Untersuchungen in letzter Zeit haben jedoch ergeben, daß eine Aufstiegsgeschwindigkeit von 10 m/Min. das Optimale ist.

Für das Tauchen im Feuerwehrdienst ist die Austauschtafel mit Anmerkung aus der Unfallverhütungsvorschrift – Taucherarbeiten – (VBG 39) verbindlich (siehe FwDV 8 Anhang Nr. 3).

7.5. Nullzeiten

Nullzeit ist die Tauchzeit eines einzigen Tauchganges, bzw. die Summe der Tauchzeiten mehrerer Tauchgänge eines Tauchers innerhalb 12 Stunden unter entsprechender Berücksichtigung der aufgesuchten Tiefe und Tauchzeit, für die keine Haltezeiten während des Aufstieges beim letzten Tauchgang erforderlich sind. In geringeren Tiefen ist sie verhältnismäßig lang, und wird um so kürzer, je tiefer getaucht wird.

Innerhalb des 10-m-Bereiches herrscht die sogenannte unendliche Nullzeit. D. h. in diesem Bereich kann unbegrenzt lange und beliebig oft während eines Tages getaucht werden. Der Druckabfall ist hier maximal 50%, also unschädlich.

Die Nullzeit ist in der Austauschtafel immer die erste horizontalverlaufende Linie. Zum Beispiel 12–15 Meter Tauchtiefe »bis 85 Minuten Tauchzeit«.

7.6. Die nachgeholte Dekompression

Die Behandlung der Gasblasenbildung besteht in einer baldmöglichsten, erneuten Erhöhung des Umgebungsdruckes (= Rekompensation), es sei denn, daß man den Taucher im Wasser läßt, oder ihn in einer Druckkammer erneut unter Druck setzt. Die nachgeholte oder nasse Rekompensation ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Sie hat ausschließlich einen Sinn, wenn ein gefülltes Gerät unter Wasser übergeben werden kann und sich noch keinerlei Anzeichen einer Caissonkrankheit bemerkbar gemacht haben. Ist eine längere Zeitspanne seit dem Auftauchen vergangen und haben sich die ersten Anzeichen einer Caissonkrankheit bemerkbar gemacht, muß eine Druckkammer aufgesucht werden.

Um die bereits gebildeten Bläschen in ihrem Volumen so weit zu verkleinern, daß sie keine Störungen hervorrufen können, müßte sehr tief abgetaucht werden. Dabei würde gleichzeitig erneut Stickstoff im Organismus gelöst werden. Um diesen Stickstoff auszuscheiden, müßte eine Rekompensation über mehrere Stunden durchgeführt werden. Die Atemluft im Tauchgerät würde nicht solange ausreichen und zusätzlich käme es durch den langen Unterwasseraufenthalt zu einer starken Unterkühlung, die den Zustand des Tauchers nur noch verschlechtern würde. Die nachgeholte Rekompensation kommt somit als Behandlungsmethode nicht in Frage.

7.7. Die Dekompression in der Druckkammer

Wie bereits unter 7.6. festgestellt, ist die einzige Möglichkeit einer absoluten Beseitigung der aufgetretenen Beschwerden eine Druckkammerbehandlung. Es ist daher sehr wichtig, ein Druckkammerverzeichnis aufzustellen. Darin sollte nach Möglichkeit der Standort einer Transportkammer, sowie der einer stationären Druckkammer aufgeführt sein. Die Behandlung hat um so mehr Aussicht auf Erfolg, je früher sie eingesetzt wird und je genauer die Angaben sind, die der Taucherarzt über den Verlauf des letzten Tauchganges bekommt.

Beim Transport sind die unter 7.3. aufgeführten Punkte zu beachten.

Für die eigentliche Behandlung ist der Anhang Nr. 4, »Behandlungstabelle mit Erläuterung (Aus Unfallverhütungsvorschrift – Taucherarbeiten – VBG 39)« aus der FwDV 8 bindend.

Eine Liste über Behandlungskammern und Transportkammern kann bezogen werden bei:

Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Am Knie 6

8000 München 60

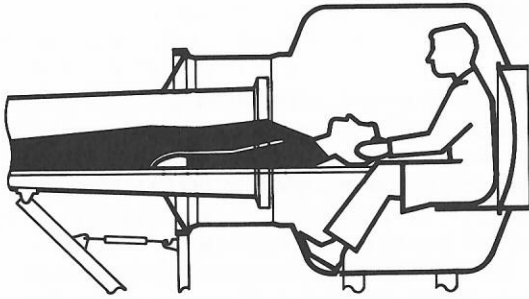


Abb. 78a: Zweimann-Druckkammer/Behandlungskammer, schematisch

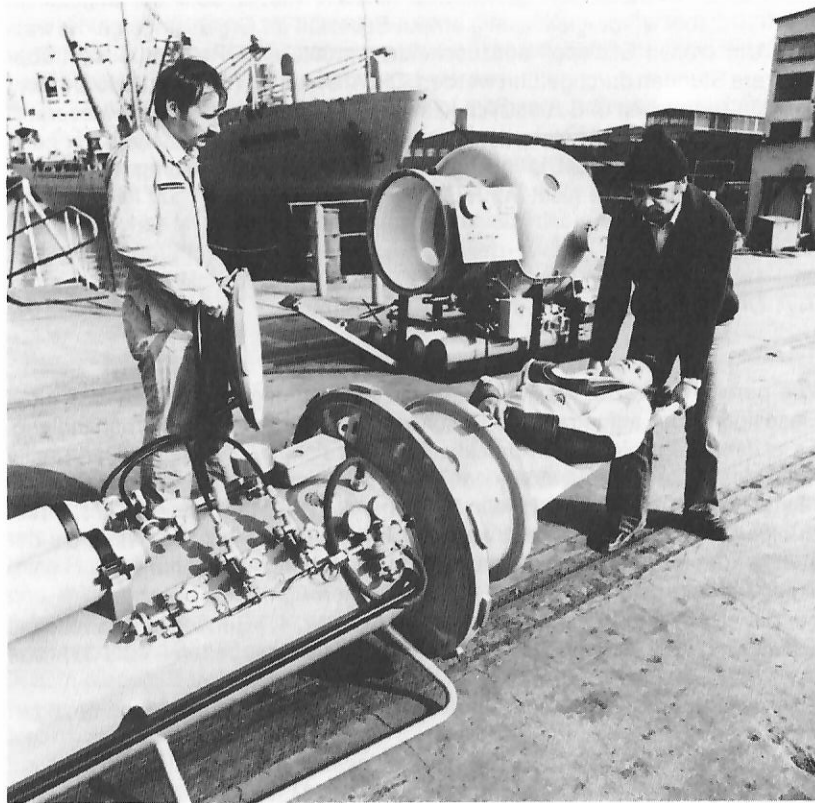


Abb. 78b: Einmann-Druckkammer/Transport-Druckkammer

7.8. Die Austauschtablelle

7.8.1. Definitionen

Tauchzeit

Tauchzeit ist die Zeit vom Beginn des Abstiegs bis zum Beginn des Aufstiegs.

Austauchstufen

Austauchstufen sind Wassertiefen, die durch die Austauschtablelle in Meter und Minuten festgelegt sind. Sie dienen zum Dekomprimieren. D. h., daß der N_2 den Körper ohne Blasenbildung über die Atmung verläßt. Für die Meterangabe ist das Lungenniveau maßgebend, da hier der Gasaustausch stattfindet.

Haltezeiten

Haltezeiten sind die Zeiten auf den einzelnen Austauschstufen.

Gesamtaufstiegszeit

Gesamtaufstiegszeit ist die Zeit vom Beginn des Aufstiegs bis zur ersten Austauschstufe und von dort über die einzelnen Austauschstufen bis an die Wasseroberfläche.

Aufstiegsgeschwindigkeit

Die Aufstiegsgeschwindigkeit im Wasser darf 18 m/Min., besser 10 m/Min., nicht überschreiten. Ist abgelassene/abgeblasene Luft sichtbar, kann die richtige Aufstiegsgeschwindigkeit dadurch erzielt werden, daß der Taucher mit der gleichen Geschwindigkeit aufsteigt, wie die kleinsten Luftblasen.

Auftauchen

Kontrollierter Aufstieg bis zur Wasseroberfläche unter Einhaltung der Aufstiegsgeschwindigkeit und Druckentlassung (Lunge, Auftriebsmittel).

Austauchen

Kontrollierter Aufstieg bis zur Wasseroberfläche unter Einhaltung der Aufstiegsgeschwindigkeit und Druckentlastung, sowie der vorgeschriebenen Austauschstufen.

7.8.2.1. Anweisung zur Handhabung der Austauschtablelle aus UVV – Taucherarbeiten – (VBG 39)

1. Die Austauschtablelle gilt für das Auftauchen nach mittelschwerer Arbeit. Ist

schwere körperliche Arbeit geleistet worden, sind die nächst höheren Austauschzeiten zu wählen.

2. Die kursiv gedruckten Zahlen sollen beim Tauchen im Normalfall nie erreicht werden. Sie sind nur aufgeführt, weil im Notfall (z. B. bei Verschüttung bzw. Verklemmung des Tauchers, Verhaken von Schlauch und / oder Signalleine) derartige übermäßig lange Tauchzeiten auftreten können.
3. Beim Tauchen soll die durch die waagerechte Linie gekennzeichnete Grenzzeit nicht überschritten werden, falls nicht zwingende Gründe dafür vorliegen, die eine mögliche gesundheitliche Gefährdung des Tauchers rechtfertigen, z. B. Hilfeleistung bei Unfällen (§ 22 Abs. 1 der Unfallverhütungsvorschrift »Taucherarbeiten«).
4. Laut FwDV 8 »Tauchen« soll sich gemäß 6.3 »Sonstige Einsatzgrundsätze« das Tauchen bei den Feuerwehren nach Tiefe und Gesamttauchzeit so beschränken, daß keine verlängerten Austauschzeiten beachtet werden müssen. D. h., Tauchen immer innerhalb der Nullzeit.
5. Bei Zeit- sowie Tiefenüberschneidungen ist stets die nächste Spalte zu wählen.
Beispiele:
 1. Taucher auf 17 m WT, 70 Min. Tauchzeit; Spalte 70 bis 80 Min. ist zu wählen.
 2. Taucher auf 15 m WT; Spalte 15–18 m ist zu wählen.
6. Grundsätzlich sollte ein Taucher die maximal zulässige Tauchzeit nicht ausnutzen, wenn ein zweiter Taucher anschließend tauchen muß, damit er eine Tauchzeitreserve behält, falls er dem zweiten Taucher zu Hilfe kommen muß.
7. Nach zu schnellem Aufstieg (Hochschießen) muß der Taucher unmittelbar wieder unter Druck gesetzt werden. Er muß entweder wieder auf Tiefe gehen oder in der Druckkammer unter Druck gesetzt werden. Das Auftauchen erfolgt dann ebenfalls nach der Austauschtablelle.
8. Bei zu schnellem Aufstieg des Tauchers und Auftreten von Anzeichen der Taucherkrankheit (Bends, Lähmungen, Atembeschwerden usw.) muß der Taucher nach dem Entfernen der Taucherausrüstung in eine Druckkammer gebracht und nach der »Behandlungstabelle« ausgetaucht werden.
9. Auf den einzelnen Austauschstufen sollen keine gymnastischen Übungen durchgeführt werden.

7.8.2.2. Mehrmaliges Tauchen

Nach der Beendigung des Austauschens ist der Druck des in den Geweben des Tauchers gelösten Stickstoffes (zunächst noch) höher, als er normalerweise bei atmosphärischem Druck wäre. Es stellt sich zunehmend ein Druckgleichgewicht zwischen dem im Körper gelösten und dem atmosphärischen Stickstoff ein. Wie bereits erwähnt, verlangsamt sich die Stickstoffausscheidung umso mehr, je näher man dem Gleichgewicht kommt, so daß (unter der Voraussetzung einer vorherigen, vollständigen Sättigung) 9–12 Stunden notwendig wären, um das Gleichgewicht herzustellen. Es ist möglich, den Druck der in jedem Gewebe zu einer bestimmten Zeit verbleibt, zu berechnen. Dieser Restdruck entspricht für ein zweites Tauchen einer Zeitspanne. Am Ende dieser stellt der Druck für das

betreffende Gewebe sozusagen den Normalzustand dar. Der Restdruck vom ersten Tauchgang muß also genau bekannt sein, wenn man die Gesamtaus-tauchzeit des zweiten Tauchens berechnen will. Im Prinzip muß man die Berechnung der Verlängerung der Austauschdauer für jedes in Betracht kommende Gewebe durchführen. Es zeigt sich jedoch, daß die Gewebe mit kurzer HS-Zeit sehr rasch entsättigen – sie sind nach ca. 15 Minuten an dem Prozeß nicht mehr beteiligt –, so daß nach kurzer Zeit nur noch mit dem Gewebe mit der längsten HS-Zeit gerechnet werden muß.

Im Augenblick des zweiten Aufstiegs ist also die im Körper insgesamt gelöste Stickstoffmenge größer als es der Fall wäre, wenn man nur einmal in gleicher Tiefe und für die gleiche Zeit getaucht hätte. Das einfache Ablesen der Austausch-tabelle ist daher nicht mehr anzuwenden; es muß länger ausgetaucht werden.

Bei mehrmaligem Tauchen am gleichen Tag müssen die Zeiten addiert werden, auch wenn vorher nach der Tabelle ausgetaucht wurde. Die Austauschzeit wird nach der tiefsten erreichten Tiefe abgelesen. Tauchen nach mehreren Tauchgängen ist erlaubt, wenn in weniger als 10 m Wassertiefe getaucht wird. Diese Zeit kann als zusätzliche Austauschzeit aufgefaßt werden. Sollte ein Austausch nach Austausch-tabelle wegen Unwetter, Unfall oder anderen Gründen im Wasser nicht möglich sein, so muß dieses umgehend in der Druckkammer nachgeholt werden.

Der Taucher wird unter einen Luftdruck gesetzt, der dem Druck seiner ersten (tiefsten) Austauschstufe im Wasser plus 1 bar entspricht. Auf diesem Höchst-druck verbleibt er 5 Minuten. Die Austauschstufen in der Druckkammer ergeben sich aus der Aufenthaltsdauer im Wasser, der 10 Minuten zugerechnet werden, sowie der ursprünglichen tiefsten Tauchtiefe im Wasser. Die Austauschstufen werden der Austausch-tabelle entnommen.

Innerhalb von 12 Stunden darf der Taucher in Tiefen von mehr als 10 m nur dann wieder tauchen, wenn die Grenzzeit beim ersten Tauchgang nicht erreicht wurde. Die Gesamtaufstiegszeit, die sich aus der Summe aller Tauchzeiten und der größten dabei erreichten Tiefe ergibt, darf 75 Minuten nicht überschreiten.

Beispiel:

Erstes Tauchen:

25 m Tiefe, 15 Min. Tauchzeit

Austausch-tabelle 24–27 m, Tauchzeit bis 25 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg = 2 Min.

Zweites Tauchen:

28 m Tiefe, 30 Min. Tauchzeit (+ 15 Min. vom ersten Tauchen)

Austausch-tabelle 27–30 m, Tauchzeit 45–50 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg = 30 Min.

Drittes Tauchen:

30 m Tiefe, 15 Min. Tauchzeit (+ 45 Min. vom ersten und zweiten Tauchen)

Austausch-tabelle 30–33 m, Tauchzeit 60–65 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg = 70 Min.

Das Beispiel zeigt, daß es besser wäre, den dritten Tauchgang von einem noch unbelasteten Taucher ausführen zu lassen, da dieser mit einer Austauschzeit von 2 Minuten statt 70 Minuten auskommt.

Austauchtabelle

Aus Unfallverhütungsvorschrift – Taucharbeiten – (VBG 39)

Tauchtiefe (Meter)	Tauchzeit (Minuten)	Haltezeiten in Minuten während des Austauschens in						Gesamtzeit f. d. Aufstieg (Minuten)	
						6 m	3 m		
0–10		Keine Beschränkung						1	
0–12	bis 135							1	
	135–165						4	5	
	165–195						9	10	
	195–225						14	15	
	225–255						19	20	
	255–330						24	25	
	330–390						29	30	
	390–11 Std.						34	35	
	üb. 11 Std.						39	40	
	12–15	bis 85							1
85–105							4	5	
105–120							9	10	
120–135							14	15	
135–145							19	20	
145–160							24	25	
160–170						4	25	30	
170–190						4	30	35	
190–240						9	40	50	
240–360						29	40	70	
360–450					34	40	75		
über 450					34	45	80		
15–18	bis 60							1	
	60–70						4	5	
	70–80					4	5	10	
	80–90					4	10	15	
	90–100					4	15	20	
	100–110					4	20	25	
	110–120					4	25	30	
	120–130					4	30	35	
	130–140					9	30	40	
	140–150					9	40	50	
	150–160					14	40	55	
	160–180					19	40	60	
	180–200					4	30	40	75
	200–255					9	35	45	90
	255–325					19	40	45	105
325–495					34	40	45	120	
über 495					34	40	50	125	

Abb. 79: Austauchtabelle aus Unfallverhütungsvorschrift – Taucharbeiten – (VBG 39)

8. Störungen des Wärmehaushaltes

Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit und Aufenthaltsdauer eines Tauchers unter Wasser hängen auch von der Körpertemperatur ab. Die Körpertemperatur wird durch das Wärmezentrum im Nachhirn auf einer bestimmten Höhe (37° C) gehalten und ist zum großen Teil von der Außentemperatur abhängig. Wenn sich die Außentemperatur für den menschlichen Organismus ungewöhnlich verändert, so versucht der Organismus zunächst das Gleichgewicht zu halten. Bei Überhitzung wird die Durchblutungsfläche der Haut vergrößert. Das Blut kann die Körperwärme bis dicht unter die Oberfläche transportieren und abgeben. Schwitzen bedeutet Wärmeentzug durch Verdunstung. Bei Kälteeinwirkung ist die Hautoberfläche verkleinert und verdickt (Gänsehaut). Durch schwache Durchblutung und wärmeisolierende Wirkung kann die Körperwärme gehalten werden (Abb. 80).

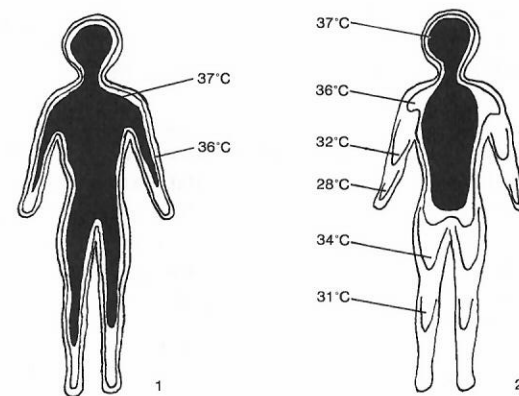


Abb. 80: Temperatur des Körpers in warmer (1) und kalter (2) Umgebung

8.1. Wärmestau und Hitzeschlag

Ein Hitzeschlag entsteht durch ungenügende Wärmeabgabe in Verbindung mit Hitzekrämpfen. Es kommt zu einer Wärmestauung und Überhitzung. Daher sollte z. B. dem Reservetaucher bei Taucheinsätzen im Hochsommer in regelmäßigen Abständen kühles Wasser in seinen angelegten Naßtauchanzug eingefüllt werden.

Symptome:

- meistens hochrote Gesichtsfarbe, im späteren Stadium blaß
- heiße, trockene Haut
- beschleunigter Puls
- verlangsamte Reaktion
- Bewußtlosigkeit

hohe Körpertemperatur (40°–44° C). Dies führt zu Gehirnschädigung und Kreislaufversagen.

Maßnahmen:

Lagerung im Schatten, Kopf und Oberkörper bei roter Gesichtsfarbe erhöht Tauchanzug/Kleidung öffnen oder entfernen

kühle Umschläge

Kreislaufkontrolle

nicht aufstehen lassen

Arzt aufsuchen

Abreiben der Haut (Durchblutung, Schweißproduktion)

bei Hitzekrämpfen orale Gabe von Salzwasser.

Gefahr:

Bewußtlosigkeit

Rückfall, wenn nicht für ausreichend Ruhe gesorgt wird

Lebensgefahr bei hoher Körpertemperatur (über 42° C).

8.2. Sonnenstich

Ein Sonnenstich kann bei direkter Sonneneinwirkung auf den unbedeckten Kopf entstehen. Er wird verursacht durch Reizung der Hirnhäute.

Symptome:

hochroter, heißer Kopf

Kopf- und Nackenschmerzen

Schwindelgefühl

Bewußtlosigkeit ist möglich.

Maßnahmen:

sofort in den Schatten bringen

erhöhte Lagerung des roten Kopfes

Seitenlagerung bei Bewußtlosigkeit

Atem- und Kreislaufkontrolle

kühle Umschläge auf dem Kopf

Arzt aufsuchen

nicht aufstehen lassen.

8.3. Hitzeerschöpfung

Eine Hitzeerschöpfung ist ein Kreislaufversagen auf Grund eines zu hohen Flüssigkeits- und Kochsalzverlustes.

Symptome:

ähnlich wie beim Schock (siehe 11.).

Maßnahmen:

Lagerung im Schatten

Salzhaltiges zu trinken geben

Tauchanzug/Kleidung öffnen

ausruhen lassen.

8.4. Unterkühlung, Erfrierungen

Durch Verminderung der Hautdurchblutung wird zunächst die Wärmeabgabe eingestellt. Ist ein Wärmeausgleich nicht möglich, so versucht es der Organismus über die Erhöhung der Wärmeproduktion (Muskelzittern). Kann der Wärmeverlust trotzdem nicht ausgeglichen werden, kommt es zu schweren Erschöpfungserscheinungen. Die Erscheinungen sind außer der Wassertemperatur auch von der Bewegung des Wassers abhängig. Das heißt, ob ständig neues kühles Wasser an dem Taucher vorbeifließt und das leicht erwärmte Wasser wieder abgeführt wird. Beim Schwimmen ist das immer der Fall. Auch die Dicke des Unterhautfettpolsters hat auf die Unterkühlung einen Einfluß. Das schlechtdurchblutete Fett bildet eine gute Wärmeisolation.

Symptome:

Frieren, Gänsehaut, Muskelzuckungen, Müdigkeit (Gähnen), Schlafbedürfnis, Gesicht blau, Gliederstarre, tiefer Schlaf, Bewußtlosigkeit.

Vorbeugung:

Ein nicht genügend kältegeschützter Taucher, der zu unterkühlen beginnt, soll das Wasser verlassen. Ist das nicht möglich, so soll ein Taucher mit gutem Fettpolster versuchen, durch intensive Bewegungen seine Wärmeproduktion zu steigern. Magere Taucher sollen sich möglichst ruhig verhalten.

Behandlung:

In warme Umgebung bringen, von kalter oder nasser Kleidung befreien, in angewärmte Decken wickeln, heiße Getränke (kein Alkohol). Warmes Bad bis 40° C steigern, warme Infusionen, warme Einläufe (39°–40° C).

Keine atmungsanregende oder Kreislaufmittel in der Phase der Wiedererwärmung, auch die manuellen Wiederbelebungsverfahren müssen unterbleiben bis sich die Kältestarre gelöst hat.

9. Physische Probleme

9.1. Entstehung von Angst

Bei vielen Menschen ist eine unbewußte Angst vor Naturgewalten wie Feuer und Wasser vorhanden. Diese unbewußte Angst setzt nahezu jeden Taucheranwärter zu Beginn seiner Ausbildung in eine Streßsituation. Viele Eindrücke und Informationen wirken auf ihn ein, die er erst verarbeiten und koordinieren muß.

Das Element Wasser, sowie der Aufenthalt unter Wasser sind hierbei die ausschlaggebenden Punkte. Durch sie wird der Taucheranwärter mit Umständen konfrontiert, die in seinem alltäglichen Leben fehlen.

Wie zum Beispiel:

ausschließliche Mundatmung
eingengeengtes Gesichtsfeld
kein Farbsehen
keine Sicht/Dunkelheit
fehlender Augenkontakt zu Fixpunkten
Kälte
Einsamkeit
veränderter Wärmehaushalt
liegende Körperhaltung (Schwimmlage).

Summieren sich einige dieser Punkte auf die Stimmungslabilität des Tauchers, so entsteht ein Angstgefühl. Dieses Angstgefühl tritt jedoch nicht nur bei Taucheranwärtern auf, sondern kommt auch bei den sogenannten »alten Hasen« vor. Ist ein mangelnder Weiterbildungsstand vorhanden und dem Taucher fehlt es an Übung, so tritt die gleiche Streß- bzw. Angstsituation auch bei ihm auf.

9.2. Entstehung von Panikreaktionen

Panik entwickelt sich aus einem Angstgefühl (siehe 9.1.) heraus. Eine plötzlich hinzukommende Sondersituation (z. B. mangelnde Luftzufuhr) kann je nach psychischer Gesamtkonstitution beherrscht werden, oder aber es kommt zu Panik. Als Vorstadium tritt fast immer Kurzatmigkeit und ein Beklemmungsgefühl auf. Je stärker dies der Fall ist, um so mehr schaltet sich der Verstand ab. Ab diesem Stadium werden sinnlose, vom Verstand unkontrollierte Handlungen und Bewegungen ausgeführt. In Panik geraten heißt: unüberlegte, unsinnige Handlungen ausführen.

9.3. Angstabbauende Maßnahmen

Die angstabbauenden Maßnahmen setzen eine genügend große Eigendisziplin, welche für jeden Taucher selbstverständlich sein sollte, voraus. Man kann sie wie folgt unterteilen:

1. Mit aller Energie zur Ruhe und Konzentration zwingen. Am besten durch konzentrierte, ruhige, ausgeglichene Atmung, wobei man sich an einem Festpunkt festhält oder am Grund abkniet.
2. Verständigung durch Leinenzeichen/UW-Zeichen.
3. Langsames, kontrolliertes Auftauchen unter Beachtung der Druckentlastung (max. 10 m/min).

Eine fundierte Aus- und Weiterbildung in den Bereichen Technik, Praxis sowie körperliche Fitneß ist die beste Vorbeugung.

9.4. Verhalten des Leinenmannes bzw. Reservetauchers bei Panik- oder Notsituationen

Bemerkt der Leinenmann eine Unpäßlichkeit, so fragt er als erstes den Taucher über Leinenzeichen nach seinem Wohlbefinden. Gleichzeitig muß der Tauchtruppführer informiert werden, denn er muß den Leinenführer für den Reservetaucher bei einer Einsatzstärke von 1/3 übernehmen. Der Reservetaucher muß sich, bis die Rückmeldung vom Taucher kommt, für einen sofortigen Einstieg bereitmachen. Kommt kein Zeichen »Alles in Ordnung!«, so muß der Reservetaucher sofort ins Wasser.

Ist bei dem Taucher eine Panik zu erwarten, taucht der Reservetaucher den Betroffenen von rückwärts an. Hält ihn am Gerät fest und bringt ihn kontrolliert unter Beachtung der Aufstiegsgeschwindigkeit und Druckentlastung (Lunge, Auftriebskörper) zur Wasseroberfläche. Einen unter Wasser in Panik geratenen Taucher zur Ruhe zu bringen ist aussichtslos. Er würde mit großer Sicherheit seinen Helfer anfallen und ihn in eine ebenso lebensgefährliche Lage bringen. Hier hilft nur ein kontrolliertes Auftauchen.

Der Leinenmann darf auf keinen Fall versuchen, den Taucher mit kräftigem Leinenzug aus dem Wasser zu ziehen. Der Taucher könnte eingeklemmt, halb verschüttet etc. sein.

Es heißt für alle Beteiligten, ob über oder unter Wasser, Ruhe bewahren und keine unüberlegten Handlungen vornehmen.

10. Einatmen von Wasser

10.1. Wann kann es zum Eintritt von Wasser in die Lunge kommen?

Unfälle im Wasser unterscheiden sich in einem wesentlichen Punkt von Landunfällen: dem umgebenden Medium Wasser. Das klingt banal, aber durch das Wasser entsteht oftmals erst die Lebensgefahr. So ist eine gesundheitliche Störung wie zum Beispiel ein Ohnmachtsanfall auf festem Boden nicht unbedingt lebensbedrohlich. Eine akute Gefährdung besteht jedoch, sobald sich der Bewußtseinsverlust im Wasser abspielt und der Kopf unter Wasser gerät, was ohne sofortige Hilfe den Ertrinkungstod zur Folge hat. Die Hilfsmaßnahmen werden auch entscheidend erschwert. Ein Verkehrsunfallopfer kann relativ einfach aus dem PWK mittels Rautek-Griff gerettet werden. Viel schwieriger stellt sich die Situation dar, wenn der Verletzte unter Wasser im Auto eingeklemmt oder bewußtlos ist.

Die Ursachen über mögliche Ertrinkungsunfälle können in drei Krankheitsbilder untergliedert werden.

1. *Tod aus natürlichem Anlaß.* Der Tod wäre an Land ebenso eingetreten (z. B. Herzinfarkt).

2. *Sogenannter Badetod*. Bei plötzlichem Ins-Wasser-Fallen kann ein Schock durch Untertauchen, vor allem bei nicht abgekühlten Personen, tödlich enden.
 3. *Sogenannter »trockener Tod«*. Bei plötzlichem Verschuß der Stimmritze kann weder Luft noch Wasser in die Lunge eindringen.
- Alle diese Ursachen führen zum gestörten Gasaustausch in der Lunge.

Ablauf des Ertrinkens

Unmittelbar vor dem Untergehen wird noch einmal reflektorisch Luft eingeatmet und angehalten. Darauf folgt die Erstickungsphase, die zum Atmen unter Wasser zwingt. Durch Einströmen von Wasser und krampfartige Atemtätigkeit kommt es zur Durchmischung von Wasser und Luft in der Lunge. Dadurch entsteht bei Ertrunkenen der typische »Schaumpilz« vor dem Mund. Es schließt sich ein Krampfstadium mit heftigem Aushusten an. Das Bewußtsein ist meist schon getrübt, der Ertrinkende versinkt endgültig und Wasser dringt bei Nichtvorhandensein eines Stimmritzenverschlusses in die Lunge ein. Ist Wasser in der Lunge, so dauert der Ablauf des eigentlichen Ertrinkens (osmotischer Vorgang) ca. 3–5 Minuten. Das Krankheitsbild von Süß- und Salzwasserertrinken unterscheidet sich.

10.2. Ertrinken im Süß-, Salzwasser und anderen Flüssigkeiten

Süßwasser

Das Süßwasser ist eine kochsalzärmere Lösung als das Blut des menschlichen Körpers. Gelangt beim Ertrinkenden Süßwasser in die Lunge, so drängt es mit großer Kraft über die Alveolen ins Blut ein. Stört dort die spezifische molekulare Konzentration des Blutes, sowie den Gasaustausch. Das Blut wird durch diesen Vorgang verdünnt, sein Volumen nimmt bis zu einem Verhältnis von 1:1 zu. Damit verbunden tritt eine Mehrbelastung des rechten Herzens auf. Das Blut wird zur kochsalzarmen Lösung, die roten Blutkörperchen quellen auf und platzen. Es entsteht eine Blutarmut und das Elektrolytgleichgewicht wird gestört. Aus dem sogenannten Ablauf resultiert ein Sauerstoffmangel und Herzkammerflimmern.

Salzwasser

Das Salzwasser ist eine kochsalzhaltigere Lösung als das menschliche Blut. Gelangt beim Ertrinkenden Salzwasser in die Lunge, so dringt Blutflüssigkeit in die Lungenalveolen. Es entsteht ein Lungenödem, d. h. die Lunge ist mit Salzwasser und Blutplasma gefüllt. Das Salz diffundiert mit großer Geschwindigkeit ins Blut, die Konzentration der Elektrolyte steigt an. Durch diese Vorgänge wird das Blut eingedickt, sein Volumen nimmt ab und der Gasaustausch ist gestört. Laut Experimenten kommt es hier zu keinem Herzkammerflimmern, was die Überlebenschancen entscheidend verbessert.

Andere Flüssigkeiten

Es kann prinzipiell in allen Flüssigkeiten zum Ertrinken kommen. Vom chlorierten Schwimmbad-Wasser bis zur Jauche. Die Lungenschädigung wird entscheidend bestimmt durch die giftigen Eigenschaften der Flüssigkeiten oder eventuelle bakterielle Verunreinigungen.

10.3. Erste Hilfe bei Ertrunkenen

Der Retter soll auch im Zweifelsfall immer mit einer Reanimation beginnen, auch nach relativ langer Zeit des gestörten Gasaustausches. Es sind vor allem bei Kindern, die bis zu 40 Minuten unter Wasser waren, Wiederbelebungen ohne Folgeschäden gelungen. Fälle haben gezeigt, daß beim Einsatz aller Mittel Erwachsene mit 30minütigem Sauerstoffmangel überleben können. Die meist hervorgerufene verminderte Körperwärme erhöht die Gewebetoleranz gegenüber Schäden durch Sauerstoffmangel erheblich. Begünstigend ist selbstverständlich jugendliches Alter und das Fehlen von Vorerkrankungen. Ist der Verunglückte gerettet, so lagert man ihn auf den Rücken, macht den Mund-Rachen-Raum frei und überprüft Puls sowie Atmung. Ausschüttelmanöver sind überflüssig und sogar schädlich. Sie kosten nur Zeit und können ein Überlaufen von Mageninhalt in die Luftwege zur Folge haben. Ist Wasser in die Lunge eingedrungen, fließt es nicht mehr heraus. Wasser und/oder Erbrochenes bzw. Zahnersatz sind aus dem Mund-Rachen-Raum zu entfernen. Sofort muß mit einer Herz-Lungen-Wiederbelebung begonnen werden, wobei eine Gabe von 100% Sauerstoff angezeigt ist. Ein weiterer Wärmeverlust ist durch angewärmte Decken oder Kältefolien zu verhindern. Ein Arzt muß verständigt, sowie ein sofortiger Transport ins Krankenhaus eingeleitet werden.

11. Der Schock

Der Schock ist ein Kreislaufversagen auf Grund eines Mißverhältnisses zwischen Blutgefäßvolumen und Blutgefäßkapazität. D. h., daß das Gefäßsystem nicht mehr genügend mit Blut gefüllt ist und somit die Kreislauffunktion beeinträchtigt wird. Die Kreislaufstörung tritt zuerst in der Peripherie ein und setzt sich zunehmend im gesamten Organismus fort. Dabei kann es zu lebensbedrohlichen Gefährdungen kommen, da bei keinem Entgegenwirken die lebensnotwendigen Organe nicht mehr versorgt werden. Die Schockursache kann sehr vielfältig sein, wie zum Beispiel: Verminderung der im Körper zirkulierenden Blutmenge durch großen Blutverlust

Verminderung des Blutvolumens durch den Verlust von Blutplasma
starke seelische Erschütterung oder Schmerz (nervlich bedingt stellen sich die Blutgefäße weit und das Blut versackt im Bauchraum). Es tritt eine Mangelversorgung des Gehirns ein
Vergiftungen
ungenügende Förderleistung des Herzens infolge einer Herzkrankheit oder anderer Ursachen.

11.1. Erkennen von Schockzuständen

Die Erscheinungszeichen beim Schock sind ebenso manigfaltig wie die Ursachen. Sie können zum Beispiel sein:

Schwindelgefühl

Schwäche

Unruhe, verlangsamte Reaktion, eventuelle Benommenheit

ängstliche Erregung mit schneller, oberflächlicher Atmung

Bewußtlosigkeit

blasse Hautfarbe, blasses Nagelbett

kalter Schweiß

Pulsfrequenz erhöht (über 100 Schläge pro Minute). Bei Angst oder Schreckenserlebnis kann die Pulsfrequenz kurzzeitig erniedrigt sein. Das Herz schlägt

dann ruhig und kräftig

flacher Puls, kaum tastbar

niedriger Blutdruck

Lufthunger, Brechreiz, Durstgefühl.

11.2. Verhalten bei Schockzuständen des Verunglückten

Schockbekämpfung muß am Unfallort beginnen. Je früher, um so besser.

Maßnahmen beim Schock:

Schockursache verhindern/beseitigen z. B. Blutverlust

Schocklagerung (*Abb. 81*): Flache Lagerung, die Beine gestreckt hochhalten, um das Blut der unteren Gliedmaßen dem Herzen zuzuführen

ständige Puls- und Atemkontrolle (*Abb. 82* und *siehe 12.2.*)

Schmerzstillung

Muskel entspannen

zudecken, warmhalten

anwärmen verboten

Rauchverbot

seelische Betreuung

gleichmäßiger, ruhiger, erschütterungsfreier, liegender Transport.

Die Gefahr besteht in einer Bewußtlosigkeit und drohendem Atem- und Kreis-

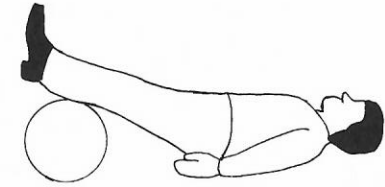


Abb. 81: Schocklagerung: Beine hoch, Kopf tief

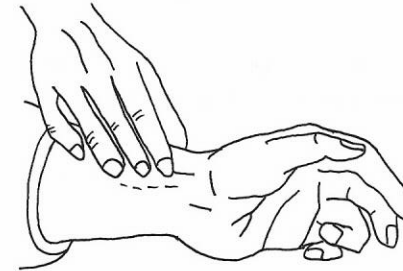


Abb. 82: Pulskontrolle an Handgelenk und Halsschlagader

laufstillstand. Der Schock kann jede Verletzung begleiten und zum Tode führen.

12. Sofortmaßnahmen bei Herz-Kreislaufversagen

12.1. Rettung und Lagerung des Verunglückten

Für die Rettung des Verunglückten werden die Befreiungs-, Rettungs- und Transportgriffe der DLRG oder Wasserwacht angewendet. Die Lagerung des Verunglückten richtet sich nach seinen gesundheitlichen Störungen (Caissonkrankheit, Lungenriß) bzw. Verletzungen (Schnitt-, Quetschwunden). Ist ein Taucherunfall eingetreten, so kann die Lagerung verschiedenartig sein (siehe 5.2. und 7.3.). Bei Ertrinkungsunfall wird der Betroffene auf den Rücken gelegt, um eine sofortige Reanimation zu beginnen (siehe 10.3.). Ansonsten wird eine Seitenlagerung vorgenommen, sofern die Atmung und der Kreislauf befriedigend, aber der Verunglückte bewußtlos ist. Er muß vor Wärmeverlust bzw. Hitzeeinwirkung geschützt werden.

Die Seitenlagerung sieht wie folgt aus:



Abb. 83: Stabile Seitenlagerung

Atemung und Kreislauf sind bei einem Bewußtlosen ständig zu überwachen. Erbrochenes muß sofort entfernt und die Atemwege freigehalten werden.

12.2. Künstliche Beatmung

Herz-Kreislauf-Atem-Stillstand führen zum Funktionsausfall der Organe und damit zu irreparablen Schäden. Spätestens nach 6–10 Minuten Atemstillstand folgt der Herzstillstand. Besonders empfindlich reagieren Gehirn und Herz auf Sauerstoffmangel.

Beim Gehirn tritt durchschnittlich nach 3 Sek. Sauerstoffmangel eine Bewußlosigkeit ein und nach 3 Minuten sterben die ersten Gehirnzellen ab.

Einen Atemstillstand erkennt man an:

blaue bis bläuliche Verfärbung von Lippen, Nase und Ohrläppchen
keine sichtbaren Atembewegungen

keine hör- oder fühlbare Luftströmungen an Mund und Nase

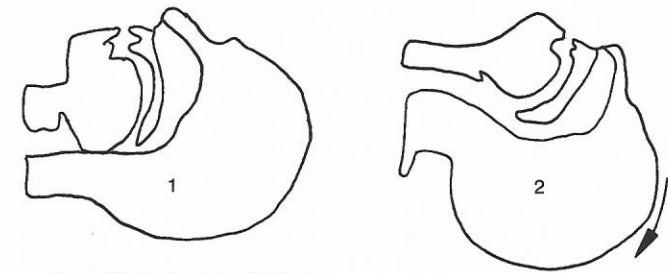
keine fühlbaren Atembewegungen beim Auflegen der linken oder rechten Hand auf die Bauchdecke und der anderen auf den Brustkorb.

Die Sofortmaßnahme ist darauf ausgerichtet, daß das Gehirn mit Sauerstoff versorgt wird, um irreparable Schäden zu verhindern.

Man geht wie folgt vor:

1. Atemwege freimachen
Reinigen der Mundhöhle und des Rachens von Blut, Erbrochenem, Zahnersatz und Fremdkörpern.
2. Öffnen der Atemwege
Durch Überstrecken (Abb. 84) des Kopfes mit Vorziehen des Unterkiefers. Der Betroffene ist dabei in Rückenlage.
Atmet der Verunfallte trotz vorangegangener Maßnahmen nicht oder ungenügend, so muß sofort mit einer direkten Beatmung begonnen werden. Die direkte Beatmung kann man in drei Formen unterteilen:
Mund zu Mund
Mund zu Nase

Kopf überstrecken



Bei 1 ist der Atemweg durch den Zungengrund verlegt.

Bei 2 ist der Atemweg durch überstrecken frei.

Abb. 84

Mund zu Mund-Nase (bei Kindern)

Es ist unverzüglich mit der künstlichen Beatmung zu beginnen, denn jede Sekunde zählt. Hierzu seitlich vom Kopf niederknien. Eine Hand unter den Nacken, die andere auf die Stirn des Verunfallten legen, so daß der Kopf steil nach hinten fällt. Nun die Hand unter dem Nacken hervorholen und auf das Kinn (Abb. 85) setzen, so daß der Mund geöffnet werden kann. Tief einatmen und sofort die eingeatmete Luft in den geöffneten Mund des Betroffenen blasen. Dabei müssen die Lippen die des Verunfallten vollständig überdecken und die Nasenlöcher mit der Wange oder den Fingern verschlossen werden. Dann mit dem Kopf zurückgehen, damit die Ausatmung erfolgen kann (geschieht von selbst). Nach jedem Beatmungszug überprüft der Helfer die Wirksamkeit der Beatmung:

der Brustkorb hebt und senkt sich

bei der Ausatmung entweicht die Luft fühl- und hörbar
darauf achten, daß nicht der Magen aufgeblasen wird.

Nach kurzer Pause (1–2 Sek.) erneut beatmen, etwa 20 Atemzüge in der Minute.

Wird dem Helfer schwindelig, Pause von 10–20 Sek. einlegen. Aus hygienischen Gründen kann ein Taschentuch über den Mund gelegt oder ein Mundtubus benutzt werden.



Abb. 85 Kopfhaltung bei Beatmung

Bei Mund zu Nase ist es der gleiche Vorgang wie bei Mund zu Mund. Nur wird jetzt der Mund verschlossen und die Luft in die Nasenlöcher geblasen. Hierbei müssen die Lippen des Helfers um die Nase des Verunfallten herum abdichten. Die künstliche Beatmung wird solange durchgeführt, bis der Verunfallte von selbst wieder atmet oder bis ein Arzt den Tod feststellt.

Eine künstliche Beatmung läßt sich ebenso mit einem Beutelbeatmer durchführen. Bei diesem einfachen Beatmungsgerät wird keine Atemluft mehr gespendet, sondern Frischluft zugeführt. Hierzu kniet man sich hinter dem, in der Rückenlage befindlichen, Verunfallten nieder. Überstreckt den Kopf und hält diesen mit beiden Knien in der überstreckten Lage fest. Nun wird die Beatmungsmaske des Beutelbeatmers mit einem sogenannten C-Griff, d. h. mit Daumen und Zeigefinger, auf das Gesicht des Verunfallten gedrückt, so daß Mund und Nase bedeckt sind. Die restlichen drei Finger liegen unterhalb des Kinns. Die Maske kann so gut fixiert werden. Die Beatmung erfolgt nun durch Zusammendrücken des Beutels auf dem Oberschenkel. Die Ausatemluft entweicht durch ein Ausatemventil.

12.3. Beatmung mit reinem Sauerstoff

Die Sauerstoffbeatmung wird angewendet bei Verunfallten, deren Eigenatmung ganz ausgesetzt hat oder stark vermindert ist. Hierzu gibt es Geräte, die aus einer Sauerstoffflasche, einem Druckminderer mit Manometer und einem Dosierungsventil bestehen. Über den Beutelbeatmer kann nun O₂ zugeschossen werden oder eine reine Sauerstoffatmung stattfinden. Die Bedienung der Geräte erfolgt gemäß der im Gerät befindlichen Gebrauchsanweisung. Zusätzlich haben diese Geräte eine Absaugvorrichtung nach dem Prinzip der Wasserstrahlpumpe. Mit der Absaugvorrichtung kann der Mund-Rachen-Raum gesäubert werden.

12.4. Die Herzdruckmassage

Steht durch
Pupillenstarre,
keinen tastbaren Puls,
keine Herztöne

Herzstillstand fest, wird sofort mit der externen Herzmassage begonnen. Hierzu wird das Herz rhythmisch zwischen dem Brustbein und der Wirbelsäule komprimiert (Abb. 86).

Folgende Grundsätze sind dabei zu beachten:

1. Für die Herzmassage wird der Betroffene immer auf den Rücken gelegt. Die Unterlage muß flach und hart sein.

2. Während der Herzmassage muß der Betroffene immer beatmet werden.
3. Kompressionspunkt für die Herzmassage ist das untere Brustbeindrittel (Abb. 87). Hierauf werden die Handballen der übereinander gelegten Hände gesetzt (Abb. 88).
4. Der erforderliche Kompressionsdruck wird erreicht, indem das ganze Körpergewicht des Helfers bei gestreckten Armen auf dessen Hände übertragen wird. Jede Kompression des Brustkorbes soll das Brustbein ca. 3–4 cm niederdrücken.

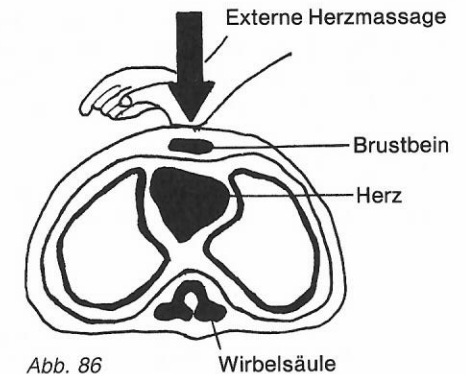


Abb. 86

Ein Helfer

Zu Beginn:

3 bis 5 Beatmungen

danach:

15 Kompressionen (80mal pro Min.)
im Wechsel mit
2 Beatmungen

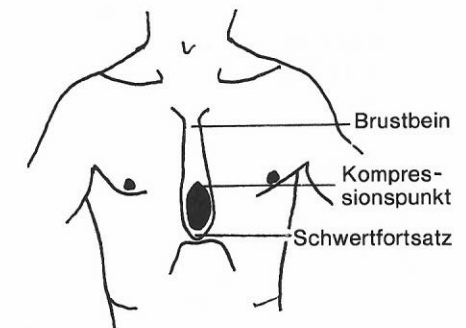


Abb. 87

Zwei Helfer

Zu Beginn:

3 bis 5 Beatmungen

danach:

60 Kompressionen
in der Minute
1 Beatmung nach jeder
fünften Kompression

Wirksam ist die Wiederbelebung, wenn folgende Zeichen zu beobachten sind:

1. Brustkorb hebt und senkt sich mit der Beatmung
2. Tastbarer Puls bei jeder Kompression
3. Hautfarbe wird rosiger
4. Pupillen werden wieder enger.



Abb. 88: Externe Herzmassage

Die Herzmassage muß bei schlagendem Herzen beendet, und darf nie am lebenden Menschen geübt werden.

12.5. Der Transport des Verunglückten

Der Transport von Verunglückten soll so bald wie möglich, gleichmäßig, ruhig, erschütterungsfrei und liegend erfolgen. Wird der Verunglückte mittels eines Hubschraubers transportiert, darf eine Flughöhe von 300 m bei Caissonkrankheit nicht überschritten werden.

12.6. Datenerfassung bei Tauchunfällen

Tauchunfälle haben nicht nur versicherungstechnische, sondern auch rechtliche Folgen. Daher sollte bei jedem Taucherzwischenfall ein Protokoll erstellt werden. Das Protokoll sollte nach Möglichkeit folgende Punkte beinhalten:

1. Name und Vorname des Verunglückten
2. Geburtsdatum, Geburtsort, Größe und Gewicht
3. Wohnort, Straße und Hausnummer
4. Dienststelle
5. Ausbildungsstand
6. Datum der letzten Tauchtauglichkeitsuntersuchung
7. Zweck des Tauchens
8. Allgemeine Verhältnisse wie:
Wetterlage
Sicht unter Wasser
Wassertemperatur
9. Schilderung des Unfallherganges. Z. B. Druckausgleichsschwierigkeiten, Tätigkeit unter Wasser, größere Anstrengungen, Verhältnisse des Unfallortes, Sprungschichten
10. Maximale Tauchtiefe
11. Tauchtiefe beim Unfall
12. Gesamtdauer des Tauchganges
13. Waren Dekompressionszeiten erforderlich; wurden sie eingehalten
14. Wievielter Tauchgang in den letzten 36 Stunden
15. Welches Atemgerät wurde benutzt
16. Preßluftflaschen, Prüfdatum
17. Welcher Vorratsdruck wurde nach dem Unfall im Tauchgerät gemessen
18. Wo wurde die letzte Füllung vorgenommen
19. Welche Ausrüstung wurde verwendet
20. Wurde mit Auftriebsrettungsmittel getaucht
21. Füllung der Flasche des Auftriebsrettungsmittels
22. Fabrikat des Auftriebsrettungsmittels

23. Welche Sicherheitsmaßnahmen wurden getroffen

24. Welche Behandlungen wurden vor Ort durchgeführt.

Bei Bergung eines tödlich verunfallten Tauchers folgende Fragen zu klären versuchen:

1. Wo und in welcher Tiefe wurde der Taucher gefunden
2. Wassertemperatur
3. Was ergab die Beobachtung der Umgebung des Bergungsortes
4. In welcher Körperlage wurde der Taucher gefunden
5. Wo befindet sich die Ausrüstung
6. Welches Ergebnis hatte die Prüfung der gesamten Ausrüstung nach der Bergung
7. Wohin wurde der Tote gebracht.

Bei jedem Taucherzwischenfall die Ausrüstung sicherstellen und den vorgefundenen Zustand schriftlich festhalten. Gegebenenfalls eine Analyse der Atemluft vornehmen lassen. Eine Skizze anfertigen. Name und Anschrift von Zeugen festhalten.

13. Probleme durch Nahrung und Pharmaka

13.1. Die Nahrungsaufnahme vor dem Tauchen und die möglichen Folgen

Die Nahrungsaufnahme vor dem Tauchen ist eine starke Kreislaufbelastung für den menschlichen Organismus. Nach Möglichkeit sollten mindestens 2 Stunden nach einer Mahlzeit verstreichen, bevor ein Tauchen angesetzt wird. Ein belegtes Brot oder Brötchen ist in diesem Fall als keine Mahlzeit anzusehen. Entsprechend der Speiseverdaulichkeit stellt die nach den Mahlzeiten beginnende Verdauung eine mehr oder weniger starke Belastung für den menschlichen Organismus dar (aufkommende Müdigkeit). Bedingt durch die Verdauung kommt es zu einer erhöhten Blutkonzentration im Magenverdauungstrakt. Beim Tauchen wird durch eine spontane Temperaturveränderung an der Körperoberfläche der Temperaturhaushalt und die Temperaturregulierung des Körpers überfordert. Die Folge kann eine Bewußtlosigkeit oder der Tod durch Kreislaufkollaps, dem sogenannten Magentod, sein.

13.2. Der Alkoholeinfluß und seine Folgen für das Tauchen

Die akute Gefahr des Alkoholeinflusses beim Tauchen liegt in der psychischen Wirkung. Die notwendige Kritikfähigkeit ist nicht mehr gegeben, die Selbstkritik wird geschwächt und das Selbstgefühl gestärkt. Aufgaben und Anforderungen

scheinen leichter durchführbar zu sein. Die körperliche und geistige Leistung vermindert sich, und die Reaktionsfähigkeit wird träge.

Nach einer geringen Dosis Alkohol wird das Atemzentrum erregt, eine mäßige Blutdruckerhöhung, Hautgefäßerweiterung und somit erhöhte Durchblutung der Haut wird eingeleitet. Durch die Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Haut erfolgt ebenfalls eine erhöhte Blutzufuhr in den peripheren Gefäßen. Auf Grund einer andauernden Kälteeinwirkung, durch die immer niedrigere Wassertemperatur, wird dem Körper schnell und ständig Wärme entzogen. Der Taucher kühlt schneller aus.

Die Anfälligkeit für einen Tiefenrausch wird durch Alkohol bzw. Restalkohol verstärkt. Ebenso bewirkt die veränderte Durchblutung eine erhöhte Anfälligkeit zur Caissonkrankheit.

13.3. Die Wirkungsweise von Medikamenten beim Tauchen

Psychopharmaka sind grundsätzlich beim Tauchen verboten. Durch sie wird die Kritikfähigkeit sowie das Reaktionsvermögen stark herabgesetzt.

Schleimhautabschwellende Medikamente sind ebenfalls verboten, da sie mit der Zeit die Wirkung verlieren und es beim Auftauchen zu keiner Druckentlastung in den Neben- und Paukenhöhlen kommen kann.

Ist man an die Einnahme von Medikamenten ständig gebunden, so sollte man in jedem Fall seinen Arzt befragen.

Die Wirkung von Medikamenten unter Überdruck ist im allgemeinen nicht bekannt. Man kann jedoch sagen, daß bei Medikamenteneinnahme der Mensch nicht völlig gesund ist und somit ein Tauchverbot ausgesprochen werden muß. Die körperliche Leistungsfähigkeit und psychische Stabilität ist hier mit Sicherheit nicht ausreichend vorhanden.

VIII. Einsatztaktik

1. Allgemeine taktische Maßnahmen

Der Begriff »Taktische Maßnahme« beinhaltet zwei Schlagwörter. Das Wort Taktik stammt aus dem Griechischen und heißt: »Planung, Vorbereitung und Führung eines Krieges, die Kriegs-Kunst des Feldherren oder Strategen.« Beim Tauchen im Feuerwehrdienst wird jedoch kein Krieg geführt sondern Anlässe, d.h. Personen, Sachen oder Ereignisse erfordern Maßnahmen.

Maßnahmen sind Anordnungen, Einrichtungen oder Regelungen die auf Grund des Auftrages, d. h. der Festlegung des taktischen Zieles und gegebenenfalls der Schwerpunktbildung dazu, ohne Einzelangaben über die Art der Durchführung und den Ansatz der Kräfte, getroffen werden.

Durch die Lage, d. h. Gesamtheit aller Umstände und Gegebenheiten, die ein Handeln bestimmen und beeinflussen, werden Maßnahmen getroffen. Bei jeder Lageänderung sollte eine neue Beurteilung der Lage, d. h. abwägende Überlegungen, wie ein Auftrag mit den zur Verfügung stehenden Kräften und Mitteln am besten durchgeführt werden kann, erfolgen.

Die Vorbereitung taktischer Maßnahmen richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten des Ausrückebereiches einer Taucherguppe.

1.1. Die Taucherguppe

Für den Taucheinsatz wird ein Tauchtrupp benötigt. Er setzt sich aus Truppführer und mindestens 3 Mann, die alle als Taucher ausgebildet sein müssen, zusammen. Der Tauchtruppführer teilt in der Regel für einen bestimmten Zeitraum die Funktion der 3 Mann ein. Die Funktionen teilen sich auf in Fahrer, Taucher und Reservetaucher, so daß im Alarmierungsfall sich jeder auf seinen Arbeitsbereich gedanklich vorbereiten kann.

Die Tauchtruppe aus den einzelnen Wachsichten ergeben die Taucherguppe (nicht bindend). Über der Taucherguppe steht der Leiter des Tauchwesens. Ihm obliegt die Organisation und Überwachung des Tauchwesens einschließlich der Ausbildung.

1.2. Der Rüstwagen-Wasser

Der Rüstwagen-Wasser (Abb. 89) ist ein genormter Rüstwagen, der die zusätzliche Ausrüstung, die Arbeitsgeräte und die Hilfsmittel für einen Einsatz im Bereich Tauchen, Wasser- und Eisrettung aufnimmt.



Abb. 89: Rüstwagen-Wasser mit Bootsanhänger

In der Regel ist als Besonderheit ein Mannschaftsraum (sogenannter Naßraum) vorhanden, in dem während der Einsatzfahrt die entsprechende Ausrüstung angelegt werden kann. Ein Boot (Schlauchboot) wird fast immer auf dem Dach mitgeführt. Als Ergänzung kann ein größeres Boot mit Trailer angehängt werden.

1.3. Allgemeine Verhaltensregeln eines FW-Tauchers in Bereitschaft, bei Alarmierung und im Einsatz

Ein Feuerwehrttaucher sollte seine Lebensgewohnheiten »positiv« einstellen. Mäßigkeit ohne Abstinenz ist angeraten.

Raucherhusten, übermäßiges Essen und Trinken können sich nachteilig für das Tauchen auswirken. Tauchen unter Alkoholeinfluß ist eine Gefahr für alle Beteiligten. Bei Medikamenteneinnahme ist ebenfalls vom Tauchen abzuraten. Der Gang zur Toilette sollte zu keiner Tages- und Nachtzeit hinausgezögert werden.

Beim FW-Tauchen werden besonders Psyche, Kreislauf und Atmung beansprucht. Hier ist ein spezielles Training für Geist und Körper von großem Vorteil. Ausgeglichenheit und Nervenstärke sind Zeichen eines guten Tauchers!

Die persönliche Taktik eines Tauchers besteht im wesentlichen darin, daß Streß und Paniksituationen vorbeugend vermieden werden. Durch präzise Handgriffe, richtige Auswahl von Anzug und Zubehör sowie ruhigstellende Atemtechnik ist eine aufkommende Hektik zu bekämpfen.

Freimachen der Atemwege (Nase) und Herstellen eines Druckausgleiches sind schon vor dem Einstieg ins Wasser durchzuführen.

Einsatzmäßig ausgerüstet soll der Taucher sich nur so schnell bewegen, daß keine Atemnot aufkommt. Ein Sauerstoffmangel kann der Beginn einer Panik sein.

Bei einer Leichensuche sollte man sich nicht in Phantasien hineinsteigern. Die Bewegungen sind auf die Atmung einzustellen, so daß in jeder Atemphase eine Selbstrettung möglich ist. Eine ausgeglichene Atmung und exakte Leinenverbindung zum Leinenmann beeinflusst im wesentlichen die psychische Stabilität des Feuerwehrttauchers.

1.4. Verhaltensregeln/Aufgabenverteilung an der Einsatz- und Übungsstelle

1.4.1. Der Tauchtruppführer

Dem Tauchtruppführer obliegt die Erkundung und Beurteilung des Gewässers sowie die Absicherung der Einsatzstelle gegen Störungen und Gefahren. Weiterhin hat er die Leitung und Verantwortung für den Einsatz des Tauchtrupps, der Bootsbesatzung und weiteren unmittelbar im Zusammenhang mit dem Taucheinsatz tätiger Einsatzkräften.

Er kann die eingesetzten Beamten je nach Lage kurzfristig in ihrer Funktion umbenennen. So wird zum Beispiel bei Eisrettung der leichteste und bei handwerklichen Arbeiten der geeignetste Taucher eingesetzt.

Auf ausreichende Kommunikation ist zu achten. So sollten zum Beispiel während der Anfahrt mit dem Zugführer und eventuellen Hilfskräften Absprachen getroffen werden. Benachbarte Kräfte wie die Wasserschutzpolizei zur Absicherung, der Notarztwagen und bei einem Taucherzwischenfall das Druckkammerpersonal sind zu verständigen.

Der Tauchtruppführer kann anordnen, daß bei besonderen Einsatzvoraussetzungen oder -situationen auf das Tragen von Teilen der Ausrüstung verzichtet werden kann. Der Tauchtrupp darf während des Taucheinsatzes nicht durch zusätzliche Arbeiten, insbesondere nicht durch das Steuern oder Fortbewegen des Taucherfahrzeuges von seinen Aufgaben abgehalten werden.

Für den Tauchtruppführer gilt als Einsatzgrundsatz: »Wer selbst arbeitet verliert die Übersicht!«

1.4.2. Der Fahrer

Der Fahrer ist verantwortlich für den RW-W sowie seiner Beladung hinsichtlich Vollständigkeit, Funktionstüchtigkeit und Wartung.

Er hat das Fahrzeug in günstige Position gemäß der gegebenen Lage abzustellen. Bei schiffbaren Gewässern führt er die Erstsicherung mittels Scheinwerfer, Warn-Blink-Anlage, Blaulicht und Flaggen am Lichtmast durch. Er ist für die

Geräteausgabe sowie als Melder zur Nachrichtenzentrale eingesetzt. Im wesentlichen verbleibt er am Fahrzeug.

1.4.3. Der Signalmann

Der Signalmann ist von Beginn des Einsatzes an, also schon während der Anfahrt, für den Taucher verantwortlich. Er ist dem Taucher beim Anziehen behilflich, überprüft die Ausrüstung und fragt die Leinenzeichen ab. Der Signalmann unternimmt alles, um seinen Taucher zu entlasten und vermittelt ihm durch umsichtiges Handeln Sicherheit.

Er hat auf eine klare Leinenführung und die Ausatemluftblasen des Tauchers zu achten. Es sind klare Weisungen zu geben und Anfragen zu beantworten. (Leinenlänge, Richtung, Tauchzeit/Nullzeit). Ein Signalmann darf nur jeweils einen Taucher leiten.

1.4.4. Der Taucher

Die Ausrüstung des Tauchers richtet sich nach der Einsatzart. Bei Rettungseinsätzen bietet der Naßtauchanzug Vorteile durch sein schnelles Anlegen. Die Verbindung zum Leinenmann muß durch exakte Leinenführung sichergestellt sein. Der Taucher hat den Weisungen seines Signalmannes Folge zu leisten. Er hat sofort aufzutauchen, wenn er irgendeine Unpäßlichkeit verspürt oder Mängel am Gerät feststellt. Ansonsten ist nach 1.3. zu verfahren.

1.4.5. Der Reservetaucher

Der Reservetaucher hat sich ständig einsatzbereit zu halten, um einen in Not geratenen Taucher sofort zu retten. Bei unübersichtlichen und ausgedehnten Einsatzstellen soll für jeden eingesetzten Taucher ein Reservetaucher mit Signalmann bereitstehen.

1.5. Besondere Gefahren für den Taucher

Auf den Taucher können, je nach örtlichen Gegebenheiten, besondere Gefahren einwirken.

Ist auf Grund der Bodenbeschaffenheit die Signalleine eingehängt oder verklemmt, so wird die Leine aufgenommen und zurückgetaucht. Nun kann die Leine klariert werden und das Zeichen XX-XX an den Leinenmann gegeben werden. Es wird auf der Stelle gewartet bis der Signalmann die Leine eingeholt hat. Anschließend wird das Zeichen XXXXX gegeben und auf die neue Richtungsangabe gewartet. Dem Signalmann muß die Zeichengebung bekannt sein.

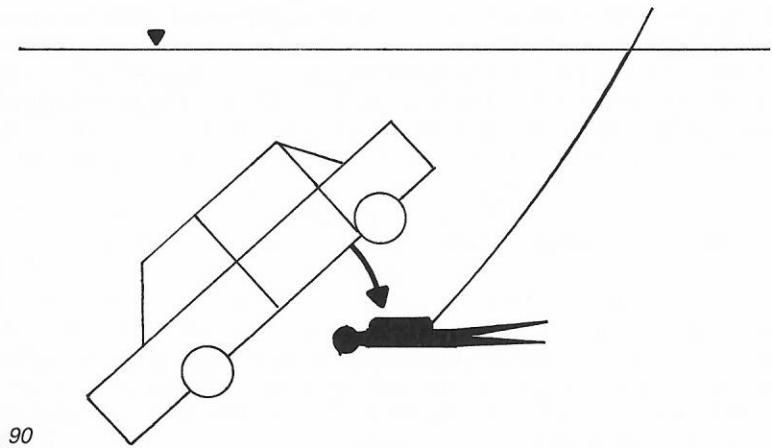


Abb. 90

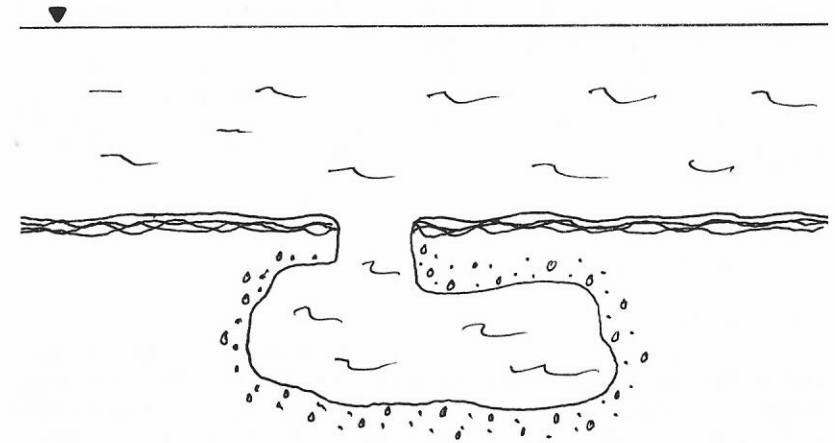


Abb. 91: Kieshöhle; Sandbagger durchdrang Lehmschicht zur Kiesgewinnung

Auf wandernde Gegenstände bei Strömung ist zu achten. Ebenfalls kann ein ungünstig gesunkener PKW einen Taucher einklemmen (Abb. 90).

An Schleusenanlagen ist auf Druck und Sogstellen zu achten. Hier wird am besten der Schleusenwärter befragt und Einsicht in vorhandene Pläne genommen.

In Baggerweihern können sogenannte Kieshöhlen vorhanden sein (Abb. 91), die eine Gefahr durch Einsturz für den Taucher darstellen.

Beim Tauchen an und unter Schiffen ist auf eine genügende Bodenfreiheit zu achten. Das Drehen von Schiffsschrauben muß verhindert werden, am besten einen Posten am Bedienungsstand abstellen.

An den Bühnen in einem Strom entstehen nach der Deckung starke Strömungen bzw. ein Anpreßdruck.

Kraftwerke und Fabriken haben oft Kühlwasserzu- und -abläufe, die einen Taucher mitreißen können.

Grundsätzlich müssen bei einem in Not geratenen Taucher immer mehrere Rettungsmaßnahmen gleichzeitig anlaufen, um beim Mißlingen einer sofort die nächste Rettungsmaßnahme anknüpfen zu können.

1.6. Einsatz von Hilfskräften

Bei Rettungseinsätzen reicht in der Regel die Stärke des Tauchtrupps von 1/3 nicht aus. Hier müssen Hilfskräfte mit ausrücken oder sofort nachgefordert werden. Der Tauchtruppführer hat dann ebenfalls die Leitung sowie Verantwortung für die Hilfskräfte. Hilfskraft kann ein Löschgruppenfahrzeug und / oder ein Feuerwehrboot mit eigener Besatzung sein.

Um einen möglichst reibungslosen Ablauf an den Einsatzstellen zu gewährleisten, sollten von Zeit zu Zeit mit den in Frage kommenden Kräften Übungen mit verschiedenen Lagen durchgeführt werden.

2. Suchmethoden

2.1. Vorbereitungen an der Einsatzstelle

Wird ein Tauchereinsatz notwendig, so sind eine Reihe von Vorbedingungen zu erfüllen. Sollte sich bereits vor oder noch während eines Taucheinsatzes herausstellen, daß das Sicherheitsrisiko zu groß wird, muß der Einsatz unterlassen oder abgebrochen werden. Die Sicherheit des Tauchers ist bei allen Überlegungen an erster Stelle zu bedenken und zu berücksichtigen.

Ein äußeres Sicherheitsrisiko ist gegeben bei Nebel, Sturm, starker Strömung, Strudel, Dunkelheit, Gewitter und Hindernissen über und unter Wasser sowie bei anhaltendem Schiffsverkehr oder bei chemisch verseuchtem Wasser.

Das psychische und physische Sicherheitsrisiko ist ebenfalls zu beachten. Auftretende Spannung, Beklemmung, Hast, Übelkeit, Angst und Panik können einen Einsatz zum Alptraum werden lassen. Der Taucher begibt sich in ein Medium, in dem er nur überleben kann, wenn alle Risiken nahezu ausgeschaltet werden.

Daher gehört zu jeder Einsatzplanung die Berücksichtigung aller Sicherheitsmaßnahmen, so daß der Erfolg des vorgegebenen Auftrages nicht mit eingegangenen Risiken erkauft werden muß.

So weit es die eigenen und benachbarten Kräfte (Polizei) zulassen, sollte so schnell wie möglich eine Absperrung der Einsatzstelle erfolgen, um eine Behinderung durch Schaulustige auszuschließen. Erfordert die Größenordnung des

Einsatzes ein Nachrücken von Sonderfahrzeugen, so ist für einen gesicherten Anfahrts- bzw. Abfahrtsweg zu sorgen. Bei Nacht muß eine ausreichende Beleuchtung des gesamten Einsatzraumes gewährleistet sein. Handelt es sich um einen schwierigen Taucheinsatz, ist, sofern nicht schon vorhanden, ein Arzt hinzuzuziehen. Der Erfolg oder Mißerfolg eines Taucheinsatzes fällt oder steigt mit der Kommunikation. Zeugen sind zu befragen hinsichtlich der Art des zu suchenden Objektes und des Verlustortes. Der Einsatzleiter sollte sich genügend Zeit für die Erfragung von Art, Größe, Farbe und Gewicht des zu suchenden Objekts nehmen. Darüber hinaus muß, sofern nicht bekannt, die Wassertiefe, die Bodenbeschaffenheit, der Bewuchs und die Sichtweite des Verlustortes erfragt werden. Aus diesen Angaben können bereits taktische Maßnahmen zur Suche eingeleitet werden. Bei schlechter Sicht müssen Lampen, bei schwerem Gewicht Hebegeschirr zum Einsatz bereitgestellt werden. Kleinteile sollten zentral in bereitgestellten Behältern (Eimern und dgl.) abgelegt werden.

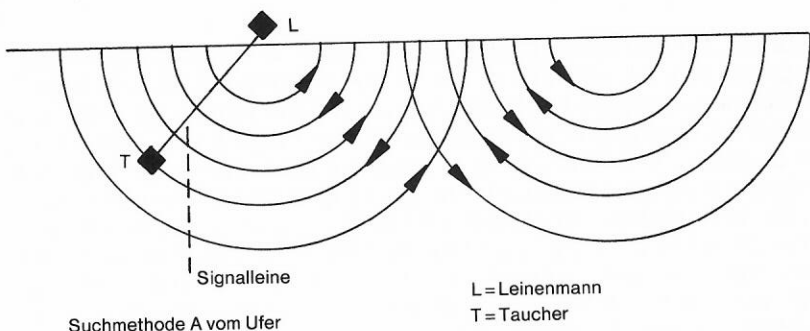
Um möglichst zeitsparend arbeiten zu können, muß die Stelle des versunkenen Objektes so genau wie möglich lokalisiert werden. Angaben über Landmarken und Deckpeilungen sind hierbei wichtig (markante Punkte in der Landschaft, die zum Verlustort in einer gedachten Linie stehen). Markierungspunkte können Häuser, Masten, Türme, Brücken, Bäume, Hügel, Hecken oder sonstige gut merkbare Landschaftsdetails am Ufer oder dessen Hintergrund sein. Das Suchgebiet ist in jedem Fall so abzustecken, daß auch die nähere Umgebung des Verlustortes mit in die Suchaktion einbezogen wird.

2.2. Einsatz vom Ufer

Bei der Suche entlang eines Gewässerufers bieten sich zwei Methoden an, die ich in A und B unterteile.

Bei der Methode A läßt der Leinenmann den Taucher von einem festen Standpunkt in verschieden großen Radien Halbkreise schwimmen (*Abb. 92*). Zunächst schwimmt der Taucher die festgelegte, gesamte Länge seiner Leine aus und beginnt mit einem Halbkreis seinen ersten Radius abzusuchen. Danach verkürzt der Leinenmann die Signalleine um die Sichtweite unter Wasser, so daß der zweite Radius abgesucht werden kann. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zum restlosen Absuchen des gesamten Gebietes. Anschließend wechselt der Leinenmann seinen Standort so, daß eine Überlappung der Sektoren stattfindet und kein Gebiet unabgesucht bleibt. Zu beachten ist, daß der Taucher die Leine immer unter Spannung hält, damit kein Radius doppelt abgesucht wird.

Bei der Methode B muß dem Leinenmann ein gut begehbares Ufer zur Verfügung stehen. Hier führt der Leinenmann den Taucher in gleichbleibender Parallelentfernung zum Ufer (*Abb. 93*). Der Taucher hat auch hierbei darauf zu achten, daß die Leine immer auf Zug gehalten wird. Ist ein festgelegter Streckenabschnitt abgesucht, wird die gleiche Strecke, der Sichtweite unter Wasser entsprechend, mit veränderter Parallelführung zurückgetaucht. Es ist zweckmäßig, zuerst mit dem Streckenabschnitt in der größten Wassertiefe zu beginnen. Der Taucher muß nur einmal Druckausgleich herstellen und hat keine wechsell-



Suchmethode A vom Ufer

Abb. 92

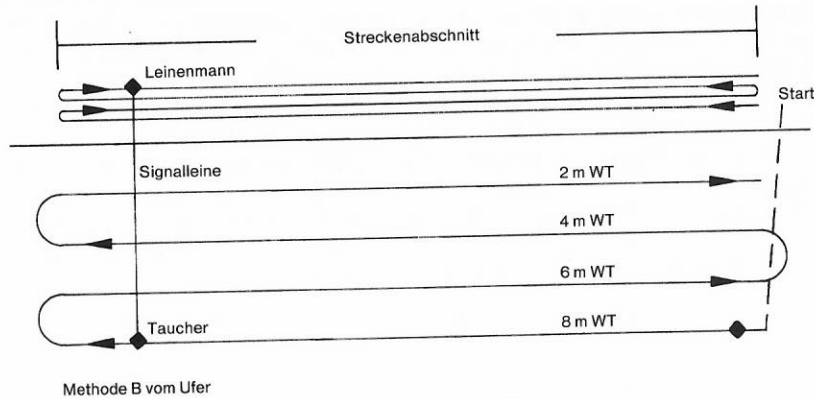


Abb. 93

den Tiefen. Weiterhin können bei umgekehrter Verfahrensweise aufgewirbelte, herabsinkende Schwebeteilchen die Sicht in einem tiefer gelegenen Suchstreckenabschnitt stark beeinträchtigen.

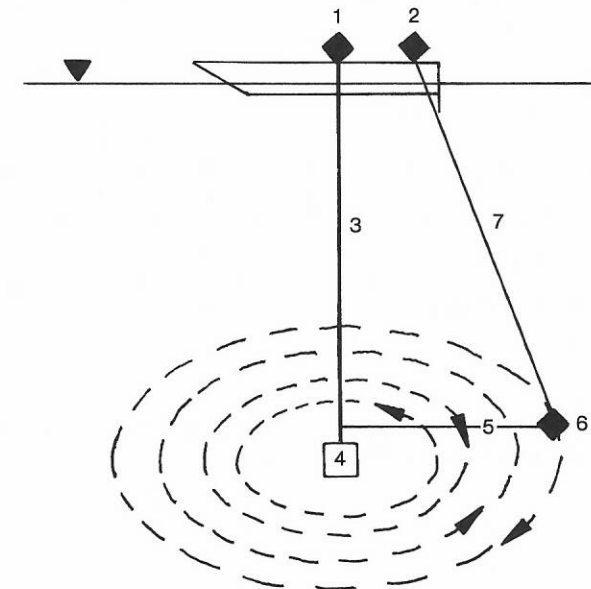
2.3. Einsatz vom Boot

Das Boot, von dem aus getaucht werden muß, kann ein vor Anker liegendes Schiff, ein Feuerlöschboot, ein Mehrzweckboot oder ein Tauchboot sein. Es ist grundsätzlich immer darauf zu achten, daß die Schiffsschraube gegen Anlaufen gesichert ist. Eine Vertäuung zum Ufer ist nach Möglichkeit anzustreben, da ein Anker setzen zur Verhedderung der Signalleine führen kann. Bei kleineren Booten ersetzt ein schweres Grundgewicht am Grundtau den Anker. Andernfalls muß der Anker in ausreichender Entfernung gesetzt werden, so daß die Ankerleine zum Boot einen stumpfen Winkel aufweist und eine Behinderung für den Taucher ausgeschlossen ist.

Für das Aus- und Einsteigen soll das Boot eine geeignete Vorrichtung aufweisen. Wasserstand und Bodenfreiheit sind zu beachten.

Zur Bootsmannschaft gehört in der Regel bei Motorbooten außer dem Bootsführer, der Taucher, der Signalmann sowie der komplett ausgerüstete Reservetaucher; bei nicht motorisierten Booten zwei Ruderer.

Das Boot kann zum Beispiel über die lokalisierte Verluststelle mittels Grundtau und Grundgewicht fest verankert werden (Abb. 94). An dem straff gezogenen Grundtau befestigt der Taucher eine Laufleine und sucht in Sichtweite des Grundtaus den Boden in einem Kreis ab, wobei nach jeder Kreistour deren Ende vom Signalmann angezeigt werden muß. Danach verlängert der Taucher den Radius seiner Laufleine um die Sichtweite unter Wasser und schwimmt in entgegengesetzter Richtung einen zweiten Kreis ab. Die Kreise werden so lang vergrößert, bis die gesamte Länge (15 bis 20 m) der Laufleine erreicht ist. Wurde das gesuchte Objekt nicht gefunden, muß das Boot mit Grundtau und Gewicht um etwas weniger als die doppelte Länge der Laufleine versetzt werden.



- 1 Reservetaucher
- 2 Signalmann
- 3 Grundtau
- 4 Grundgewicht
- 5 Laufleine
- 6 Taucher
- 7 Signalleine

Abb. 94:
Suchen vom Boot
an der Laufleine

2.4. Einsatz in fließenden Gewässern

Bei Taucheinsätzen in fließenden Gewässern kommen einige Risikofaktoren hinzu. Primär ist die Fließgeschwindigkeit für die Einsatzmethode entscheidend. Es muß die Grundbeschaffenheit, eventuelle Hindernisse und Sichtverhältnisse unter Wasser, die Ein- und Ausstiegsstelle und die Einsatzmöglichkeit für den Reservetaucher berücksichtigt werden.

Der Taucher hat verschärft darauf zu achten, daß er durch die Strömung nicht an

Hindernisse gedrückt wird oder an dergleichen hängen bleibt. Er darf sich nur seitlich an UW-Objekten festhalten und Seile von unterstrom anschlagen. Die Verständigung erfolgt am besten mittels Tauchertelefon, so daß bei eventuellen Ereignissen sofort gezielte Maßnahmen getroffen werden können. Stromabwärts muß eine Hilfsmannschaft zur Verfügung stehen, die bei unvorhergesehenen Ereignissen (Auftreiben des Tauchers usw.) sofort eingreifen kann.

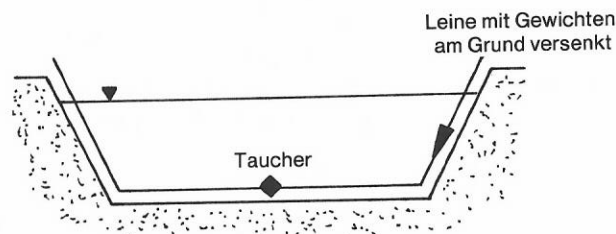
Die Wasserschutzpolizei ist in jedem Fall zu verständigen, um die Absicherung der Einsatzstelle zu übernehmen.

Ist die Fließgeschwindigkeit nicht größer als 0,3 m/s, kann das Absuchen mittels eines Grundseils quer zur Flußrichtung erfolgen. Das Seil wird nach jeder Querung in Flußrichtung versetzt.

Beträgt die Fließgeschwindigkeit mehr als 0,3 m/s, so kann sich der Taucher kaum am Grundseil festhalten. Hier läßt sich nur ein Abschwimmen in Flußrichtung durchführen. Dabei schwimmt der Taucher vor dem Wasserfahrzeug.

2.4.1. Quersystem (nach Zimmermann/Rote Hefte 40)

Solange die Strömungsgeschwindigkeit ca. 0,3 m/Sek. nicht überschreitet, kann dieses Verfahren angewendet werden. Dabei wird eine Leine, die mit zwei Grundmassenstücken versehen ist auf den Grund des Kanals oder Flusses abgesenkt. An dieser quer zur Flußrichtung liegenden Leine kann der Taucher, von einem zum anderen Ufer schwimmend, die Sucharbeiten durchführen (Abb. 95). Nach einer Querung wird die Leine vom Grund abgehoben und, je nach Sichtweite, eine bestimmte Strecke flußabwärts versetzt.



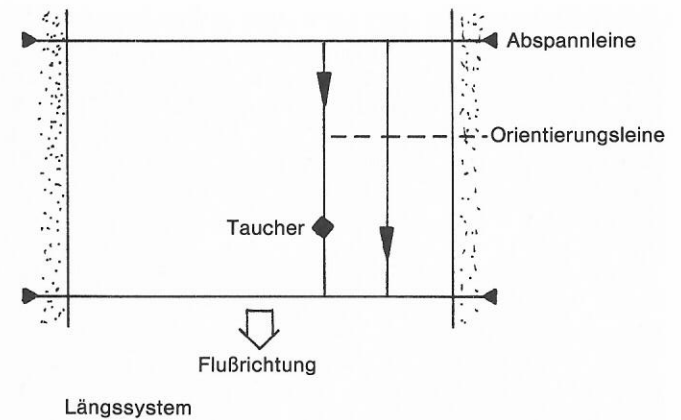
Quersystem

Abb. 95: Quersystem

2.4.2. Längssystem (nach Zimmermann/Rote Hefte 40)

Bei größeren Fließgeschwindigkeiten müssen Sucharbeiten nach dem Längssystem durchgeführt werden.

Zwischen zwei über die Wasseroberfläche gespannten Leinen (quer zur Flußrichtung), die je nach Länge der abzusuchenden Strecke 50 bis 100 m auseinanderliegen, ist eine Orientierungsleine zu spannen. An dieser entlang fährt das Taucherbegleitboot in Flußrichtung den Fluß ab, wobei der Taucher vor dem Boot schwimmt und den Flußgrund absucht (Abb. 96). Die Markierung in Längsrichtung kann auch mit Bojen erfolgen. Hierbei entfallen die quer verlegten



Längssystem

Abb. 96: Längssystem

Abspannleinen. Beim Erreichen der flußabwärts gelegten Abspannleine wird der Taucher an Bord genommen und die Orientierungsleine versetzt. Anschließend fährt das Boot wieder zum Ausgangspunkt zurück. Nach Versetzen des oberstrom gelegenen Leinenendes kann der Taucher wieder eingesetzt werden und die nächste Strecke absuchen.

2.5. Hilfsgeräte

Die Hilfsgeräte bleiben nahezu an jedem Unterwasserhindernis hängen, so daß der Einsatz von Tauchern in der Regel nicht ausbleibt. Der Taucher kann dann entlang der Leine des jeweiligen Hilfsgerätes direkt das Objekt antauchen.

2.5.1. Suchstange

Suchstangen sind Metallstangen, die in etwa 15 cm Abstand voneinander Dreispitzhaken aufweisen (Abb. 97). Die Suchstange wird mittels zwei Arbeitsleinen mit dem Boot oder von Land über den Grund gezogen. Bei fließendem Gewässer erfolgt das Absuchen durch stromabwärtsziehen der Suchstange.

2.5.2. Suchschlitten

Der Suchschlitten besteht aus einer Stange an der mittels kurzer Ketten Dreispitzhaken befestigt sind und seitlich jeweils einer Kufe (Abb. 98). Der Suchschlitten wird ausschließlich von motorbetriebenen Wasserfahrzeugen gezogen.

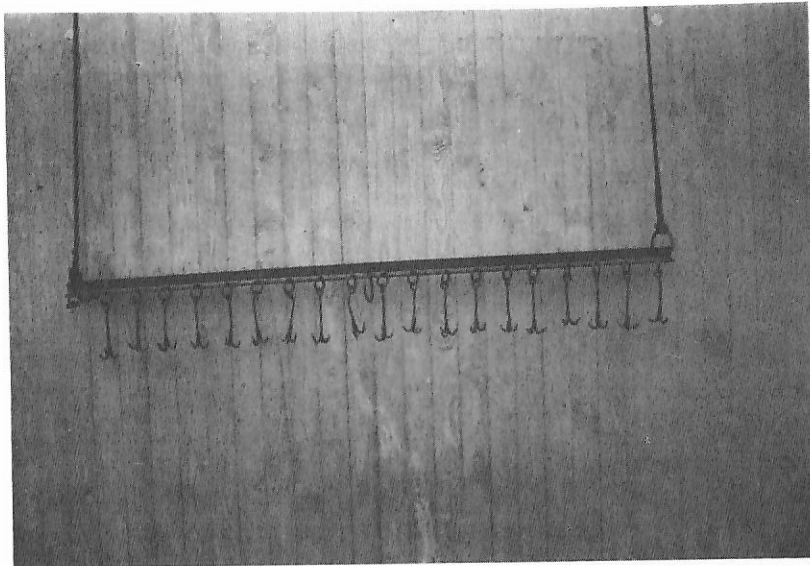


Abb. 97: Suchstange



Abb. 98: Suchschlitten

2.5.3. Suchanker

Der Suchanker ist ein Dreispitzanker, der mittels Leine über den Grund gezogen wird.

2.5.4. Rettungsstange

Die Rettungsstange hat eine begrenzte Einsatztiefe von ca. 5 m. Durch ihre Bauart ist eine geringe Einsatzbreite gegeben. Der Einsatzbereich erstreckt sich von Auskolkungen, Brückenpfeilern und Stromschatten über das Festhalten von Wasserleichen oder sonstigen Gegenständen.

3. Eisrettung

Eine ins Eis eingebrochene Person kann sich unter Umständen noch sehr lange über Wasser halten, obwohl sie kein Schwimmer ist; werden die gespreizten Arme auf die noch vorhandene Eisoberfläche gelegt, reicht dies in der Regel aus, da der eingetauchte Körper auf Grund des archimedischen Prinzipes an Gewicht verliert.

Die eigentliche Todesursache bei ins Eis eingebrochenen Personen ist eine Unterkühlung (siehe VI.8.4.). Wenn durch Kälteschock ein Herzstillstand eintritt oder der Betroffene nach kurzer Kälteeinwirkung die Gewalt über seine Muskel infolge Muskelstarre, Kältezittern und allgemeiner Abkühlung verliert, geht er unter und gelangt unter die Eisdecke. In diesem Fall ist nur eine Rettung mit Hilfe von Tauchern möglich.

3.1. Einsatzkleidung

Da die Unterkühlung bei solchen Einsätzen die primäre Gefahr darstellt, ist auf einen ausreichenden Kälteschutz der Rettungsmannschaft, insbesondere des Retters, zu achten. Die geeignetste Kleidung für den Retter ist der Trockentauchanzug. Er isoliert den Retter völlig vom kalten Wasser und bringt den größten Auftrieb. Naßtauchanzüge sind schneller anzuziehen, aber das in den Anzug eindringende Wasser muß erst erwärmt werden und stellt somit eine starke Kreislaufbelastung dar.

Auf das Tragen von Schwimm- oder Rettungswesten kann infolge des großen Auftriebs durch die Tauchanzüge verzichtet werden. Stehen keine Tauchanzüge zur Verfügung, so sind zumindest Wathosen und Schwimmwesten anzulegen. Beim Einbrechen in das Eis, das nicht immer mit dem gesamten Körper geschehen muß, ist somit ein teilweiser Kälte- und Nässeschutz gegeben. Der Retter ist in jedem Fall anzulegen bevor er sich auf die Eisfläche begibt.

3.2. Einsatz bei Eisrettung

Die Unterkühlung von einer ins Eis eingebrochenen Person tritt schnell ein, was ein Erlahmen der Kräfte und somit das Untergehen zur Folge hat. Es ist daher wichtig, als erste Maßnahme einen geeigneten Gegenstand, wie z. B. Rettungsring, Rettungsball oder dergleichen, je nach örtlicher Gegebenheit, dem Betroffenen zuzuwerfen. Somit kann er sich vorerst gut gegen ein Untergehen und Verschwinden unter der Eisdecke schützen. Sollten seine Kräfte noch ausreichen, kann er mittels des Rettungsringes oder Rettungsballes aus der Einbruchsstelle gezogen werden. Auf Grund der Unterkühlung wird dies in der Regel jedoch nicht gelingen.

Nun gibt es mehrere Möglichkeiten den Betroffenen zu retten. Der Retter muß darauf achten, sein Körpergewicht möglichst großflächig auf die Eisdecke zu verteilen. Dies geschieht am besten durch Hilfsmittel wie Bretter, Leitern, Boote oder einem Eisschlitten (Abb. 99). Unter Zuhilfenahme der genannten Rettungsmittel arbeitet er sich an den Verunglückten heran und zieht ihn aus dem Wasser. Geretteter und Retter müssen nun so schnell wie möglich mit der am Rettungsgerät vorher angeschlagenen Leine zurückgezogen werden, um eine sofortige Versorgung des Verunglückten zu gewährleisten.

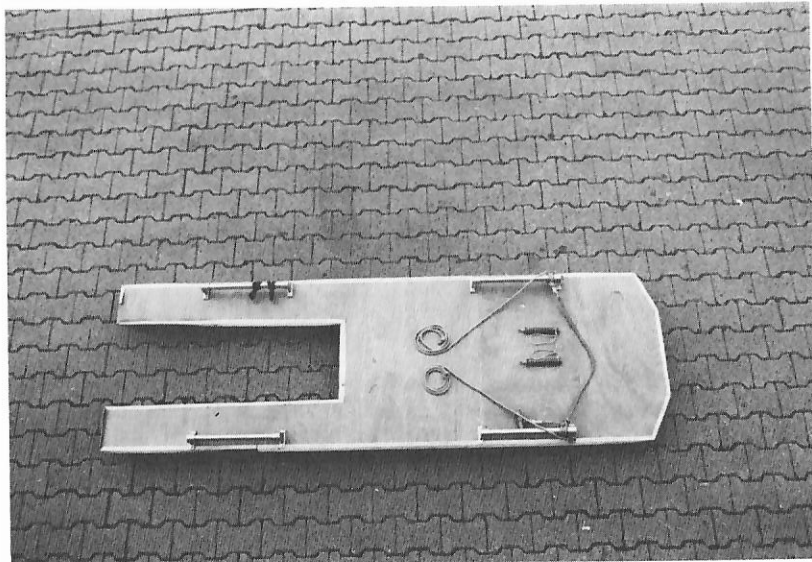


Abb. 99: Eisschlitten

Bei Einbrüchen nahe dem Ufer kann, je nach örtlicher Gegebenheit, eine Drehleiter schnellstmögliche Hilfe bieten.

3.3. Eistauchen

Beim Eistauchen müssen Faktoren berücksichtigt werden, die ausschließlich hier auftreten oder verstärkt auf den Taucher einwirken.

Die Kälte stellt eine erhöhte Kreislaufbelastung für den Taucher dar. Es muß daher für einen ausreichenden Kälteschutz (Trockentauchanzug), warme Umkleideräumlichkeit (Standheizung im Fahrzeug) und vereisungssichere Ausrüstung sowie einwandfreie Atemluft gesorgt werden. Das Wiederfinden der Einstiegsstelle und die geschlossene Eisdecke können eine erhöhte Platzangst hervorrufen, wodurch schon eine kleine Unpäßlichkeit eine Panik auslösen kann. Eistauchgänge sollten daher nur von erfahrenen Tauchern durchgeführt werden.

Durch die geschlossene Eisdecke ist ein einwandfreies Führen des Tauchers mit der Signalleine nahezu unmöglich. Der Taucher darf sich daher nicht allzuweit vom Einstiegsloch entfernen und nimmt zur Groborientierung einen Kompaß mit.

Soll die Einbruchsstelle als Einstiegsloch dienen, wird sie mit der Motorsäge auf eine ausreichende Größe von 2 m x 2 m zugeschnitten. Das Aufschlagen mit der Axt kann ein Reißen der Eisdecke zur Folge haben. Die ausgesägte Scholle wird unter die Eisdecke gedrückt und zur Seite geschoben. Dadurch wird das Einstiegsloch von unten besser sichtbar. Nach dem Tauchen ist das Einstiegsloch sowie eventuelle Reservelöcher gut zu sichern und ausreichend kenntlich zu machen.

Das Einstiegsloch ist ringsum mittels Lattenrost oder Leitern gegen ein weiteres Einbrechen zu sichern. Der Signalmann und der Reservetaucher sind am sichersten in einem Rettungsboot, das neben dem Einstiegsloch auf der Eisoberfläche steht.

Wenn die Eisoberfläche verschneit ist, so kehrt man das abzusuchende Gebiet nach Möglichkeit ab. Die Sichtweite unter Wasser wird dadurch erhöht, und für den Taucher ist eine Groborientierung vorhanden. Läßt die Größenordnung des Einsatzes es zu, so können Rollschläuche (Abb. 100) auf der Eisoberfläche verlegt werden. Der Taucher findet hierbei immer zur Einstiegsstelle, wenn er bei Orientierungsverlust entlang der von unten gut sichtbaren Rollschläuche taucht.

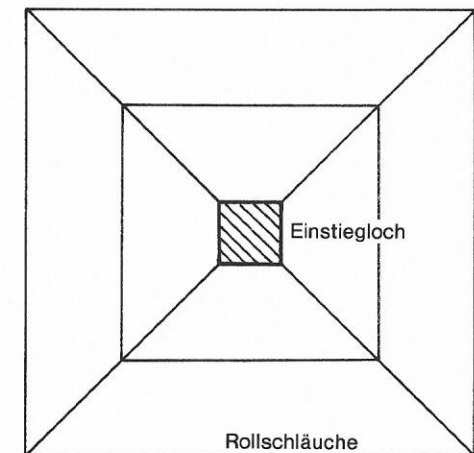


Abb. 100

Gewässer frieren unterschiedlich zu. Durch dünnes Eis oder eisfreie Stellen sollte man sich nicht verleiten lassen, die Sicherheitsvorkehrungen außer acht zu lassen. Die Schnittstruktur des Eises gibt Auskunft über den Zustand. Gefrierendes Eis ist hart, glasklar und hat keine Strukturen. Schmelzendes Eis ist porös, läßt sich leicht brechen und zeigt Riefen und Strukturen.

Bei Wintertauchgängen kann eine unregelmäßige Luftzufuhr ein eindeutiges Anzeichen für beginnende Vereisung des Druckminderers bzw. des Lungenautomaten sein. Die Ursache ist die Abkühlung der Atemluft bei Druckminderung (Gay-Lussacsches-Gesetz). Der stärkste Druckabfall findet im Druckminderer statt. Dabei kühlt die Luft ab und entzieht ihrer Umgebung Wärme. Der Luftvorrat nimmt die Wassertemperatur an, was bei niedriger Umgebungstemperatur zusätzlich eine Abkühlung des Druckminderers bzw. des Lungenautomaten zur Folge hat. Somit kann leicht der Gefrierpunkt erreicht werden. Die Flaschenluft ist nie ganz frei von Feuchtigkeit. Die Qualitätsanforderungen für Atemluft in Tauchgeräten sind nach »DIN 3188 – Druckluft« festgelegt. Es darf:

CO-Gehalt max. 50 ppm

CO₂-Gehalt max. 1000 ppm

Wassergehalt in entspannter Luft

50 mg/m³ für 200 bar Fülldruck

35 mg/m³ für 300 bar Fülldruck

Frei von Geruch und Geschmack – damit praktisch frei von bedenklichem Ölgehalt –

(Ölgehalt dann erfahrungsgemäß unter 0,3 mg/m³)

Übersteigt die Atemluft den o. a. Wassergehalt, so bildet sich Kondenswasser, das Eiskristalle bilden kann, die ein gefährliches Ausmaß erreichen können. Liegt die Wassertemperatur über 8° C findet auf Grund der Wärmezufuhr keine Eisbildung statt. Unter 8° C steigt die Gefahr an und bei 3°–4° C besteht akute Vereisungsgefahr.

Meistens ist der Druckminderer betroffen, da hier der größte Druckabfall stattfindet. Der Ventilschließbolzen blockiert in offener Stellung und der Luftstrom nimmt zu, was eine weitere Abkühlung und das Festsetzen des Bolzens zur Folge hat. Durch Eiskristalle, die sich an Dichtflächen bilden, schließen die Ventile nicht mehr bis sie völlig blockiert sind. Selten ist der Lungenautomat betroffen, denn hier findet keine große Druckminderung statt. Außerdem erfahren die Bauteile den Zustrom der warmen Ausatemluft. Einzigster kritischer Punkt ist hier der Dichtsitz des Einatemventils. Als eigene Schutzmaßnahme ist die Atemtechnik zu erwähnen. Luftdusche und Inflator sollten nicht länger als 5 Sek. gedrückt werden, dabei sollte auf das Atmen verzichtet werden. Weiterhin ist die Qualität der Atemluft von großer Bedeutung. Das Gerät sollte nie ganz leer geatmet und nur für einen Tauchgang benutzt werden. Wasser am und im Lungenautomat kann durch Eisbildung die Funktionstüchtigkeit einschränken bzw. unterbinden.

Bei Notsituationen ist Ruhe zu bewahren und das Einstiegsloch auf dem kürzesten Weg aufzusuchen. Dem Leinenmann muß das Notsignal gegeben werden. Es sollte nicht über dem Grund zurückgetaucht werden, sondern unter der Eisoberfläche, da hier weniger Luft verbraucht wird. Ein Durchbrechen der Eisdecke dürfte in der Regel sehr zeitraubend sein. Ist die Signalleine verloren gegangen, muß mittels Kompaß die Ufernähe unter dem Eis aufgesucht werden.

Zweite Stufe

Der Tauchtrupp muß dann mit Zuschauern den Uferbereich nach Luftblasen absuchen. Weiterhin kann ein Loch durch die Eisdecke mittels des Tauchmessers gearbeitet werden. Es muß jedoch so groß sein, daß der Arm hindurch gestreckt werden kann. So wird der Taucher schnell von der Rettungsmannschaft gefunden.

4. Rettung von Tieren

Kleintiere können in der Regel ohne weiteres in das Rettungsboot genommen werden. Müssen sie jedoch erst eingefangen werden, so hat sich eine Stange mit Zugschlaufe (Abb. 101) bestens bewährt. Größere Tiere müssen festgehalten oder mittels Leinen am Hals bzw. Kopf gesichert, seitlich oder im Fahrwasser des Bootes an Land gezogen werden. Bei Steilufern und Kaimauern muß entsprechendes Hebegerät eingesetzt werden, um die Tiere an Land zu hieven. Wird bei solchen Einsätzen jemand verletzt, ist eine ärztliche Behandlung angezeigt, da Tollwut- oder Wundstarrkrampfinfizierung auftreten können.

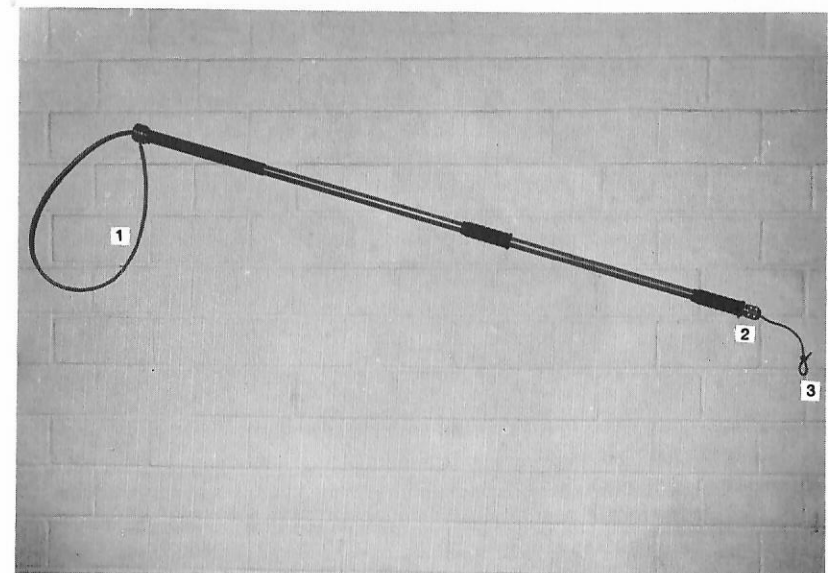


Abb. 101: Stange mit Zugschlaufe

- 1 Zugschlaufe
- 2 Arretierung
- 3 Zugteil

5. Leichenbergung

Schwimmende Wasserleichen können in der Regel an der vorhandenen Bekleidung festgehalten (Abb. 102) oder mit Leinen gesichert an Land gebracht werden. Besteht, auf Grund eines längeren Wasseraufenthaltes, die Gefahr, daß



Abb. 102

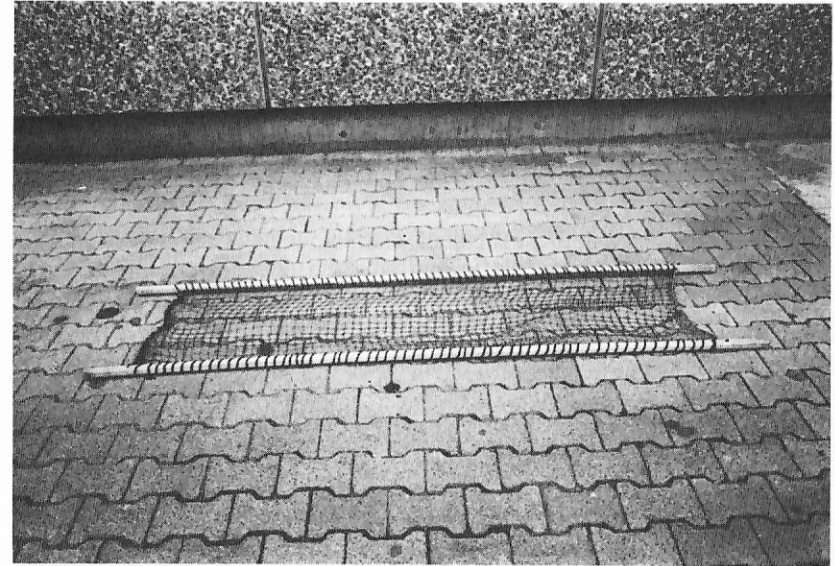


Abb. 103: Netztrage

sich Körperteile lösen, ist die Leiche mit einem Leichensack oder Netz zu transportieren. Das Anlandbringen kann dann unter Umständen mit einer sogenannten Netztrage (Abb. 103) durchgeführt werden. Gummihandschuhe sind in jedem Fall anzulegen. Ist die Leiche an Land gebracht, sollte sie mit einem Leichentuch bis zum Abtransport bedeckt werden.

Hängen Wasserleichen an Rechen von Stauwehren, Kraftwerken und Schleusen, ist ein Entfernen oft erst nach Schließen des Ab- bzw. Zulaufes möglich. Alle bei einer Leichenbergung im Einsatz befindlichen Geräte müssen anschließend gut gereinigt und desinfiziert werden.

6. Hebearbeiten

Ist der zu suchende Gegenstand ein schweres Objekt, das nach Auffinden nicht durch die Körperkraft des Tauchers geborgen werden kann, müssen Hilfsmittel hinzugezogen werden. Hilfsmittel können Kranwagen, Drehleiter, Greifzug und Seilwinde sein. Wenn die Lage des Objektes jedoch den Einsatz der o. a. Hilfsgeräte nicht zuläßt, muß dies zuerst an die Wasseroberfläche gebracht werden, um es anschließend anzuschlagen und an Land zu ziehen.

Es gibt verschiedene Arten von Hebeegeräten. Sie reichen vom Hebesack über Hebetonnen, LKW-Reifenschläuche bis zum Hebeballon (Abb. 104), auf den ich hier näher eingehen will. Die Hebeballons können mittels Stahlschlupp an das Objekt angeschlagen, bzw. in einem zu hebenden Auto oder dergleichen installiert werden. Anschließend werden die Hebeballons von der Wasserober-

fläche oder vom Land aus mit Druckluft über eine gesonderte Gerätearmatur gefüllt. Die Luft strömt in die Ballons und dehnt sich aus. Der so gewonnene Auftrieb bringt das Objekt an die Wasseroberfläche. Die überschüssige, sich nach dem Boyle-Mariottschen-Gesetz ausdehnende Luft entweicht durch Ventile. Der Hebeballon hat den Vorteil, wenn er z. B. in einem Auto eingesetzt wird, daß das Auto bis an die Wasseroberfläche aufgetrieben wird. Es ist somit ein geringer Tiefgang vorhanden, der es erlaubt, das Auto bis unmittelbar an das Ufer zu schleppen.

Taucher dürfen sich während der eigentlichen Hebearbeit nicht in der Nähe des Objektes aufhalten. Besser sie warten an Land oder im Taucherboot, um anschließend eventuelle Arbeiten durchführen zu können.

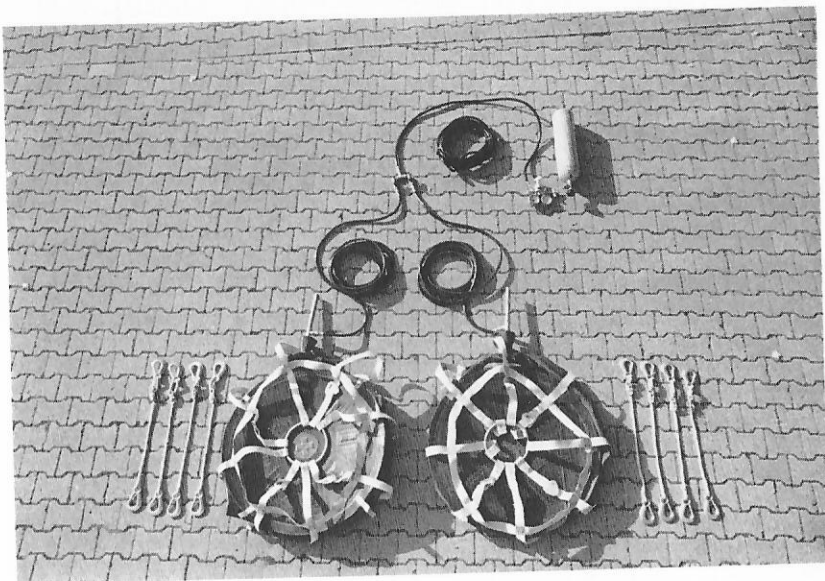


Abb. 104: Hebeballon mit Füllarmatur

7. Leckabdichtung

Jeder Wassereintrich auf einem Schiff beeinträchtigt Stabilität und Schwimmfähigkeit und kann somit, je nach Umfang der Flutung, zu einer Gefahr für Schiff und Besatzung werden. Man unterscheidet zwei Fälle bei einem Wassereintrich:

A)

Eine über die gesamte Breite des Schiffes gehende Abteilung ist vollgelaufen. In solchen Fällen können die Wassermassen einem Schiff nicht allzu gefährlich werden, da das Schiff nur tiefer eintaucht, und der Gewichtsschwerpunkt

wandert nach unten. Sind die Wassermassen durch Schottwände eingeschlossen, verhält sich das Schiff bei Wellengang verhältnismäßig ruhig. Es tritt keine Kränkung des Schiffes auf.

B)

Die Abteilung ist halb voll Wasser gelaufen, dabei entstehen freie Oberflächen und bei Wellengang werden die Wassermassen unkontrolliert zu der kränkenden Seite schießen und die Kränkung vergrößern. Befindet sich an einer Seite außerdem noch ein Leck, wird mehr Wasser hineingedrückt und die Schlagseite vergrößert sich. Bei starker Kränkung können sich Bauteile losreißen und zu der kränkenden Seite stürzen. Die Gefahr des Kentern ist gegeben.

Sind Schotten vorhanden und werden diese rechtzeitig geschlossen, kann bewirkt werden, daß der Wassereintrich auf einen kleinen Bereich begrenzt bleibt.

Für die Sofortmaßnahmen im Leckfall gibt es Geräte und Materialien, mit denen man schnell ein Leck behelfsmäßig abdichten kann.

Dazu gehören:

1. Leckpfropfen
2. Leckpfropfen und Keile
3. Selbstgefertigte Leckpfropfen aus Tuch, Leinwand, Filz oder Gummimatten.

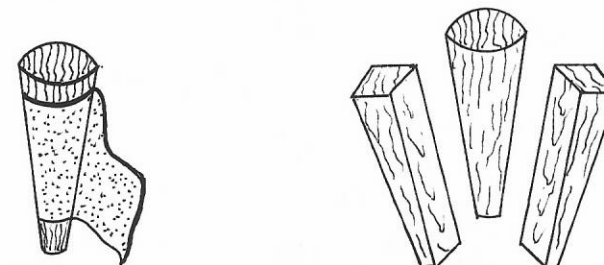


Abb. 105 Leckpfropfen, umwickelt

Leckpfropfen und Keile

Bei kleineren Lecks wird es wohl immer der Fall sein, daß sie abgedichtet werden können. Bei größeren Lecks dagegen kann es möglich sein, daß der betreffende Raum nicht mehr unter Kontrolle zu bekommen ist.

Die eintretende Wassermenge ist nicht nur von der Größe des Lecks, sondern auch von der Tiefe des Lecks unter der Wasserlinie abhängig.

Größere Lecks können von außenbords durch das Ausbringen eines Lecksegels (Abb. 106) in verhältnismäßig kurzer Zeit abgedichtet werden. Der Einsatz

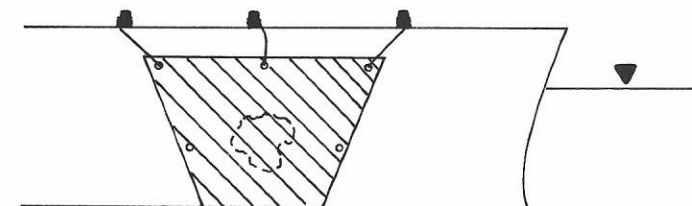


Abb. 106: Lecksegel

von Tauchern erleichtert das Ausbringen. Das Schiff bleibt mit Lecksegel in gewissem Umfang fahrfähig, und das Leck kann anschließend von innen weiter abgedichtet werden.

In jedem Fall sind genügend Tauchpumpen einzusetzen, um vorhandene und noch eindringende Wassermassen abzupumpen.

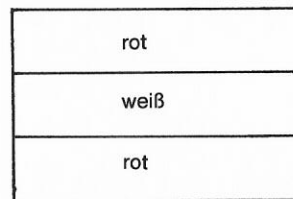
8. Sicherung der Einsatzstellen auf Binnenschiffahrtsstraßen

Bei Taucheinsätzen und Übungen in Binnenschiffahrtsgewässern gelten zur Absicherung der Tauchstelle ganz besondere Vorschriften. Diese Vorschriften und Verordnungen der Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung müssen unbedingt eingehalten werden, da sonst Unfälle nicht vermieden werden können.

8.1. Verbotsszeichen

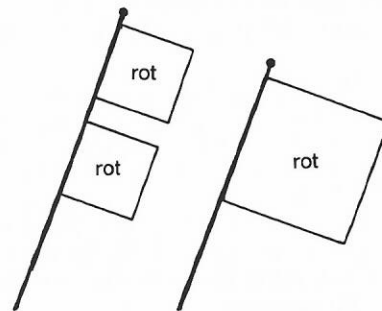
1. Verbotsszeichen

Bei Tag:



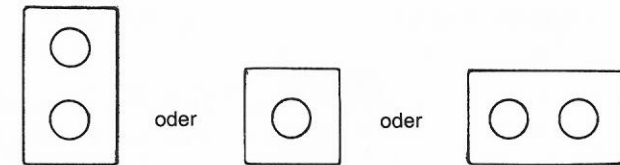
Verbot der Durchfahrt

oder



rote Flaggen

Bei Nacht:



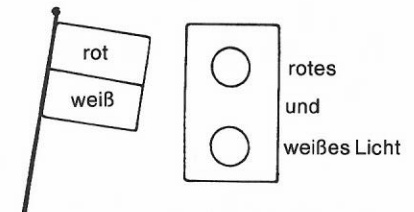
rote Lichter

Alle Zeichen sagen aus, daß die Schifffahrt gesperrt ist, alle Fahrzeuge müssen vor diesen Zeichen anhalten.

Abb. 107

2. Bitte Rücksicht!

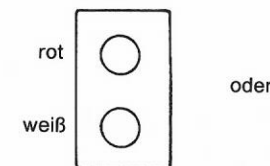
Rot-weiße Flagge
oder
rot-weißes Licht



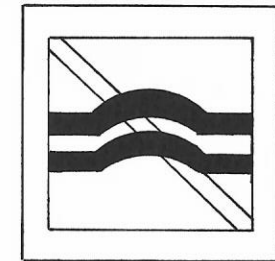
rotes
und
weißes Licht

Abb. 108

3. Wellenschlag vermeiden!



oder



Fahrzeuge müssen ihre Geschwindigkeit so einrichten, daß Wellenschlag und Sogwirkungen vermieden werden. Sie müssen Rücksicht nehmen.

Abb. 109

8.2. Schallzeichen

Die Schallzeichen, ausgenommen die Glockenschläge und das Dreitonzeichen, bestehen in der Abgabe von:

kurzem Ton: Ein Ton von ca. einer Sekunde

langem Ton: Ein Ton von ca. vier Sekunden

Die Pause dazwischen ca. eine Sekunde

Eine Gruppe von Glockenschlägen ca. vier Sekunden.

8.2.1. Allgemeine Zeichen

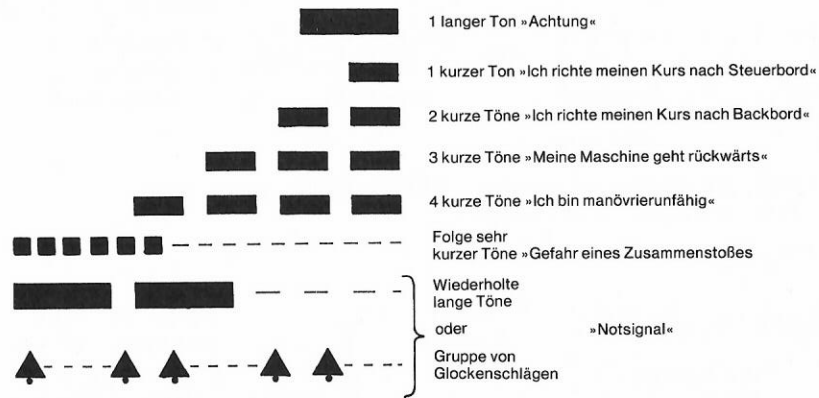
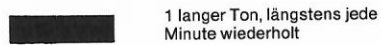


Abb. 110

8.2.2. Zeichen bei unsichtigem Wetter

1. Fahrende Fahrzeuge außer Radar-Talferern



2. Radar-Talferer



3. Stillliegende Fahrzeuge

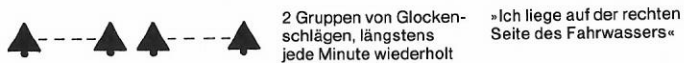


Abb. 111

8.3. Sicherung der Tauchstelle

Eine Tauchstelle wird wie folgt abgesichert. Es werden 50 m oberhalb und 50 m unterhalb eine rot-weiße Flagge gut sichtbar oder vor einer Flußbiegung, wenn die Tauchstelle nicht eingesehen werden kann, gesetzt. Die Tauchstelle selbst wird durch Bojen gekennzeichnet.

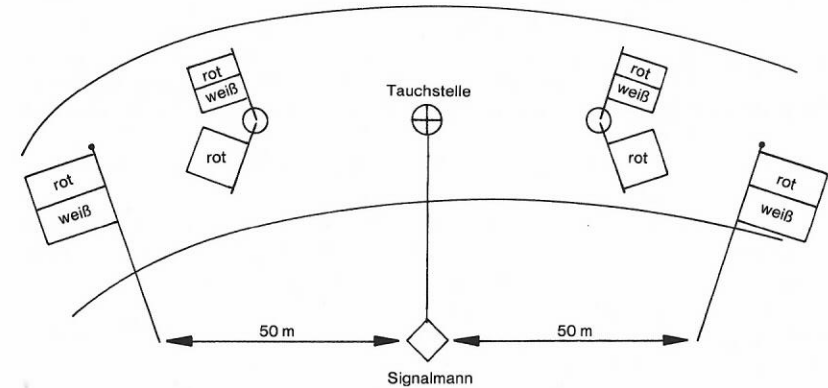


Abb. 112

Wird statt Bojen zur Absperrung ein Boot benutzt, so muß dies wie im Bild gekennzeichnet erfolgen.

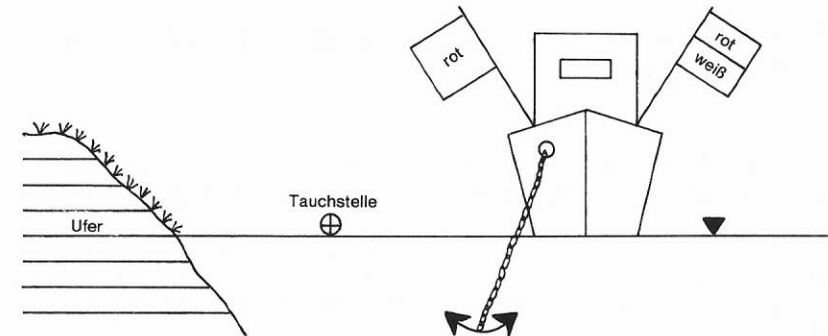


Abb. 113

VIII. Unfallverhütung beim Tauchen im Feuerwehrdienst

1. Tauchen nach FwDV 8 »Tauchen«

Auf Seite 2 der FwDV 8 ist der Geltungsbereich, Sinn und Zweck der Feuerwehrdienstvorschrift, sowie zu berücksichtigende Vorschriften, Richtlinien und dergleichen wie folgt erfaßt:

Die Feuerwehr-Dienstvorschrift gilt nicht nur für die Ausbildung, sondern gleichermaßen für den Einsatz.

Die Vorschrift soll eine einheitliche, sorgfältige Ausbildung der Feuerwehren im Tauchen sicherstellen und die Voraussetzungen für die erfolgreiche und unfallsichere Verwendung von Tauchgeräten im Einsatz schaffen.

Hierbei sind insbesondere zu berücksichtigen:

Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren und die hierzu ergangenen Durchführungsregeln und Erläuterungen in der jeweils gültigen Fassung.

Prüf- und Zulassungsrichtlinien und einschlägige DIN-Normen.

Technische Unterlagen der Hersteller, die Grundlage des Prüf- und Zulassungsverfahrens sind.

2. Gesetzliche Grundlagen für das Tauchen im Feuerwehrdienst

Anhand des Landes Baden-Württemberg will ich die Regelung der gesetzlichen Grundlage erklären. Der Werdegang wird nahezu in jedem Bundesland gleich sein.

Gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 2 des Feuerwehrgesetzes Baden-Württemberg sind die Feuerwehren zur technischen Hilfe und Hilfeleistung verpflichtet. Die Wasserrettung stellt im Sinne dieses Gesetzes eine technische Hilfe bzw. Hilfeleistung dar.

Jegliche Tätigkeit im Feuerwehr-Dienst ist durch Vorschriften geregelt. Die Vorschriften dienen zur Regelung von Einsatz, Ausbildung, Weiterbildung und zur Verhütung von Unfällen. Wie zum Beispiel FwDV 2 »Die Gruppe«, FwDV 7 »Atemschutz«, FwDV 9 »Leitern«.

Für die Wasserrettung bzw. das Tauchen ist die FwDV 8 »Tauchen« bindend. Da sie jedoch keinen Kommentar, wie z. B. das Strafgesetzbuch (StGB) oder die Strafprozeßordnung (StPO) besitzt, müssen andere einschlägige Vorschriften und Richtlinien im Zweifelsfalle herangezogen werden.

Diese Vorschriften, Richtlinien, Merkblätter, Verordnungen und DIN-Normen können z. B. sein:

Taucherarbeiten (VBG 39) und Durchführungsanweisung, Taucherarbeiten des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften

DIN 58 640 Teil 10 – Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung von autonomen Leichttauchgeräten mit Preßluft (Druckluft) für das Tauchen bei den Feuerwehren

UVV-Feuerwehren

Richtlinie für den Einsatz von Leichttauchgeräten (rein informativ)

Richtlinie für die Verhütung von Ertrinkungsunfällen

Verordnung über ortsbewegliche Behälter und über Füllanlagen für Druckgase (Druckgasverordnung).

Diese Aufzählung erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit.

IX. Fragenkatalog für den Taucheranwärter

Der Fragenkatalog soll dem Taucheranwärter einen Überblick über die möglichen Fragen hinsichtlich seiner schriftlichen und mündlichen Prüfung geben. Die Fragen untergliedern sich in I. Praxis/Technologie, II. Physik und III. Medizin. In jedem dieser Bereiche sind ca. 50 Fragen mit den dazugehörigen Antworten aufgeführt.

Die Fragen mit ihren Zahlenangaben und Folgerungen sind frei gewählt und sollen ausschließlich der Schulung im theoretischen Bereich dienen.

1. Praxis/Technologie

1. Zu welchem Zeitpunkt soll ein Notaufstieg während eines Tauchganges geübt werden und warum?

Antwort:

Zu Beginn des Tauchganges, da hier eine geringe N₂-Sättigung vorhanden ist. Notaufstiege sind mit äußerster Sorgfalt durchzuführen.

2. Es soll ein Eisübungstauchgang durchgeführt werden. Beschreiben Sie die Sicherheitsvorkehrungen an der Oberfläche und hinsichtlich der Taucher!

Antwort:

Zum Umkleiden ein geheiztes Fahrzeug.

Einwandfreie Atemluft; Gefahr der Vereisung.

Tauchgerät darf nur einmal benutzt werden.

Ausreichender Kälteschutz für die Mannschaft und den Taucher.

Heraussägen eines ca. 2 × 2 m großen Einstiegsloches. Die herausgesägte Eissholle unter die Eisdecke drücken und zur Seite schieben; dadurch wird das Einstiegsloch von unten besser gesehen.

Absicherung des Einstiegsloches gegen weiteres Einbrechen mittels Latten oder Leitern.

Signalmann und Reservetaucher halten sich am besten in einem Rettungsboot, das sich auf der Eisoberfläche neben dem Einstiegsloch befindet, auf.

Auf Klarheit der Signalleine achten und an einem Festpunkt anschlagen. Verschneite Eisdecke nach Möglichkeit abkehren und Rollschläuche verlegen (Abb. 100).

Kontrollierte Benutzung des Inflators.

Atemtechnik beachten.

Tauchgerät niemals leer atmen.

3. Welche Umstände können zu einer erheblichen Erhöhung des Luftverbrauches führen und welche Gefahren können sich daraus ergeben?

Antwort:

Umstände:

Strömungstauchen

UW-Arbeit

Konditionsmangel

Angst, Unsicherheit

Gefahren:

Luftmangel für die Dekompression

Hyperventilation

Sauerstoffmangel

Schnelle N₂-Sättigung – Dekounfall innerhalb der Nullzeit möglich

4. Sie bekommen in 20 m Tiefe plötzlich ein Luft-Wassergemisch zum atmen. Worauf haben Sie jetzt beim Aufstieg zu achten?

Antwort:

Kontrollierter Aufstieg

Aufstiegsgeschwindigkeit

Druckentlastung (Lunge, Auftriebsrettungsmittel)

Drehung um Körperlängsachse, Kopf im Nacken

5. Sie müssen als Reservetaucher ihren Tauchkameraden, der in 10 m Tiefe plötzlich ohnmächtig wurde, retten. Worauf haben Sie beim Aufstieg mit ihm zu achten?

Antwort:

Transportgriff

Kontrollierter Aufstieg

Druckentlastung (Lunge, Auftriebsrettungsmittel)

Kopf im Nacken

6. Ursachen und Erkennen einer Panik?

Antwort:

Mangelnde Überprüfung von Tauchgerät und Ausrüstung

Schlechte körperliche Verfassung

Streß

Außerachtlassen von Tauchregeln

Unkenntnis von Leinenzeichen

Hastiges Atmen

Erkennen:

Ist an sich selbst nur im Anfangsstadium zu erkennen.

Beim Partner:

Unkontrollierte Bewegungen

Hastiges Atmen

Häufiges schauen zur Wasseroberfläche

7. Ein Lungenautomat liefert plötzlich ein Luft-Wassergemisch. Mögliche Ursachen?

Antwort:

Defektes Ausatemmembran

Schmutz in der Ausatemmembran

Defektes Lungenautomatengehäuse

Nicht richtiges Anschrauben an die Vollgesichtsmaske

8. Welche Farbe für Preßluftflaschen schreibt die deutsche Druckgas-

verordnung vor, und welche Daten müssen in das Metall eingeschlagen sein?

Antwort:

Es muß zumindest die Flaschenschulter grau sein.

Es müssen folgende Daten ins Metall eingeschlagen sein:

Prüfdruck

Fülldruck

Rauminhalt

Gasbeheizung

Gerätefabrikat und Nummer

Vergütung

Berechnungswert in kp/mm^2

Werkstoffkurzbeschreibung

Mindestwandstärke

Leergewicht (ohne Ventil)

Bauzulassungszeichen

Herstellungsjahr

Fabrikzeichen des Flaschenherstellers

Herstellungsnummer

TÜV

9. Was haben Sie beim Tauchen mit einem Trockentauchanzug zu beachten?

Antwort:

Erfordert Kenntnisse und Übung

Soll nach Möglichkeit eng sitzen – weniger Luft für die Abdichtung

Auftriebsrettungsmittel anlegen

Beim Abtauchen nach Möglichkeit den Kopf immer höher als die Beine

10. Nennen Sie Gründe, die beim Tauchen in kalten Gewässern und bei niedrigen Außentemperaturen zur Vereisung des Druckminderers bzw. des Lungenautomaten führen können!

Antwort:

Druckminderer nicht vereisungssicher

Wasser in den Preßluftflaschen

Atemluft zu wasserdampfhaltig

Höhe Strömungsgeschwindigkeiten

Niedrige Außentemperatur

Kaltes Wasser; unter 6°C

Einatmen plus Inflatorbenutzung

11. Die Austauschstufen sind auf 12 m, 9 m, 6 m und 3 m festgelegt. Auf welches Körterniveau des Tauchers beziehen sich diese Meterangaben?

Antwort:

Brusthöhe, da hier der Gasaustausch stattfindet.

12. Vor- und Nachteile von Trockentauchanzügen?

Antwort:

Vorteil:

Warm und trocken – längere Tauchzeit möglich

Nachteil:

Erfordert Übung

Zeitverlust beim Anziehen

Wenn Wasser eindringt, besteht die Möglichkeit des Absackens

13. Wie bestimmen Sie die erforderliche Bleimenge, damit Sie richtig austariert sind?

Antwort:

Kompl. Tauchrüstung anlegen und anschließend im Wasser soviel Blei anlegen, daß beim Einatmen Auftrieb und beim Ausatmen Abtrieb entsteht.

14. Vor- und Nachteile einer Vollgesichtsmaske?

Antwort:

Vorteil:

Völliger Gesichtsschutz vor Schmutzwasser und Kälte.

Nachteil:

Keine Möglichkeit des aktiven Druckausgleichs und keine bzw. schlechte Möglichkeit der Wechselatmung.

15. Erklären Sie Zweck und Arbeitsweise einer Reserveschaltung!

Antwort:

Dem Taucher mechanisch, durch Atemwiderstand, mitzuteilen, daß der Luftvorrat bis zur Reserverluftmenge verbraucht ist. In der Regel ist sie ein federbelastender Bolzen/Ventil, der bei Sinken des Flaschendruckes schließt. Durch ziehen der Reserve wird er mechanisch von seinem Sitz gehoben oder ein zweiter, bis zu diesem Zeitpunkt verschlossener, Weg geöffnet. Die Luft kann nun ungehindert durchströmen.

16. Beschreiben Sie die Funktion des Druckminderers und des Lungenautomaten!

Antwort:

Der Hochdruck (Flaschendruck) wird durch den Druckminderer auf einen Mitteldruck (Arbeitsdruck) gemindert. Der Lungenautomat, der seine Luft aus dem Druckminderer bezieht, mindert den Mitteldruck auf den jeweiligen Umgebungsdruck (Niederdruck)

Der Druckminderer und der Lungenautomat arbeiten lungenautomatisch. D. h. durch den Sog bei der Einatmung entsteht ein kurzfristiger Unterdruck, der die Ventile über ein Membran- oder Kolbenhebelmechanismus öffnet. Ist der Einatemvorgang beendet, so gehen die Schalthebel wieder in ihre Ausgangsstellung zurück, und die Luftzufuhr wird gestoppt.

Bei der Ausatmung wird die Ausatemluft über ein Membran- oder Entenschnabelventil an die Umgebung abgegeben.

17. Welche Regeln gelten für die Auf- und Abstiegs geschwindigkeiten?

Antwort:

Abstiegs geschwindigkeit:

So schnell wie es der Druckausgleich zuläßt. Keine physikalische Begrenzung.

Aufstiegs geschwindigkeit:

Die höchstzulässige Aufstiegs geschwindigkeit beträgt $0,3 \text{ m/s}$. Besser 10 m/Min .

18. Wie hoch ist die Schallgeschwindigkeit unter Wasser?

Antwort:

1450 m/s auf Grund der im Vergleich zur Luft 800mal größeren Dichte (332 m/s). Somit ist kein Richtungs- und Entfernungshören möglich.

19. Worauf haben Sie bei einem Notaufstieg zu achten?

Antwort:

Aufstiegsgeschwindigkeit
Druckentlastung (Lunge / Auftriebsrettungsmittel)
Drehung um Körperlängsachse, Kopf im Nacken

20. Sie führen eine Arbeit an einer Schiffsschraube durch. Kurz bevor Sie fertig sind, müssen Sie die Reserve ziehen. Wie verhalten Sie sich?

Antwort:

Ich tauche auf und lasse die Arbeit vom Reservetaucher beenden.

21. Welche Länge darf ein Schnorchel haben und warum ist diese begrenzt?

Antwort:

Der Schnorchel darf maximal 35 cm lang sein. Ansonsten besteht Gefahr der Pendelatmung und des Lungenunterdrucks.

22. Aus welchen Ausrüstungsgegenständen setzt sich die Ausrüstung eines Tauchers zusammen?

Antwort:

Die Ausrüstung eines Tauchers besteht aus:

- a) Prebluatmer für das Tauchen mit Atemanschluß
- b) Taucherschutzanzug mit Haube, Taucherschutzhelm, Sicherheitschwimmkragen
- c) Gewichtsgürtel
- d) Tauchermesser
- e) Schnitffesten Schuhen, an deren Stelle beim Schwimmtauchen Flossen mit Sohle treten können
- f) Führungs- und zugleich Sicherheitsleine, die auch – soweit vom Hersteller vorgesehen – zur Telefonverbindung verwendet werden kann

Weitere Ausrüstung des Tauchers kann sein:

- g) Spezial-Taucherschutzanzug z. B. zum Tauchen in kontaminierten Gewässern
- h) Kommunikationseinrichtungen wie Tauchertelefon und drahtlose Unterwassersprecheinrichtungen
- i) Tiefenmesser
- j) Unterwasserlampen
- k) Atemhilfe (Schnorchel)
- l) Taucheruhr
- m) Kompaß

23. Erklären Sie Vorteile und Gefahren eines Taucher-Rettungs-Kragens bzw. einer Rettungs- und Tarierweste!

Antwort:

Vorteil:

Leichter Notaufstieg
Ohnmachtsichere Lage über Wasser

Tarierung

Nachteil:

Gefahr bei zu schnellem Aufstieg
Handhabung erfordert Übung

24. In welchen Zeitabständen muß eine Prebluftflasche aus Stahl zum TÜV und welche Kennfarbe hat Prebluft?

Antwort:

Eine Prebluftflasche aus Stahl muß alle zwei Jahre zum TÜV. Die Kennfarbe von Prebluft ist Grau.

25. Wie hoch ist der maximale Fülldruck bei 200 bar und 300 bar Prebluftflaschen?

Antwort:

Der max. Fülldruck beträgt bei 200 bar Flaschen $200 \text{ bar} + 10\% = 220 \text{ bar}$.
Der max. Fülldruck beträgt bei 300 bar Flaschen $300 \text{ bar} + 10\% = 330 \text{ bar}$.

26. Warum verhindert ein Neoprene-Naßtauchanzug das Auskühlen des Körpers?

Antwort:

Keine unmittelbare Berührung mit dem Wasser vorhanden
Lufteinschlüsse im Neoprene isolieren

Es findet bei gutsitzenden Tauchanzügen kein Wasseraustausch statt.

27. Zeichnen Sie folgende Flaggen, Schilder oder Lichtzeichen:

- a) Taucherflagge
- b) Verbot der Durchfahrt
- c) Bitte Rücksicht! Wellenschlag vermeiden!

Antwort:

- a) *Abb. 62*
- b) *Abb. 107*
- c) *Abb. 108, Abb. 109*

28. Was soll die FwDV 8 sicherstellen, wie weit geht ihr Geltungsbereich?

Antwort:

Die Vorschrift soll eine einheitliche, sorgfältige Ausbildung der Feuerwehren im Tauchen sicherstellen und die Voraussetzungen für die erfolgreiche und unfallsichere Verwendung von Tauchgeräten im Einsatz schaffen.

Die Feuerwehr-Dienstvorschrift gilt nicht nur für die Ausbildung, sondern gleichermaßen für den Einsatz.

29. Welche Anforderungen muß a) ein Taucheranwärter erfüllen, damit er für die Ausbildung zum FW-Taucher zugelassen wird; b) ein Taucher erfüllen, daß er einsatzfähig bleibt?

Antwort:

- a) Ausbildung in Erster Hilfe
Ausbildung als Atemschutzgeräteträger
Deutsches Rettungsschwimmabzeichen in Silber nach den Bestimmungen der DLRG oder Wasserwacht
Tauchertauglich nach G 31
Mindestalter 18 Jahre
- b) Tauchertauglichkeit nach G 31
Jährlich mindestens 10 Tauchstunden unter einsatzmäßigen Bedingungen.

30. Was ist nach jedem Taucherunfall oder -zwischenfall anzufertigen bzw. einzuleiten?

Antwort:

Es ist ein Protokoll anzufertigen.

Sind gesundheitliche Störungen aufgetreten, ist die Tauchertauglichkeit erneut festzustellen.

31. Was beinhaltet der Verantwortungsbereich des FW-Tauchers?

Antwort:

- Gerätekontrolle vor dem Einsatz
- Führen des Taucherdienstbuches
- Meldung festgestellter Mängel.

32. Welche Farbe müssen der zylindrische Teil der Preßluftflasche, der Taucherschutzhelm und die Bleigewichte haben?

Antwort:

Die Farbe muß laut FwDV 8 4.3. gelb sein.

33. Was bedeuten folgende Leinenzugzeichen?

X = ein Leinenzug, – = kurze Pause

- X
- XX
- XXX
- XXXX
- XXXXX
- XX–X
- XX–XX
- XXX–XXX

Antwort:

Zeichen	Vom Taucher gegeben	Vom Signalmann gegeben
X	– Notsignal – Ich bin in Not!	– Notsignal – Sofort auftauchen!
XX XXX XXXX	Ich tauche auf!	Nach links! Nach rechts! Auf tauchen!
XXXXX	Alles in Ordnung!	Alles in Ordnung?
XX–X XX–XX XXX–XXX	Brauche Unterstützung!	Voraus! Zurück!

34. a) Aus wieviel Kräften setzt sich ein Tauchtrupp zusammen?

b) Welche Anforderungen wird an diese Kräfte gestellt?

Antwort:

- a) Truppführer
Mindestens drei Mann
- b) Alle müssen als Taucher ausgebildet sein.

35. Über was hat der Tauchtruppführer die Leitung und Verantwortung?

Antwort:

Der Tauchtruppführer hat die Leitung und Verantwortung für den Einsatz des Tauchtrupps, die Bootsbesatzung und weitere im Zusammenhang mit dem Taucheinsatz tätigwerdende Einsatzkräfte.

Weiterhin ist er für die Erkundung und die Beurteilung des Gewässers,

sowie für die Absicherung der Einsatzstelle gegen Störungen und Gefahren verantwortlich.

36. Was kann der Tauchtruppführer anordnen?

Antwort:

Der Tauchtruppführer kann anordnen, daß bei besonderen Einsatzvoraussetzungen oder -situationen auf das Tragen von Teilen der Ausrüstung verzichtet werden kann.

37. Zählen Sie mindestens 5 allgemeine (sonstige) Einsatzgrundsätze auf!

Antwort:

1. Einsätze ohne Gewähr der Verständigung zwischen Taucher und Signalmann sind unzulässig.
 2. Vor jedem Tauchgang ist eine Funktionsprüfung des Preßluftatmers durchzuführen.
 3. Der Taucher hat den Weisungen seines Signalmannes Folge zu leisten. Ein Signalmann darf jeweils nur einen Taucher leiten.
 4. Der Taucher hat sofort aufzutauchen, wenn er irgendeine Unpäßlichkeit verspürt oder Mängel am Gerät feststellt. Es muß mindestens ein Reservetaucher mit Signalmann bereitstehen. Bei unübersichtlichen und ausgedehnten Einsatzstellen soll für jeden eingesetzten Taucher ein Reserve-Taucher mit Signalmann bereitstehen.
 5. Der Tauchtrupp darf während des Taucheinsatzes nicht durch das Steuern oder Fortbewegen des Taucherfahrzeuges von seinen Aufgaben abgehalten werden.
 6. Das Tauchen bei den Feuerwehren ist nach Tiefe und Gesamttauchzeit so zu beschränken, daß keine verlängerten Austauschzeiten beachtet werden müssen.
 7. Die Abstiegs geschwindigkeit wird vom Taucher bestimmt. Die höchstzulässige Aufstiegs geschwindigkeit ist 0,3 m/s (Steigggeschwindigkeit der Luftblasen), besser 10 m/Min.
 8. Der Feuerwehrtaucher darf im Regelfalle bis 20 m Tiefe absteigen.
 9. Bei besonders schwierigen Gewässern ist die Hinzuziehung eines Gewässerkundigen geboten.
 10. Bei Taucheinsätzen in schiffbaren Gewässern soll nach Möglichkeit ein Schiffahrtskundiger zugegen sein.
38. Inwiefern ist das Tauchen hinsichtlich Tiefe und Gesamttauchzeit zu beschränken?
- Antwort:**
Das Tauchen ist nach Tiefe und Gesamttauchzeit so zu beschränken, daß keine verlängerten Austauschzeiten beachtet werden müssen.
39. Wie tief darf ein Feuerwehrtaucher im Regelfall absteigen?
- Antwort:**
Der Feuerwehrtaucher darf im Regelfall bis 20 m Tiefe absteigen.
40. Was ist vor jedem Tauchgang selbständig durchzuführen?
- Antwort:**
Vor jedem Tauchgang ist eine Funktionsprüfung des Preßluftatmers durchzuführen.
41. Die Austausch tabelle gilt für das Auftauchen nach mittelschwerer Arbeit. Wie ist zu verfahren, wenn schwere körperliche Arbeit geleistet wurde?

Antwort:

Ist schwere Körperliche Arbeit geleistet worden, sind die nächst höheren Austauschzeiten zu wählen.

42. Welche Bewandnis haben die kursiv gedruckten Zahlen in der Austauschta-
belle?

Antwort:

Die kursiv gedruckten Zahlen sollen beim Tauchen im Normalfall nie erreicht werden. Sie sind nur aufgeführt, weil im Notfall (z. B. Verschüttung bzw. Verklemmung des Tauchers) derartig übermäßig lange Tauchzeiten auftreten können.

43. Welche Bewandnis hat die durch die waagrechte Linie gekennzeichnete Grenzzeit in der Austauschta-
belle?

Antwort:

Beim Tauchen soll die durch die waagrechte Linie gekennzeichnete Grenzzeit nicht überschritten werden, falls nicht zwingende Gründe dafür vorliegen, die eine mögliche gesundheitliche Gefährdung des Tauchers rechtfertigen, z. B. Hilfeleistung bei Unfällen.

44. In der Erläuterung der FwDV 8 zur Austauschta-
belle stehen einmal die Werte
a) 12 Stunden
b) 10 m Tiefe
c) 75 Minuten

in einem bestimmten Zusammenhang. Was wird hier ausgesagt?

Antwort:

Innerhalb von 12 Stunden darf der Taucher in Tiefen von mehr als 10 m nur dann wieder tauchen, wenn die Grenzzeit beim ersten Tauchgang nicht erreicht wurde. Die Gesamtaufstiegszeit, die sich aus der Summe aller Tauchzeiten und der größten dabei erreichten Tiefe ergibt, darf 75 Minuten nicht überschreiten.

45. Die Tauchergruppe hatte am Vormittag einen Taucheinsatz auf 19 m Tiefe, 20 Minuten Tauchzeit einschließlich Aufstieg. Der Einsatz erforderte von jedem Taucher der Taucher-Gruppe die o. a. Tauchtiefe bzw. Tauchzeit. Am Nachmittag muß die Taucher-Gruppe erneut ausrücken. Es soll ein PKW geborgen werden, der auf ca. 13 m Tiefe liegt. Wie lange kann jeder Taucher an der Bergung des PKW's arbeiten, um innerhalb der Nullzeit zu bleiben?

Antwort:

Erstes Tauchen:

19 m Tiefe, 20 Min. Tauchzeit

Austauschta-
belle 18–21 m, Tauchzeit bis 40 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg 2 Min.

Zweites Tauchen:

Austauschta-
belle 12–15 m, Tauchzeit bis 85 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg 1 Min.

Rechnung:

Bis 85 Min. Tauchzeit bei 12–15 m

– 20 Min. Tauchzeit erstes Tauchen

65 Min. Tauchzeit für zweites Tauchen

Antwort:

Jeder Taucher hat 65 Min. Tauchzeit für das zweite Tauchen, so daß er innerhalb der Nullzeit bleibt.

46. Zur Bergung eines Beweisstückes für die Kripo wurde am späten Nachmit-
tag 15 Minuten, einschließlich Aufstiegszeit, auf 14 m Tiefe getaucht. Am
Abend soll ein Ertrunkener gesucht werden. Der See ist an der von Zeugen
benannten Stelle ca. 17 m tief. Wie lange kann sich der am Vormittag
eingesetzte Taucher an der Suche beteiligen, so daß die Nullzeit nicht
überschritten wird?

Antwort:

Erstes Tauchen:

14 m Tiefe, 15 Min. Tauchzeit

Austauschta-
belle 12–15 m, Tauchzeit bis 85 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg 1 Min.

Zweites Tauchen:

17 m Tiefe, X Min. Tauchzeit

Austauschta-
belle 15–18 m, Tauchzeit bis 60 Min.

Gesamtzeit für den Aufstieg 1 Min.

Rechnung:

Bis 60 Min. Tauchzeit bei 15–18 m

– 15 Min. Tauchzeit erstes Tauchen

45 Min. Tauchzeit für zweites Tauchen

Antwort:

Der Taucher kann sich 45 Minuten an der Suche beteiligen, ohne daß er die Nullzeit überschreitet.

47. Die Taucher-Gruppe führt an einem ihr neu zugewiesenen See ein Übungs-
tauchen durch. Die geschätzte Tiefe des Sees ist ca. 30 m. Was hat der
Leinenmann zu beachten und wie hoch wäre die maximale Tauchzeit für den
Taucher?

Antwort:

Die maximale Tauchtiefe darf 20 m laut FwDV 8 nicht überschritten werden.
Gemäß Austauschta-
belle 18–21 m, Tauchzeit bis 40 Minuten.

Gesamtzeit für den Aufstieg 2 Minuten.

48. Eine Hafengebarkasse ist mit einem größeren Schiff kollidiert. Es kann davon
ausgegangen werden, daß, bedingt durch Luftblasen in der Barkasse, noch
Menschen am Leben sind. Die Barkasse liegt auf ca. 13 m Tiefe. Ein FW-
Taucher beteiligt sich an der Suche von noch überlebenden Personen im
gesunkenen Schiff. Bei der Suche wird er eingeklemmt und kann erst nach
190 Min. befreit werden. Welche Haltezeiten muß er bis zum Erreichen der
Wasseroberfläche einhalten, wenn keine Druckkammer zur Verfügung
steht?

Antwort:

Austauschta-
belle 12–15 m, Tauchzeit 170–190 Minuten

Haltezeiten:

4 Minuten in 6 m Tiefe

30 Minuten in 3 m Tiefe

Gesamtzeit für den Aufstieg 35 Minuten.

49. Ein PKW ist von einer See-Fähre ins Wasser gerollt. Der See ist an dieser

Stelle 17 m tief. Der erste Taucher hat den PKW nach 75 Minuten Tauchzeit gefunden. Kann er sofort auftauchen oder müssen während des Aufstieges Haltezeiten eingehalten werden? Wenn ja, welche und wie lange ist die Gesamtzeit für den Aufstieg?

Antwort:

Austauchtabelle 15–18 m, Tauchzeit 70–80 Minuten

Haltezeiten:

4 Minuten in 6 m Tiefe

5 Minuten in 3 m Tiefe

Gesamtzeit für den Aufstieg 10 Minuten.

50. Ein Taucher beteiligt sich an der Rettung von Menschenleben aus 20 m Tiefe. Durch eine Unachtsamkeit wird er verschüttet. Nach 70 Minuten kann er befreit werden. Kann er sofort auftauchen oder müssen Haltezeiten während des Aufstiegs eingehalten werden, da keine Druckkammer zur Verfügung steht. Wenn ja, welche und wie lange ist die Gesamtzeit für den Aufstieg?

Antwort:

Austauchtabelle 18–21 m, Tauchzeit 70–75 Minuten

Haltezeiten:

4 Minuten in 6 m Tiefe

15 Minuten in 3 m Tiefe

Gesamtzeit für den Aufstieg 20 Minuten.

2. Physik

Wenn nichts anderes angegeben ist, sind bei der Berechnung des Luftbedarfs 400 NL Reserveluft zu berücksichtigen. Ab- und Aufstieg sind zu vernachlässigen, die angegebene Tauchzeit ist als Bodenzeit zu betrachten.

1. Was sagt das archimedische Prinzip aus?

Antwort:

Jeder ganz oder teilweise in eine Flüssigkeit getauchte Körper verliert scheinbar so viel an Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.

2. Nennen Sie die Dichte (Artgewicht) von Luft und wie diese entsteht!

Antwort:

1,29 g/l = 1,3 g/l auf Grund der Erdanziehungskraft

3. Ein Taucher ist in 30 m austariert. Nach welcher Zeit hat sein Auftrieb um 1 kg zugenommen? Atemminutenvolumen = 30 NL.

Antwort:

4 bar × 30 NL = 120 NL 1 l Luft wiegt ca. 1,3 g

1000 : 1,3 = 769,23

769,23 dm³ : 120 dm³/Min. = 6,41 Min.

= 7 Minuten

4. Ein 2 × 7 l-PTG wiegt, auf 200 bar gefüllt, 20 kg. Welches Gewicht hat dieses Gerät in leergeatmeten Zustand?

Antwort:

Dichte von Luft 1,29 \triangleq 1,3 g/l

(2 × 7 l) × 200 bar = 2800 NL

– 14 NL

2786 NL : 1,3 kg/dm³ = 2,14 kg

20 kg – 2,14 kg = 17,86

= 18 kg

5. Sie sind mit 5 kg Blei an der Wasseroberfläche austariert. Welchen Abtrieb haben Sie in 10 m Tiefe zu erwarten?

Antwort:

25 N Abtrieb, da der Neopreneanzug nahezu linear an Volumen während der Druckzunahme in den ersten 10 m verliert.

6. Ein wasserdichtes Gehäuse aus Aluminium (spez. Gewicht 2,6) wiegt über Wasser 3 kg und verdrängt 2,5 l Wasser. Zu errechnen sind a) der Abtrieb in geschlossenem Zustand b) der Abtrieb bei mit Wasser gefülltem Gehäuse.

Antwort:

Geg.: Dichte von Aluminium = 2,6 kg/dm³

Masse Aluminium = 3,0 kg

Auftrieb = 2,5 dm³ \triangleq 2,5 kg

Formel: siehe Frage 8

Rechnung: a) Abtrieb = Masse_K – Auftrieb

= 3,0 kg – 2,5 kg

= 0,5 kg Abtrieb im geschlossenen Zustand

b) Auftrieb = $\frac{\text{Masse}_K}{\text{Dichte}_K} \times \text{Dichte Flüssigkeit}$

= $\frac{3,0 \text{ kg}}{2,6 \text{ kg/dm}^3} \times 1 \text{ kg/dm}^3$

= 1,15 kg Auftriebsvolumen

Abtrieb = Masse_K – Auftrieb

= 3,0 kg – 1,15 kg

= 1,85 kg Abtrieb bei mit Wasser gefülltem Gehäuse

7. Eine Balkenwaage ist in Luft ausbalanciert. Auf der linken Waagschale liegt ein Bleiwürfel, auf der rechten Waagschale ein Würfel aus Aluminium. Welche Aussage ist richtig, wenn die Balkenwaage in Wasser gestellt wird?

a) Auch unter Wasser herrscht Gleichgewicht.

b) Die Seite mit dem Bleiwürfel sinkt, da Blei ein größeres Artgewicht als Aluminium hat.

c) Die Bleiseite sinkt, da auf dieser Seite der hydrostatische Druck größer ist.

d) Der Aluminiumwürfel senkt sich, da wegen des größeren Volumens ein größerer Auflagedruck herrscht.

e) Die Waagschale mit Aluminium steigt, da der Auftrieb dieser Seite größer ist als der der anderen.

f) Alle Aussagen sind nicht schlüssig, da weder das Gewicht des Bleiwürfels noch das des Aluminiumwürfels angegeben sind.

Antwort:

Die Aussage e ist richtig.

8. Wieviel Luft sind erforderlich, um ein 50 kg schweres Stahlgewicht aus 30 m Tiefe mittels Hebeballon zu bergen?

Antwort:

Geg.: Dichte von Stahl = 8 kg/dm³
 Masse Stahlgewicht = 50 kg
 Wassertiefe = 30 m $\hat{=}$ 4 bar Umgebungsdruck
 Formel: Auftrieb = Volumen \times Dichte_{Flüssigkeit}
 Auftrieb = $\frac{\text{Masse}_{\text{Körper}}}{\text{Dichte}_{\text{Körper}}} \times \text{Dichte}_{\text{Flüssigkeit}}$
 Abtrieb = Masse_{Körper} - Auftrieb
 Bergevolumen_{Luft} = 1 kg $\hat{=}$ 1 dm³
 Bergeleistung = Bergevolumen_{Luft} \times Umgebungsdruck
 benötigte Luft = Bergeleistung / Luftdruck_{Wasseroberfläche}

Rechnung: Auftrieb = $\frac{50 \text{ kg}}{8 \text{ kg/dm}^3} \times 1 \text{ kg/dm}^3$
 = 6,25 kg
 Abtrieb = 50 kg - 6,25 kg = 43,75 kg
 Bergevolumen_{Luft} = 43,75 kg $\hat{=}$ 43,75 dm³
 Bergeleistung = 43,75 dm³ \times 4 bar
 = 175 dm³ \times bar
 = 17 500 Nm
 benötigte Luft = $\frac{175 \text{ dm}^3 \times \text{bar}}{1 \text{ bar}}$
 = 175 dm³

9. Ein Bleianker wird durch 2000 l Luft mittels Hebeballon in 40 m Tiefe gerade in Schwebelage gebracht. Was wiegt er über Wasser?

Antwort:

Geg.: Dichte von Blei = 11,4 kg/dm³
 benötigte Luft = 2000 l $\hat{=}$ 2000 dm³
 Wassertiefe = 40 m $\hat{=}$ 5 bar
 Formel: siehe Frage 8
 Bergeleistung = Schwebelageleistung
 Rechnung: Bergeleistung = benötigte Luft \times Luftdruck_{Wasseroberfläche}
 = 2000 dm³ \times 1 bar
 Bergevolumen = $\frac{\text{Bergeleistung}}{\text{Umgebungsdruck}_{\text{Wassertiefe}}}$
 = $\frac{2000 \text{ dm}^3 \times 1 \text{ bar}}{5 \text{ bar}}$
 = 400 dm³
 $\hat{=}$ 400 kg
 Auftrieb = $\frac{\text{Masse}_{\text{Körper}}}{\text{Dichte}_{\text{Körper}}} \times \text{Dichte}_{\text{Flüssigkeit}}$
 = $\frac{\text{Masse}_{\text{Körper}}}{11,4 \text{ kg/dm}^3} \times 1 \text{ kg/dm}^3$
 Masse_{Körper} = Abtrieb + Auftrieb
 = 400 kg + $\frac{\text{Masse}_{\text{Körper}}}{11,4 \text{ kg/dm}^3} \times 1 \text{ kg/dm}^3$
 11,4 \times Masse_{Körper} = 400 kg \times 11,4 + 1 Masse_{Körper}

$$11,4 \text{ Masse}_{\text{Körper}} - \text{Masse}_{\text{Körper}} = 4560 \text{ kg}$$

$$10,4 \text{ Masse}_{\text{Körper}} = 4560 \text{ kg}$$

$$\text{Masse}_{\text{Körper}} = 438,46 \text{ kg Überwassergewicht}$$

10. Ein 250 kg (Überwassergewicht) schwerer Stahlanker soll aus 20 m Tiefe mittels Hebeballon geborgen werden. Die Bergung soll durch die Taucher A und B derart erfolgen, daß jeder von ihnen die gleiche Menge Luft aus seinem Gerät gibt, bis der Ballon gerade schwebt. Zur Luftberechnung wird ein Tauchgang 50 Minuten auf 20 m Tiefe, Atemminutenvolumen 30 NL, angesetzt. Wieviel Luft sind für jeden Taucher erforderlich?

Antwort:

Geg.: Dichte von Stahl = 8 kg/dm³
 Stahl-Überwassergewicht = 250 kg
 Wassertiefe = 20 m $\hat{=}$ 3 bar Umgebungsdruck
 Formel: siehe Frage 8

Rechnung: Auftrieb = $\frac{250 \text{ kg}}{8 \text{ kg/dm}^3} \times 1 \text{ kg/dm}^3$
 = 31,25 kg

Abtrieb = 250 kg - 31,25 kg
 = 218,75 kg

Bergevolumen_{Luft} = 218,75 kg $\hat{=}$ 218,5 dm³
 = 218,75 dm³ \times 3 bar
 = 656,25 dm³ \times bar
 = 65.625 Nm

benötigte Luft = 656,25 Liter

benötigte Luft pro Taucher = 656,25 Liter : 2
 = 328,125 Liter
 \approx 330 Liter zur Bergung

$$3 \text{ bar} \times 50 \text{ Min.} \times 30 \text{ NL} = 4500 \text{ NL}$$

$$3 \text{ bar} \times 1 \text{ Min.} \times 30 \text{ NL} = 90 \text{ NL}$$

$$1,3 \text{ bar} \times 4 \text{ Min.} \times 30 \text{ NL} = 156 \text{ NL}$$

$$+ \text{Reserveluft} = 400 \text{ NL}$$

$$+ \text{Bergeluft} = 330 \text{ NL}$$

5476 NL Luft pro Taucher sind nötig

11. Was besagt das Boyle-Mariottesche Gesetz?

Antwort:

Bei gleichbleibender Temperatur verhält sich der Druck einer abgeschlossenen Gasmenge umgekehrt proportional zu seinem Volumen:

Formel:

$$p \times V = k \quad \text{oder} \quad p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 \quad \text{oder} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

12. Welcher Umgebungsdruck herrscht a) in Meereshöhe b) 10 m Tiefe c) 30 m Tiefe?

Antwort:

a) 1 bar

b) 2 bar

c) 4 bar

13. In welcher Tiefe hat sich der Druck a) verdoppelt b) verdreifacht c) verfünffacht?

Antwort:

- a) 10 m Tiefe
- b) 20 m Tiefe
- c) 40 m Tiefe

14. In welcher Tiefe hat sich der Druck nach dem Abtauchen von der Wasseroberfläche dreimal verdoppelt?

Antwort:

- Erstes Mal: 10 m Tiefe = 2 bar
- Zweites Mal: 30 m Tiefe = 4 bar
- Drittes Mal: 70 m Tiefe = 8 bar

15. Welchen drei Druckphasen unterliegt ein Taucher bei einem Tauchgang?

Antwort:

- a) Kompressionsphase
- b) Isopressionsphase
- c) Dekompressionsphase

16. 4 l-PTG, Fülldruck 200 bar, Atemminutenvolumen 20 NL. Wie lange kann man höchstens in 5 m Tiefe aus diesem Gerät atmen?

Antwort:

$$4 \text{ l} \times 200 \text{ bar} = 800 \text{ NL} : (1,5 \text{ bar} \times 20 \text{ NL}) = 26,66 = \underline{26 \text{ Minuten}}$$

17. 10 l-PTG, Fülldruck 180 bar, voraussichtliche Dauer eines Tauchganges auf 20 m Tiefe bei 25 NL Atemminutenvolumen?

Antwort:

$$10 \text{ l} \times 180 \text{ bar} = 1800 \text{ NL} - 400 \text{ NL (Reserve)} = 1400 \text{ NL}$$
$$1400 \text{ NL} : (3 \text{ bar} \times 25 \text{ NL}) = 18,6 = \underline{18 \text{ Minuten Tauchzeit}}$$

18. Doppel 7 l-PTG, 200 bar Fülldruck, 20 Minuten Arbeit in 10 m Tiefe. Wie lange kann sich der Taucher nach Verrichtung der Arbeit in 3 m Tiefe, mit geöffneter Reserve, aufhalten? Luftverbrauch in 10 m Tiefe 60 NL und in 3 m Tiefe 30 NL.

Antwort:

$$(2 \times 7 \text{ l}) \times 200 \text{ bar} = 1400 \text{ NL}$$
$$60 \text{ NL} \times 20 \text{ Min.} = -1200 \text{ NL}$$

$$\frac{1400 \text{ NL}}{200 \text{ NL}} : 30 \text{ NL} = 6,66 = \underline{6 \text{ Min. in 3 m Tiefe}}$$

19. Eine gefüllte Tariweste hat ein Volumen von 15,6 l. Welches Volumen hat sie in 42 m Tiefe?

Antwort:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \frac{1}{5,2} = \frac{V_2}{15,6} \quad V_2 = \frac{1 \times 15,6}{5,2} = \underline{3 \text{ l}}$$

20. Ein 12 l-PTG soll mit 840 l Luft gefüllt werden. Fülldruck?

Antwort:

$$p \times V = k \quad p = k : V \quad P = 840 : 12 = \underline{70 \text{ bar}}$$

21. Rettungs- und Tariweste (V = 15 l) mit Preßluftflasche (0,4 l, 180 bar). Jemand behauptet, durch volle Öffnung der Flasche könnte die Weste in jeder Tiefe prall gefüllt werden. Kann diese Behauptung widerlegt werden?

Antwort:

$$0,4 \text{ l} \times 180 \text{ bar} = 72 \text{ NL} : 15 \text{ l} = 4,8 \text{ bar}$$

Bei 38 m Tiefe ist sie noch gefüllt, tiefer nicht mehr.

22. Sie befinden sich mit einem 14 l-PTG (200 bar) in 20 m Tiefe und haben ein Atemminutenvolumen von 22 NL. Wie lange können Sie bis zum Ziehen der Reserve in 20 m Tiefe verweilen?

Antwort:

$$3 \text{ bar} \times 22 \text{ l} \quad \text{AMV} = 66 \text{ l AMV}$$

$$14 \text{ l} \times 200 \text{ bar} = 2800 \text{ NL} - 400 \text{ NL (Reserve)} = 2400 \text{ NL}$$

$$2400 \text{ NL} : 66 \text{ NL AMV} = 36,36 = \underline{36 \text{ Minuten Verweildauer in 20 m Tiefe}}$$

23. Tauchgang auf 15 m Tauchtiefe und 45 Minuten Verweildauer, Atemminutenvolumen 30 NL. Luftbedarf?

Antwort:

$$2,5 \text{ bar} \times 45 \text{ Minuten} \times 30 \text{ NL AMV} = 3375 \text{ NL}$$

$$+ 400 \text{ NL Reserve}$$

$$\underline{3775 \text{ NL Luftbedarf}}$$

24. Einem 20 l-PTG (200 bar) werden zur Füllung eines Schlauchbootes 0,75 m³ Luft entnommen. Kann anschließend mit dem Gerät 30 Minuten auf 10 m Tiefe getaucht werden? Atemminutenvolumen = 25 NL.

Antwort:

$$20 \text{ l} \times 200 \text{ bar} = 4000 \text{ NL}$$

$$- 750 \text{ NL Boot}$$

$$3250 \text{ NL}$$

$$- 400 \text{ NL Reserve}$$

$$2850 \text{ NL} - (2 \text{ bar} \times 25 \text{ NL} \times 30 \text{ Min.}) = \underline{1350 \text{ NL Rest}}$$

25. Bei Bergungsarbeiten hebt ein vollständig mit Luft gefülltes 200 l Faß einen Gegenstand aus 35 m Tiefe. Wieviel Luft ist aus dem Faß geströmt, wenn es die Oberfläche erreicht hat?

Antwort:

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

$$V_2 = \frac{p_1 \times V_1}{p_2}$$

$$V_2 = \frac{4,5 \text{ bar} \times 200 \text{ NL}}{1 \text{ bar}} = 900 \text{ NL}$$

$$- 200 \text{ NL}$$

$$\underline{700 \text{ NL Luft sind aus dem Faß geströmt}}$$

26. Sie befinden sich in 38 m Tiefe. Ihre 18 l-Rettungs- und Tariweste ist zu einem Drittel mit Luft gefüllt. Sie tauchen auf in die erste Haltezeit auf 6 m Tiefe. Was würde geschehen, wenn Sie theoretisch keine Luft aus Ihrer Weste ablassen (Rechnung und Folgerung)?

Antwort:

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

$$V_2 = \frac{p_1 \times V_1}{p_2}$$

$$V_2 = \frac{4,8 \text{ bar} \times 6 \text{ l}}{1,6 \text{ bar}} = \underline{18 \text{ l}}$$

Folgerung: Die Weste wäre prall gefüllt und der Taucher schießt durch. Ein Barotrauma der Lunge wäre die Folge.

27. Eine Rettungs- und Tariweste hat ein Fassungsvermögen von 15 l. Sie ist mit einer Preßluftflasche (0,4 l, 150 bar) versehen. Strömt bei voller Öffnung der Flasche in 30 m Tiefe Luft durch das Sicherheitsventil? Wenn ja, wieviel?

Antwort:

$$0,4 \text{ l} \times 150 \text{ bar} = 60 \text{ NL} : (4 \text{ bar} \times 15 \text{ l}) = 0,0$$

Die Weste wäre prall gefüllt und es strömt keine Luft ab.

28. Ein Ballon erreicht mit 180 l Volumen die Wasseroberfläche. Welches Volumen hatte er in 70 m Tiefe? Hat es auf das Volumen in 70 m Tiefe einen Einfluß, daß die Temperatur mit zunehmender Wassertiefe fällt? Warum?

Antwort:

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

$$V_2 = \frac{p_1 \times V_1}{p_2}$$

$$V_2 = \frac{1 \text{ bar} \times 180 \text{ l}}{8 \text{ bar}} = 22,5 \text{ l in 70 m Tiefe}$$

Ja, gemäß dem Gay-Lussacschen Gesetz dehnt sich die Luft in einem abgeschlossenen Behälter bei 1° C Erwärmung um $\frac{1}{273}$ aus. Hier umgekehrt, die 22,5 l Luft sind in 70 m Tiefe kühler als entspannt an der Wasseroberfläche. Somit beträgt das Volumen in 70 m Tiefe nicht exakt 22,5 l, sondern weniger.

29. Sie befinden sich mit einem 2 × 7 l-PTG in 35 m Tiefe. Manometerstand 150 bar. Zehn Minuten später lesen Sie in der gleichen Tiefe nur noch 80 bar ab. Atemminutenvolumen?

Antwort:

$$150 \text{ bar} - 80 \text{ bar} = 70 \text{ bar}$$

$$70 \text{ bar} \times 14 \text{ l} = 980 \text{ NL}$$

$$980 \text{ NL} : 10 \text{ Min.} = 98 \text{ NL}$$

$$98 \text{ NL} : 4,5 \text{ bar} = 21,77 = 22 \text{ NL Atemminutenvolumen}$$

30. Jemand will sein durchschnittliches Atemminutenvolumen ermitteln und taucht zu diesem Zweck mit mehreren Geräten in unterschiedlichen Tiefen über verschiedene Zeiten.

Gerät	Zeit in Min.	Druckabfall in bar	Tiefe in Meter
2 × 7 l	10	80	30
2 × 12 l	5	30	50
7 l	16	160	15
7 l	6	90	32

Das durchschnittliche Atemvolumen ist zu errechnen!

Antwort:

a) $80 \text{ bar} \times 14 \text{ l} = 1120 \text{ NL}$

$$1120 \text{ NL} : 10 \text{ Min.} = 112 \text{ NL}$$

$$112 \text{ NL} : 4 \text{ bar} = 28 \text{ NL Atemminutenvolumen}$$

b) $30 \text{ bar} \times (2 \times 12 \text{ l}) = 720 \text{ NL}$

$$720 \text{ NL} : 5 \text{ Min.} = 144 \text{ NL}$$

$$144 \text{ NL} : 6 \text{ bar} = 24 \text{ NL Atemminutenvolumen}$$

c) $160 \text{ bar} \times 7 \text{ l} = 1120 \text{ NL}$

$$1120 \text{ NL} : 16 \text{ Min.} = 70 \text{ NL}$$

$$70 \text{ NL} : 2,5 \text{ bar} = 28 \text{ NL Atemminutenvolumen}$$

d) $90 \text{ bar} \times 7 \text{ l} = 630 \text{ NL}$

$$630 \text{ NL} : 6 \text{ Min.} = 105 \text{ NL}$$

$$105 \text{ NL} : 4,2 \text{ bar} = 25 \text{ NL Atemminutenvolumen}$$

$$28 + 24 + 28 + 25 = 105 \text{ NL} : 4 = 26,25 = 27 \text{ NL Atemminutenvolumen im Durchschnitt}$$

31. Was besagt das Daltonsche Gesetz?

Antwort:

Der Gesamtdruck eines Gasgemisches setzt sich zusammen aus den Teildrücken der einzelnen Gase im Gemisch.

$$\text{Formel: } p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$$

32. Ein 10 l-PTG, Fülldruck 190 bar. Wie groß ist der Partialdruck von Stickstoff und Sauerstoff?

Antwort:

$$0,78 \times 190 = 148,2 \text{ bar Stickstoff}$$

$$0,21 \times 190 = 39,9 \text{ bar Sauerstoff}$$

33. Ein 10 l-PTG, Fülldruck 190 bar. Wieviel NL Stickstoff und Sauerstoff befinden sich in diesem Gerät?

Antwort:

$$0,78 \times 190 = 148,2 \text{ bar} \times 10 \text{ l} = 1482 \text{ NL Stickstoff}$$

$$0,21 \times 190 = 39,9 \text{ bar} \times 10 \text{ l} = 399 \text{ NL Sauerstoff}$$

34. Unter welchem Teildruck atmet der Preblufttaucher den Sauerstoff in 50 m Tiefe?

Antwort:

$$0,21 \text{ pO}_2 \times 6 \text{ bar} = 1,26 \text{ pO}_2 \text{ in 50 m Tiefe}$$

35. Wie hoch ist der Sauerstoffpartialdruck in einem 10 l-PTG bei 40 bar Fülldruck?

Antwort:

$$0,21 \text{ pO}_2 \times 40 \text{ bar} = 8,4 \text{ pO}_2$$

36. 10 l-PTG, Fülldruck 150 bar. Unter welchem Teildruck atmet man den Stickstoff in 30 m Tiefe?

Antwort:

$$0,78 \text{ pN}_2 \times 4 \text{ bar} = 3,12 \text{ pN}_2 \text{ in 30m Tiefe}$$

37. Wie groß ist der Prozentanteil von Sauerstoff und Stickstoff, sowie deren Partialdruck in 75 m Tiefe?

Antwort:

a) $0,21\% \text{ O}_2$

$$0,78\% \text{ N}_2$$

b) $0,21 \text{ pO}_2 \times 8,5 \text{ bar} = 1,78 \text{ bar pO}_2 \text{ in 75 m Tiefe}$

$$0,78 \text{ pN}_2 \times 8,5 \text{ bar} = 6,63 \text{ bar pN}_2 \text{ in 75 m Tiefe}$$

38. Die verschiedenen Partialdrücke der einzelnen Gase (Atemluft) erhöhen sich unter Druck proportional, jedoch bleibt der Prozentanteil stets gleich. Von welchem Gesetz wird dieser Satz abgeleitet?

Antwort:

Daltonschen Gesetz

39. Vervollständigen Sie folgende Tabelle:

°C	K	°C	K
100		- 7	
50		- 10	
20		- 60	
5		-100	
0		-273	

Antwort:

°C	K	°C	K
100	373	- 7	266
50	323	- 10	263
20	293	- 60	213
5	278	-100	173
0	273	-273	0

40. Was besagt die kinetische Gastheorie?

Antwort:

Der Druck in einem Gasbehälter resultiert aus dem Aufprall der regellos durcheinanderfliegenden Gasmoleküle auf die Behälterwände.

41. Ein PTG wird bei 47° C auf 220 bar gefüllt. Welcher Druck steht nach Abkühlung auf 17° C zur Verfügung?

Antwort:

$$p_2 = \frac{p_1 \times T_2}{T_1}$$

$$p_2 = \frac{220 \text{ bar} \times (17 + 273)}{(47 + 273)} = \frac{63800}{320} = 199,37$$

$p_2 = 199$ bar stehen zur Verfügung

42. Erklären Sie das Henry'sche Gesetz!

Antwort:

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

Es besagt, daß die Moleküle eines Gases ihrem Teildruck entsprechend so lange in eine Flüssigkeit eindringen und in physikalische Lösung übergehen, bis ein Gleichgewichtszustand, d. h. bis der höchstmögliche Sättigungsgrad erreicht ist. Ausschlaggebend sind die Faktoren:

Druck

Dauer der Druckeinwirkung

Temperatur

Löslichkeit des Gases

Art der Flüssigkeit

Oberflächengröße der Flüssigkeit.

43. Wann ist eine Flüssigkeit mit einem Gas gesättigt?

Antwort:

Wenn der Partialdruck des betreffenden Gases mit dem Partialdruck des Gases über dem Flüssigkeitsspiegel im Gleichgewicht steht.

44. Wie vollzieht sich der Gasaustausch in den Alveolen und welches Gesetz spielt hierbei eine Rolle?

Antwort:

Der Partialdruck von Sauerstoff ist in der Einatemluft (0,21 bar) größer als der der Ausatemluft (0,17 bar). O_2 diffundiert durch die Alveolen zu dem venösen, sauerstoffarmen Blut. Das venöse, mit CO_2 stark angereicherte Blut gibt auf Grund des Druckgefälles CO_2 über die Alveolen, an die Umwelt ab.

Beim Gasaustausch in den Alveolen spielt das Gesetz von Dalton eine Rolle.

45. Ein 90 kg schwerer Mensch hält in Blut und Körpergewebe ca 1 l Stickstoff

bei atmosphärischem Normaldruck gelöst. Wieviel würden sich beim Tauchen mit Preßluft in 30 m Tiefe bis zum Sättigungszustand lösen?

Antwort:

1 bar = 1 l

4 bar = X l

$$X = \frac{1 \text{ l} \times 4 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} = 4 \text{ l Stickstoff im Blut und Gewebe bei 30 m Tiefe}$$

46. Schallgeschwindigkeit in der Luft und im Wasser? Bedeutung für den Taucher?

Antwort:

332 m/s an Land

1450 m/s unter Wasser, daher kein Richtungs- und Entfernungshören möglich

47. Die scheinbare Änderung der Entfernungs- und Größenverhältnisse beim Sehen unter Wasser ist zu erklären!

Antwort:

Brechindex: Luft 1,0, Wasser 1,33

Auf Grund dessen erscheinen Gegenstände unter Wasser $\frac{1}{4}$ näher und $\frac{1}{3}$ größer.

Wirkliche Entfernung 4 m: 4 m : 1,33 = 3 m scheinbare Entfernung

Wirkliche Größe 3 m: 3 m \times 1,33 = 4 m scheinbare Größe

48. In welcher Reihenfolge und weshalb verschwinden beim Sehen unter Wasser die Farben Rot, Blau, Gelb und Orange?

Antwort:

Reihenfolge: Rot, Orange, Gelb, Blau

Jede Spektralfarbe hat eine bestimmte Wellenlänge. Rot hat lange Wellen.

Auf Grund dessen wird die Farbe Rot vom Wasser als erste absorbiert und vornehmlich in Wärme umgewandelt.

49. Auf welchen maximalen Fülldruck kann man mit den folgenden drei Vorratsflaschen eine leere 7-l-Flasche bringen?

Zur Verfügung stehen:

40-l-Flasche 100 bar

12-l-Flasche 200 bar

10-l-Flasche 80 bar

Antwort:

$$\frac{(10 \text{ l} \times 80 \text{ bar}) + (7 \text{ l} \times 1 \text{ bar})}{17 \text{ l}} = 47,47 = 47 \text{ bar}$$

$$\frac{(40 \text{ l} \times 100 \text{ bar}) + (7 \text{ l} \times 47 \text{ bar})}{47 \text{ l}} = 92,1 = 92 \text{ bar}$$

$$\frac{(12 \text{ l} \times 200 \text{ bar}) + (7 \text{ l} \times 92 \text{ bar})}{19 \text{ l}} = 160,21 = 160 \text{ bar Fülldruck}$$

50. Es stehen vier Preßluftflaschen zur Verfügung:

10 l 80 bar

10 l 120 bar

12 l 150 bar

12 l 200 bar

Welcher gemeinsame Fülldruck herrscht nach Verbinden aller Flaschen und Überströmenlassen?

Antwort:

$$\frac{(10 \text{ l} \times 80 \text{ bar}) + (10 \text{ l} \times 120 \text{ bar}) + (12 \text{ l} \times 150 \text{ bar}) + (12 \text{ l} \times 200 \text{ bar})}{44 \text{ l}} =$$

$$= 140,9 \text{ bar gemeinsamer Fülldruck}$$

3. Medizin

1. Erklären Sie die Begriffe Atemminutenvolumen, Vitalkapazität, Residualvolumen und Totalkapazität!

Antwort:

Atemminutenvolumen:

Die veratmete Luftmenge pro Minute.

Vitalkapazität:

Die veratmete Luftmenge, die nach maximaler Einatmung meßbar ausgeatmet wird

Residualvolumen:

Nicht ausatembare Restluftmenge

Totalkapazität:

Vitalkapazität plus Residualvolumen

2. Welche drei Phasen unterscheidet man in der Physiologie der Atmung?

Antwort:

a) Einatemvorgang:

Senken des Zwerchfells – Brustkorbvergrößerung – Unterdruck – Atemluft strömt ein

b) Gasaustausch:

Auf Grund der verschiedenen Partialdrücke

c) Ausatmung:

Heben des Zwerchfells – Brustkorbverkleinerung – Überdruck – Atemluft strömt ab/aus

3. Warum nimmt die Vitalkapazität mit zunehmendem Lebensalter ab?

Antwort:

Die Elastizität des Brustkorbes nimmt mit zunehmendem Alter ab und somit auch die Vitalkapazität.

4. Wieviel % CO₂ enthält die Ausatemluft beim Tauchen mit PTG in 40 m Tiefe?

Antwort:

Die Ausatemluft enthält 4,04% CO₂.

5. Ist eine Sauerstoffspeicherung im Blut oder in der Lunge möglich?

Antwort:

Nein, da Hämoglobin bei normaler Atmung zu 97% seiner Kapazität O₂ gebunden hat.

6. Warum ist der Luftverbrauch im kalten Wasser höher als im warmen?

Antwort:

Auf Grund der höheren Wärmeproduktion des Körpers wird mehr O₂ verbraucht.

7. Wodurch und wie wird primär die Atmung gesteuert?

Antwort:

Das CO₂, das als Kohlensäure im Blut vorhanden ist, regelt die Atemtätigkeit über das Atemzentrum im verlängerten Rückenmark.

8. Was heißt Atemminutenvolumen 20 NL?

Antwort:

Der Taucher benötigt auf NN 20 l Atemluft in einer Minute.

9. Erklären Sie die Vorgänge Expiration und Inspiration!

Antwort:

a) Heben des Zwerchfells – Brustkorbverkleinerung – Überdruck – Atemluft strömt ab/aus

b) Senken des Zwerchfells – Brustkorbvergrößerung – Unterdruck – Atemluft strömt ein

10. Erklären Sie die Begriffe großer Kreislauf (Körperkreislauf) und kleiner Kreislauf (Lungenkreislauf)!

Antwort:

Großer Kreislauf:

Von linker Herzhauptkammer über Körperarterien zur inneren Atmung, von dort über Körpervene zur rechten Herzvorkammer.

Kleiner Kreislauf:

Von rechter Herzhauptkammer über Lungenarterie zur Lunge, von dort über Lungenvene zur linken Herzvorkammer.

11. Fassen Sie erklärend die Begriffe a) Körperbau/Druckausgleich b) Kreislauf/Stoffwechsel zusammen!

Antwort:

a) Körperbau

Druckausgleich

Höhlen wie:

Paukenhöhle, Nebenhöhlen.

Druckgleichgewicht zum Umgebungsdruck.

b) Kreislauf

Befördert Stoffe und O₂ an Zellen.

Stoffwechsel

Verarbeitung der zugeführten Stoffe.

12. Sie haben einen Bewußtlosen gerettet. Welche Maßnahmen ergreifen Sie?

Antwort:

Verlegung der Atemwege prüfen

Sofortige Atemspende 15–20 Mal/Min., falls Atemstillstand

Bei Herzstillstand (Pupillenweitstand) Herzmassage 2 : 15

Arzt benachrichtigen

13. Worauf haben Sie bei einer Mund zu Mund Beatmung zu achten?

Antwort:

Atemwege frei

Kopf überstrecken

Heben und Senken des Brustkorbes

Rhythmus 15–20 Mal/Min.

14. Sie werden zum Ort eines Tauchunfalles gerufen. Der Verunfallte ist bereits an Land gebracht worden. Er klagt über Schmerzen hinter dem Brustbein und ist darüber hinaus nicht ansprechbar.

a) Um welche Art von Taucherunfall handelt es sich vermutlich?

b) Welche Erste-Hilfe-Maßnahmen müssen getroffen werden?

Antwort:

- a) Dekompressionsunfall – Chokes
- b) Stabile Linksseitenlage
 - Kopf tief, Beine hoch
 - O₂-Beatmung
 - Ruhig lagern
 - Arzt und Druckkammer verständigen
 - Protokoll erstellen

15. Warum ist es so wichtig bei Atemstillstand sofort zu beatmen?

Antwort:

Akuter O₂-Mangel läßt die Hirnzellen absterben.
Bei Nichtbeatmung tritt der Tod nach kurzer Zeit ein.

16. Wie erkennt man bei einem Bewußtlosen den Herzstillstand und welche Maßnahmen müssen bei Herzstillstand getroffen werden?

Antwort:

Herzstillstand liegt vor, wenn:

Kein Puls bzw.

Keine Pupillenreflexe vorhanden

Maßnahmen:

Ein Helfer: Beatmung: Herzmassage 2 : 15 Arzt verständigen

zwei Helfer: Beatmung: Herzmassage 1:5

17. Warum ist eine Atemspende mit der Ausatemluft möglich?

Antwort:

Es werden nur ca. 4% Sauerstoff von der Einatemluft (21%) gebunden. Die physiologische Verträglichkeitsgrenze der Einatemluft liegt bei 17% O₂.

18. Was ist ein Schwimmbad-black-out und wie ist sein Zustandekommen physiologisch zu erklären?

Antwort:

Hyperventilations-Symptom

Bewußtes Überatmen ohne Bedarf

Senkung des CO₂-Spiegels im Blut

Herabsetzen des Atemzwanges

Akuter Sauerstoffmangel

Bewußtlosigkeit

19. Wie kann ein Schock beim Tauchen entstehen, wie wird er erkannt und wie wird der Betroffene behandelt?

Antwort:

Durch das Trauma; Lähmung der Gefäße und starke Verlangsamung des Blutstromes.

Ursache:

Blutverlust

Flüssigkeitsverlust

Vergiftung

Infektion

Schmerzen

Schreckerlebnisse

Lungenriß

Dekounfall

Erkennung:

Haut blaß, kalt und feucht

Unruhe, Apathie

Durst

Brechreiz

Atemnot

Behandlung:

Schocklage

Infusion

Nur mit einem Arzt in die Druckkammer

20. Welche Bedeutung hat die Wärmeleitfähigkeit des Wassers für den Taucher?

Antwort:

Schnelles Auskühlen

Tragen von Schutzkleidung (Neoprene)

21. Welche Wirkung hat die Verabreichung von Alkohol oder Massagen auf einen Unterkühlten?

Antwort:

Erweiterung der Blutgefäße

Betroffener kühlt weiter aus

22. Was bewirkt Alkohol vor dem Tauchen?

Antwort:

Beeinträchtigung des Konzentrations- und Handlungsvermögens

Gefäßerweiterung – erhöhte Durchblutung – auskühlen

Anfälligkeit für Tiefenrausch und Dekompressionskrankheit

23. Ist eine üppige Mahlzeit vor dem Tauchen ratsam? Erörtern Sie!

Antwort:

Blutansammlung im Verdauungstrakt

Keine Leistungsfähigkeit

Kreislaufkollaps – Magentod

24. Nennen Sie mindestens 3 Beispiele für Pendelatmung!

Antwort:

Zu langer Schnorchel

Druckkammeraufenthalt ohne Frischluftspülung

Hechelndes Atmen

25. Warum darf ein Schnorchel nicht künstlich verlängert werden?

Antwort:

Gefahr eines Barotraumas der Lunge durch Unterdruck.

Pendelatmung, da kein Atemluftaustausch stattfindet.

26. Warum kann es bei schnellem Schwimmen oder bei UW-Arbeiten in größeren Tiefen zu einer Atemnot kommen?

Antwort:

Einsetzende Beschleunigung der Atmung – O₂-Ausnutzung wird schlechter

– rasche, oft hechelnde Atmung – Atmung fast nur noch im Todraum – O₂-

Mangel – Bewußtlosigkeit.

27. Welche Symptome kündigen einen Sauerstoffmangel an?

Antwort:

Flimmern vor den Augen

Übelkeit

- Einschränkung des Bewußtseins und Zuckungen einzelner Muskelgruppen
Epileptische Krampfanfälle
Bewußtlosigkeit
28. In welcher Tiefe liegt rein rechnerisch die Grenze für das Tauchen mit Preßluft?
Antwort:
In 74 m Tiefe: $0,21 \text{ bar } p_{\text{O}_2} \times 8,4 \text{ bar} = 1,74 \text{ bar } p_{\text{O}_2}$
29. Zählen Sie Symptome der CO₂- und O₂-Vergiftung auf!
Antwort:
CO₂-Vergiftung:
Atemnot
Kopfschmerzen
Schweißausbruch
Ohrensausen und Übelkeit
Erbrechen
Bewußtlosigkeit
O₂-Vergiftung:
Flimmern vor den Augen
Übelkeit
Einschränkung des Bewußtseins und Zuckungen einzelner Muskelgruppen
Epileptische Krampfanfälle
Bewußtlosigkeit
30. Ab welcher Tiefe muß mit einem Tiefenrausch gerechnet werden und welche Maßnahmen müssen ergriffen werden?
Antwort:
Ein Tiefenrausch kann in der Regel ab 35 m Tiefe auftreten.
Als Maßnahmen sind zu treffen:
Zuschwimmen und bemerkbar machen
Aufsuchen geringerer Tiefen
Weiter beobachten
Gegebenenfalls weitere Maßnahmen treffen
31. Welche Erscheinungen gehen dem Tiefenrausch voran?
Antwort:
Konzentrationschwierigkeiten
Euphorie oder Angstzustände
Unkontrollierte Bewegungen
Selbstüberschätzung und Fehlhandlungen
Abstumpfung und Bewußtlosigkeit
Metallischer Geschmack
Gedächtnisverlust
Sinnestäuschung
Sehstörungen
Bewußtseinsstörungen
Wahnvorstellungen
Starke Leistungsminderung
Schnelle und flache Atmung

32. Erklären Sie den Unterschied zwischen innerem und äußerem Blaukommen!
Antwort:
Inneres Blaukommen:
Bei Apnoetauchen entsteht infolge der begrenzten Vitalkapazität ein Unterdruck in der Lunge, der Blutansammlungen zur Folge haben kann.
Äußeres Blaukommen:
Ein Tauchersturz beim Helmtauchen bewirkt einen Unterdruck im Helm, der eine Blutansammlung im Bereich des Kopfes zur Folge haben kann.
33. Nennen und erklären Sie die wichtigsten Unter- und Überdruckbarotraumen!
Antwort:
Unterdruck:
Trommelfellriß – Drehschwindel
Inneres Blaukommen – Lungenödem
Durch den steigenden Druck wird die Luft in den Paukenhöhlen sowie der Lunge gemäß dem Boyle-Mariotteschen Gesetz komprimiert. Es entsteht ein Unterdruck.
Überdruck:
Lungenriß – Behinderung des notwendigen Gasaustausches, Embolie.
Durch den fallenden Umgebungsdruck beim Auftauchen dehnt sich die Luft in der Lunge gemäß dem Boyle-Mariotteschen Gesetz aus. Es entsteht ein Überdruck.
34. Was sind die Symptome eines Lungenrisses und wie ist der Taucher in diesem Fall zu behandeln?
Antwort:
Symptome:
Schmerz auf der betreffenden Seite
Blutschaum
Husten, keuchender Atem
Atemnot
Luft unterhalb des Schlüsselbeins, beim Abtasten knisterndes Geräusch
Abklopfen des Brustkorbes (dumpfe Töne sind normal)
Behandlung:
Stabile Seitenlage auf die betroffene Seite
Rolle zum Überstrecken der gesunden Lunge unterlegen
Beine hoch, Kopf tief
O₂-Beatmung
Nächste Druckkammer und Arzt verständigen
Protokoll erstellen
35. Beschreiben Sie an Hand eines Beispiels den Vorgang »Druckausgleich in den Ohren«!
Antwort:
Durch Zuhalten der Nase und Schnauben wird ein Überdruck im Nasen-Rachen-Raum erzeugt, durch den sich die Eustachischen Röhren öffnen und die Paukenhöhlen belüftet werden.
36. Ihr Tauchpartner zeigt unter Wasser plötzlich Gleichgewichtsstörungen. Was kann die Ursache sein, und wie haben Sie sich jetzt zu verhalten?

- Antwort:**
Ursache:
Trommelfellriß
Maßnahmen:
Zuschwimmen, gemeinsam und kontrolliert auftauchen.
37. Ist eine Erkältung beim Tauchen hinderlich? Wenn ja, warum?
Antwort:
Durch die Erkältung ist die Leistungsfähigkeit des Körpers gemindert. Ebenso sind bei einer Erkältung die Schleimhäute angeschwollen, wodurch die Herstellung eines Druckausgleiches mit Schwierigkeiten verbunden ist.
38. Weshalb sind beim Tauchen Ohrenverschlüsse jeder Art unzulässig und gefährlich?
Antwort:
Sie können einen Trommelfellriß nach außen verursachen oder in Richtung Trommelfell wandern und es perforieren.
39. Wann sollte man beim Abtauchen mit dem Druckausgleich beginnen?
Antwort:
Beim Verlassen der Wasseroberfläche.
40. Wann müssen Dekompressionszeiten eingehalten werden?
Antwort:
Beim Überschreiten der Nullzeit. Zur Sicherheit kann nach jedem Tauchgang ein Sicherheitsstopp von 3 Minuten in 3 m Tiefe eingelegt werden.
41. Ein Dekompressionsunfall ist eingetreten. Welche Maßnahmen haben Sie zu treffen?
Antwort:
Stabile Linksseitenlage
Kopf tief, Beine hoch
O₂-Beatmung
Druckkammer und Arzt verständigen
Ruhig lagern
Protokoll erstellen
42. Worauf haben Sie beim Transport eines Deko-Verunfallten zu achten?
Antwort:
Stabile Linksseitenlage
Kopf tief, Beine hoch
O₂-Beatmung
Erschütterungsfreier Transport
Druckkammer und Arzt verständigen
Protokoll erstellen
Maximale Flughöhe 300 m
43. Welcher physikalische Vorgang vollzieht sich während der Dekompression?
Antwort:
Die Spannung des im Gewebe gelösten Stickstoffes geht zurück. Das Gewebe befindet sich in der sogenannten Übersättigung. Ist die Aufstiegs- geschwindigkeit klein genug, so geht der in den Geweben gelöste Stickstoff in das Blut über und wird auf dem Niveau der Lunge frei.
44. Kurz nach Beendigung des Tauchganges klagt der Taucher über heftige

- Gelenkschmerzen. Womit muß man rechnen, und wie soll man sich jetzt verhalten?
Antwort:
Ursache:
Caissonunfall – Bends
Maßnahmen:
Stabile Linksseitenlage
O₂-Beatmung
Ruhig lagern
Arzt und Druckkammer verständigen
Protokoll erstellen
45. Was sind die wichtigsten Symptome einer Caissonkrankheit?
Antwort:
Taucherflöhe
Bends
Lähmungen
Bauchschmerzen
Taubheitsgefühl
Störungen im Seh- und Hörbereich
Chokes
46. Was versteht man unter einer Rekompensation?
Antwort:
Der Caissonverunfallte wird wieder unter Druck gesetzt, so daß die Krankheitssymptome verschwinden und der N₂ abgeatmet werden kann.
47. Nach welcher Zeit ist bei einem längeren Tauchabstieg der im Blut und Gewebe zusätzlich gelöste Stickstoff sicher wieder abgeatmet?
Antwort:
Nach 12 Stunden.
48. Aus welchen Gründen kann ein Nullzeittauchgang zur Caissonkrankheit führen?
Antwort:
Alkoholgenuß
Medikamente
UW-Arbeit
Tauchgang in sehr kalten Gewässern
49. Was versteht man im Sprachgebrauch der Tauchmedizin unter »schnellen« und »langsamen« Geweben?
Antwort:
Schnelle Gewebe:
Stark durchblutete Gewebe
Stickstoffsättigung bzw. Entsättigung tritt schnell ein
Langsame Gewebe:
Geringer durchblutete Gewebe und Organe
Stickstoffsättigung bzw. Entsättigung geht langsamer vor sich
50. Welche Gefahren ergeben sich für den Preßlufttaucher aus dem Stickstoff- anteil der Atemluft?
Antwort:
Tiefenrausch
Caissonkrankheit

X. Anhang

1. Lehrprogramm für die praktische Ausbildung

Das Lehrprogramm soll als Leitfaden für die praktische Ausbildung zum Feuerwehrtaucher dienen.

1.1. Hallenbad

1.1.1. ABC-Teil

1. Kraulschwimmen / Armtechnik
2. Vertrautmachen und Anlegen der ABC-Ausrüstung
3. Erlernen des korrekten Flossenschwimmens
4. Schnorchel ausblasen
5. Maske entleeren
6. Flossenschwimmen mit einer und mit zwei Flossen
 - a) Brustlage
 - b) Rückenlage
 - c) Seitenlage
7. Ab- und Auftauchen
8. Zeittauchen 45 Sek.
9. Laufen 25 m
10. Streckentauchen 35 m
11. 50 m mit 5 kg Blei Schnorcheln
12. 50 m ohne Maske Schnorcheln
13. Abtauchen; Maske, Schnorcheln und Blei ablegen und auftauchen.
Abtauchen; Maske, Blei anlegen, Schnorchel einführen und Maske entleeren. Auftauchen und Schnorchel ausblasen
14. Erlernen der Transportgriffe
15. Rettungsübung unter und über Wasser mit einem Partner
16. Retten eines Tauchers aus ca. 4 m Tiefe; anschließend 100 m Transportschwimmen
17. 1000 m Schnorcheln

1.1.2. Geräte-Teil

1. Vertrautmachen mit dem PTG
2. Anlegen des PTG an Land

3. Schwimmen mit PTG
4. Abtauchen mit PTG
5. Maske entleeren
6. PTG am Grund anlegen
7. Tarierung
8. Maskentausch
9. Gerätetausch
10. PTG liegt mit Maske am Grund; antauchen und anlegen
11. Wechselatmung
12. Auf 100 m Wechselatmung
13. Orientierung: 3 Rollen vorwärts oder rückwärts und anschließend einen Gegenstand antauchen und bergen
14. 50 m ohne Maske tauchen
15. Notaufstiegsübung
16. Tauchen nach Leinenzeichen
17. Blindtauchen
18. Knoten und Stiche unter Wasser

1.1.3. Konditionsübungen

1. Circuit-Training
2. UW-Parcours
3. Zielgerichtetes Training für Luftanhaltevermögen, Wendigkeit UW, Physische Stabilität.

1.2. Freiwasser

1. Einstieg ins Wasser
2. Gewöhnungstauchen
3. Tarierung
4. Tauchen nach Leinenzeichen
5. Tieftauchen
6. Suchübung
7. Rettungsübung
8. Bergeübung
9. Hebeübung
10. Sägeübung
11. Nagelübung
12. Bohrübung
13. Meißelübung
14. Arbeiten mit Rettungsschere und Spreizer
15. Schrauben UW
16. Knoten und Stiche
17. Notaufstieg
18. Tauchen ohne Maske
19. Nachttauchen

2. Deko- und Wiederholungs-Tauchtabelle von Bühlmann/Hahn

2.1. Allgemeines über die Austauschtablelle

Die in Abb. 114 abgedruckte Tabelle wurde durch jahrelange Versuche von Prof. Dr. A. A. Bühlmann und Dr. Max Hahn ermittelt. Sie ist für den Gebrauch bei (1 atm) 101.325 Pa ($\pm 5\%$) Luftdruck (bei 0 m über N.N.) in Meer- und Süßwasser berechnet. Ansonsten können die Aussagen über die Erklärung einzelner Begriffe aus VI.7.8.1. (Definitionen) übernommen werden.

2.2. Nullzeittauchgänge

Tauchgänge liegen innerhalb der Nullzeit, wenn die Minutenwerte (Tauchzeit) unterhalb der Meterangabe für Tauchtiefe in der ersten Spalte nicht überschritten werden.

Beispiele: Tauchtiefe 21 m: Bis 40 Minuten Nullzeit.
Tauchtiefe 39 m: Bis 7 Minuten Nullzeit

2.3. Dekompressionspflichtige Tauchgänge

Alle Tauchgänge, bei denen die Minutenwerte (Tauchzeit) überschritten werden, sind dekompressionspflichtig. Die Minutenwerte unter der Spalte *D.St.* sagen aus, ob und wie lange in 3 m, in 6 m und 3 m oder in 9 m, 6 m und 3 m dekomprimiert werden muß.

Beispiele: Tauchgang 20 m, 50 Minuten Verweildauer.
Dekozeit: 2 Minuten auf 3 m.
Tauchgang 45 m, 18 Minuten Verweildauer.
Dekozeit: 1 Minute auf 9 m,
4 Minuten auf 6 m,
5 Minuten auf 3 m.

2.4. Wiederholungstauchgänge

Werden innerhalb von 12 Stunden zwei oder mehr Tauchgänge durchgeführt, ist grundsätzlich der »Kennbuchstabe« in der Spalte »*W.Gr.* = Wiederholungsgruppe« des vorangegangenen Tauchganges zu ermitteln. Es ist unerheblich, ob der vorangegangene Tauchgang dekompressionspflichtig war oder innerhalb der Nullzeit lag.

Beispiel:

Erster Tauchgang: 27 m Tiefe, 20 Minuten Dauer.
Dieser Tauchgang ist noch innerhalb der Nullzeit.
Kennbuchstabe »D«.

Nun wird mit dem Kennbuchstaben »D«, für die Planung des zweiten Tauchganges, in die Tabelle »Wiederholungsgruppe« gegangen. Soll nach $2\frac{1}{4}$ Stunden Oberflächenpause erneut auf 27 m Tiefe getaucht werden, muß die vorhandene Reststickstoffsättigung berücksichtigt werden.

Es wird unter dem Kennbuchstaben »D« der Tabelle »Oberflächenpause« der Zeitwert, der dem Zeitwert der Oberflächenpause am nächsten kommt, ermittelt. In diesem Beispiel in der Spalte von Buchstabe »D« 0,30|3,00. Wird die Trennlinie zwischen den beiden Zahlen senkrecht nach unten verfolgt, so stößt man auf ein Feld mit der Zahl »25«. Jetzt ist die Tauchtiefe (27 m) des zweiten Tauchganges am linken Tabellenrand zu ermitteln. Im Schnittpunkt von Tauchtiefe 27 m und Zeitzuschlagsspalte, senkrechte Verfolgung nach unten, steht »10«. Dieser Wert stellt den Zeitzuschlag auf Grund der Reststickstoffsättigung dar. Man ist rein theoretisch schon 10 Minuten auf 27 m Tiefe getaucht, obwohl man den zweiten Tauchgang noch nicht begonnen hat. Die 10 Minuten Zeitzuschlag müssen zu der effektiven Tauchzeit von 20 Minuten, des zweiten Tauchganges, hinzugezählt werden. 10 Minuten Zeitzuschlag + 20 Minuten effektive Tauchzeit = fiktive (zu berücksichtigende) Tauchzeit von 30 Minuten. Geht man nun in die Deko-Tabelle zurück, so stellt man fest, daß der zweite Tauchgang dekompressionspflichtig ist. Es muß 3 Minuten in 3 m Tiefe dekomprimiert werden. Bei einem dritten Tauchgang müßte nach dem Kennbuchstaben »F« in der gleichen Weise verfahren werden.

Übungsaufgabe: 1. Tauchgang 33 m; 10 Minuten;

Oberflächenpause 2 Stunden.

2. Tauchgang 30 m; 20 Minuten.

Antwort: 1. Tauchgang: Ist innerhalb der Nullzeit, Kennbuchstabe »C«.

2. Tauchgang: 9 Minuten Zeitzuschlag, Dekozeit 1 Minute in 6 m Tiefe und 5 Minuten in 3 m Tiefe.

Bei einem dritten Tauchgang wäre es die Wiederholungsgruppe »F«.

2.5. Luftverbrauch

In der vorletzten Spalte wird aufgezeigt wieviel Luft für den jeweiligen Tauchgang benötigt wird. Bei der Luftverbrauchsberechnung ist ein maximaler Luftverbrauch von 28 l Luft pro Minute an der Wasseroberfläche angesetzt worden.

Dekompressionstabelle für Taucher

Tiefe	Zeit	D. St.	W. Gr.	Nullzeit
9	20	B	1,1 0	3 m³ h
40	C	2,2 0		
60	D	3,3 0		
80	D	4,4 1		
12	15	B	1,0 0	
30	C	1,9 0		
45	D	2,9 0		
60	E	3,8 1		
75	F	4,8 3		
15	15	C	1,1 0	
30	D	2,2 0		
45	E	3,3 1		
60	F	4,4 3		
18	10	B	0,9 0	
20	C	1,7 0		
30	D	2,5 1		
40	F	3,3 2		
50	F	4,1 3		
60	F	4,9 4		
21	10	B	1,0 0	
20	D	1,9 0		
30	E	2,8 1		
40	F	3,7 3		
50	F	4,6 4		
24	10	C	1,1 0	
20	D	2,1 1		
30	E	3,1 2		
40	F	4,2 4		
45	F	4,8 5		

Tiefe	Zeit	D. St.	W. Gr.	Nullzeit
10		C	1,2 0	6 3 m³ h
15		D	1,8 1	
20		D	2,3 1	
25	1	E	2,9 1	
30	3	F	3,5 3	
35	5	F	4,1 4	
40	8	F	4,7 5	
5		B	0,8 0	
10		C	1,4 0	
15		D	1,9 1	
20	1	D	2,5 1	
25	3	E	3,2 2	
30	1	F	3,9 4	
35	2	F	4,6 5	
5		B	0,9 0	
10		C	1,5 1	
15		D	2,1 1	
20	3	E	2,8 2	
25	1	F	3,6 3	
30	3	F	4,3 4	
5		B	1,0 0	
10	1	C	1,6 0	
15	2	D	2,4 1	
20	1	E	3,1 2	
25	3	F	3,9 4	
28	4	G	4,5 5	

Tiefe	Zeit	Deko. Stufe	W. Gr.	Nullzeit
5			C 1,1 0	9 6 3 m³ h
10		1	D 1,8 0	
15		4	E 2,6 1	
20	3	4	F 3,4 3	
25	1	4	G 4,4 4	
5			C 1,1 0	
10		1	D 1,9 1	
15	1	4	E 2,8 2	
20	1	3	F 3,8 4	
25	3	4	G 4,9 5	
3			B 0,9 0	
6		1	D 1,4 0	
9		1	E 1,9 1	
12		4	E 2,5 1	
15	3	4	E 3,1 2	
18	1	4	F 3,7 4	
21	3	4	G 4,4 5	
3			C 1,0 0	
6		1	D 1,5 0	
9		2	E 2,1 1	
12	1	4	E 2,7 1	
15	4	5	F 3,3 3	
18	2	4	F 4,0 4	
3			C 1,1 0	
6		1	D 1,6 0	
9		3	E 2,2 1	
12	3	4	F 2,9 2	
15	2	4	F 3,6 3	
18	4	4	F 4,4 5	

© Albert Müller Verlag AG, Büschlikon-Zürich 1994.
Aus Dr. med. O. F. Ehm, Tauchen noch sicherer.

Abb. 114: Deko- und Wiederholungs-Tauchtafel von Bühlmann/Hahn (Sporttaucher)

Wiederholungsgruppe	0,25	0,45	1,00	1,15	1,40	2,10	12,00
G	0,25	0,45	1,00	1,15	1,40	2,10	12,00
F		0,20	0,30	0,45	1,15	1,30	8,00
E			0,10	0,15	0,25	0,45	4,00
D				0,10	0,15	0,30	3,00
C					0,10	0,25	3,00
B						0,20	2,00

Tiefe des Wiederholungstauchgangs (m)	9	305	211	116	75	56	25
12	111	81	57	33	24	19	
15	88	61	42	28	19	16	
18	69	44	34	25	17	14	
21	54	37	28	23	15	12	
24	44	30	24	20	13	11	
27	37	26	21	18	12	10	
30	31	22	19	16	10	9	
33	27	20	17	14	9	8	
36	24	18	15	13	8	7	
39	21	16	14	11	8	7	
42	19	15	12	10	7	6	
45	18	14	11	9	6	6	
48	16	13	11	8	6	6	
51	15	12	10	7	5	5	

Oberflächenpause h, min
Zeitzuschlag zur Grundzeit (min)

Aufstieg mit höchstens 10 m/min! Luftbedarf für AMV = 28 l/min ohne Reserve. Nach Wiederholungstauchen erst fliegen, wenn Zeitzuschlag = 0! Für Meereshöhe berechnet von M. Hahn, Kaarst nach Koeffizienten von A. A. Bühlmann, Zürich.

2.6. Fliegen nach dem Tauchen

Die letzte Spalte sagt aus, welche Zeit (Stunden) verstreichen muß, um einen gefahrenlosen Nachhauseweg im Flugzeug anzutreten. Diese Zeit benötigt der Körper, um soviel Stickstoff abzubauen, so daß der Druckabfall in der Kabine relativ ungefährlich wird. Aus Sicherheitsgründen ist es jedoch ratsam, den letzten Tauchgang mindestens 12 Stunden vor einem Flug zu absolvieren, denn der Druckabfall in der Kabine kann unter Umständen einen Deko-Unfall zur Folge haben.

Literaturverzeichnis

- Haux, G.: Tauchtechnik, Band I und II, 1970. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York
Ehm, D. F.: Tauchen – noch sicherer! Leitfaden der Tauchmedizin. A. Müller Verlag Rüslikon-Zürich, Stuttgart, Wien
Renemann, H.: Sporttauchen ohne Risiko, Tauchmedizin verständlich gemacht. Franck'sche Verlagshandlung Stuttgart
Zimmermann: Tauchen, Wasser- und Eisrettung, Rotes Heft 40. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Köln-Mainz
FwDV 8 Tauchen, Feuerwehrdienstvorschrift 8. Deutscher Gemeindeverlag GmbH und Verlag W. Kohlhammer GmbH Köln-Stuttgart-Berlin-Bremen-Hamburg-Hannover-Kiel-Mainz-München-Wiesbaden, Verlagsort Köln
Holzapfel, R. B.: Praxis der Tauchmedizin, 1882. Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York

Bildnachweis

- Verfasser: 1, 5 bis 32, 36, 46, 61, 62, 64 bis 77, 80 bis 101, 103 bis 113
BF-Mannheim: 102
Fa. Dräger: 2, 3, 4, 33, 34, 35, 37 bis 44, 47 bis 60, 78, Titelfoto
Bernhard Apparate Bau: 45
Diving Instructor World Association: 63
Unfallverhütungsvorschrift – Taucherarbeiten – (VBG 39): 79
Albert Müller Verlag AG Rüslikon-Zürich: 114

Am Schluß sei allen gedankt, die am Gelingen dieses Handbuches Anteil haben, insbesondere Herrn Hauptbrandmeister und Lehrtaucher Werner Anlauf, BF-Mannheim.

Namen- und Sachregister

- Ab- und Auftauchen 27, 32, 110, 191
ABC-Ausrüstung 22ff.
ABC-Tauchen 22ff.
Absolute Temperatur 46
Abstiegsgeschwindigkeit 191
Alkalose 33
Alkoholeinfluß 159, 211
Alveolen 114
Anatomie 112ff., 209
Anforderungen an ein Tauchgerät für den Feuerwehrdienst 59
Angst
– Abbauende Maßnahmen 148
– Entstehung 147
Anlegen der Ausrüstung 105ff., 162, 164
Anomalie des Wassers 55
Anzug 56, 190, 193, 211
Archimedisches Prinzip 50, 198–201
Atemanreiz 32, 209
Atemfrequenz 115
Atemgase 37ff., 208
Atemkammerraum und Gasaustausch 114
Atemminutenvolumen 35, 208, 209
Atemspende 154, 209, 210
Atemtechnik 107
Atemzentrum 32
Atemzugvolumen 35, 115
Aterien 115, 209
Atmung 112, 208, 209
– Mechanik 114, 208, 209
– obere Luftwege
– untere Luftwege
Auf- und Abtrieb 52
Aufenthalt unter Wasser 107ff.
Aufgabenverteilung an der Einsatz- und Übungsstelle 163
Aufstieg 32, 110, 191
Auftauchen, Gefahrenmomente 110
Auftrieb 51, 52
Auftriebsrettungsmittel 85ff., 192
– Allgemeine Anforderungen 86
– Begriffsbestimmungen 85
– Betrieb 86
– kombinierter Bauweise 86
– Prüfung 86
– Rettungs- und Tarierwesten 88
– Secumar TRK 94 KV 87
Ausatemluft 37, 208, 210
Ausbildungsverlauf/Stoffplan 15, 17
Austauchtabelle 136, 144, 195–198
– Allgemeines 218
– Definitionen 141
– Deko-Tauchgänge 218
– Fliegen nach dem Tauchen 222
– Handhabung (VBG 39) 141, 190, 195–198
– Luftverbrauch 219
– Nullzeittauchgänge 218
– Sporttaucher 218
– Wiederholungstauchgänge 219
Badetod 150
Bar 40
Barotrauma 118, 213
– des Gesichtes und der Augen 122
– der Haut 122
– der Lunge 122ff., 213
– der Nebenhöhlen 120
– des Ohres 118
– der Zähne 121
Beatmung – Künstlich 154, 210
– Sauerstoff 156
Beleuchtung UW 93
Bends 134
Bert Paul 20, 136
Blaukommen 125, 213
Bleigürtel, Bleigewichte 92
Boyle-Mariotte 41, 201–204, 207
Brechungsindex 22, 54
Bronchen 113
Caissonkrankheit 130ff., 214, 215
Chokes 135
Chronische Schäden 135
Costeau J. Y. 19
Dalton 45, 205
Datenerfassung bei Tauchunfällen 158, 193
Dekompression – Druckkammer 139, 211, 215
– Nachgeholt 139, 215
Dekompressionsphase 117, 132, 214
Dekompressionsunfälle 134, 209, 214, 215
Dekotabelle Bühlmann/Hahn 218
Dichte 50
Diffusion – N₂ 131
Drehschwindel 119, 213
Druck 39
Druckausgleich 29, 213, 214
– fehlender oder schlechter 118
– Schwierigkeiten 31
Druckdifferenzen/Körpergewebe 117
Druckeinheiten 39
Druckkammer 139
Druckluft 79
Druckminderer 65, 71, 191
Edelgase 38
Einatmen von Wasser 149ff.
Einführung 17ff.
Einsatz
– in fließenden Gewässern 169
– vom Boot 168
– vom Ufer 167
Einsatzgrundsätze 195
Einsatzstelle 166
Einsatztaktik 161ff.
Einstieg ins Wasser 106
Eisrettung 173ff.
– Einsatzkleidung 173
Eistauchen 175
Entsättigung 132
Erfrürungen 147
Erste Hilfe 153ff., 209, 210, 214
Ertrinken 150
– Erste Hilfe 151
– Süß und Salzwasser 150
Eustachische Röhre 29

Fahrer 163
 Farben unter Wasser 52
 Flossen 25
 Flossenschwimmen 27
 Flug 222
 Fragenkatalog 188ff.
 – Medizin 208
 – Physik 198
 – Praxis/Technologie 188
 Freitauchgrenze 35, 213
 Freiwerden von Gasen aus Flüssigkeiten 49
 Führungs- oder Signalleine 102
 Füllen (-druck) 79
 Füßlinge 57
 Funk unter Wasser 103
 FwDV 8 »Tauchen« 186, 193

 Gasgesetze 39ff.
 Gaspartialdrücke – veränderte 126ff.
 Gay-Lussac 46, 205, 206
 Gefahren für den Taucher – Einsatztaktik 164
 Gelenkschmerzen 134
 Gesetzliche Grundlagen für das Tauchen im
 Feuerwehrdienst 186
 Gewässerkunde 20
 Gewichtskraft 50, 51
 Gleichgewichtsstörung 119, 213
 Grundtau 90

 Halbgasmaske 22
 Haldane John 136
 Handschuhe 57
 Haube 57
 Hebearbeiten 179
 Helium 38
 Henry 47
 Herz 115
 – Kreislaufversagen 153
 Herzdruckmassage 156, 210
 Hilfeleistung beim Anlegen der Ausrüstung 106
 Hilfsgeräte 171ff.
 Hilfskräfte 166
 Hitzeerschöpfung 146
 Hitzeschlag 145
 Hören unter Wasser 55
 Hydrostatisches Gleichgewicht 108
 Hyperventilation 32
 Isopressionsphase 117

 Kelvin 46
 kinetische Gastheorie 42
 Klarsichtmittel 26
 Körpertemperatur 145
 Kohlendioxyd 38
 Kohlendioxydvergiftung 128
 Kohlenmonoxydvergiftung 128
 Kompressionsphase 117
 Konstantvolumenanzug 58
 Korrosion 79
 Kreislauf 115ff., 209
 – kleiner Kreislauf 116
 – großer Kreislauf 117
 Kreislauforgane 115
 Lähmungen/Nervensystem 134
 Leckabdichtung 180
 Lehrprogramm; praktische Ausb.
 – ABC-Teil
 – Ausbildung 216ff.
 – Freiwasser 217

 – Geräte-Teil 216
 – Hallenbad 216
 – Konditionsübungen 217
 Leichenbergung 187
 Leinenzeichen 108, 194
 Lichtabsorption 52, 207
 Lichtbrechung 52, 207
 Lösung von Gasen in Flüssigkeiten 47ff.
 – in Abhängigkeit von Druck und Zeit 49
 Lunge 112
 Lungenautomat 66, 69, 70, 189
 Lungenödem 36, 126
 Lungenriß 123, 213
 Lungenüberdehnung 123
 Lungenvolumen 35
 Lungenzerreißen 123

 Magentod 159
 Manometer 65
 Maske 168 R 80
 – Ablegen 84
 – Anlegen 81
 – Ausblasen der Maske 82
 – Dichtprüfung 82
 – Gebrauch 81
 – Pflege und Wartung 84
 Masse 50
 Maßeinheiten 39
 Medikamente 160
 Mehrmaliges Tauchen 142, 196, 197
 Mittelohr 29

 Nahrung und Pharmaka 159ff., 211
 Naßtauchanzug 56
 Nebenhöhlen 29
 Neoprene 56
 Newton 50
 Notaufstieg 188, 189, 191
 Nullzeit 138, 195, 214

 Ohr 29
 Ohrenstöpsel 119, 214
 Ohrtube 29

 PA 38 60ff.
 – Ablegen des Gerätes 76
 – Allgemeine Gerätebeschreibung 61
 – Anforderungen 61
 – Betrieb des Gerätes 73ff.
 – Druckminderer 65, 71, 191
 – Fertigmachen zum Gebrauch 73
 – Gebrauch des Gerätes 76
 – Gebrauchszeit 77, 202–204
 – Geräteaufbau 62ff.
 – Kurzprüfung 73
 – Lungenautomat 66, 69, 70, 189
 – Pflege und Aufbewahrung 79
 – Preßluftflaschen-Ventile, Füllen 67, 68, 79
 – Reserveschaltung 72, 73, 191
 – Rettungsaufgaben 60
 – Rückentraggestell 62
 – Technische Daten 73
 – Trageänderung 64
 – Unterwasseraufgaben 61
 – Verwendungszweck 60
 – Wartung 78ff.
 – Wirkungsweise 69
 Panik – Entstehung 148, 189
 Partialdruck 45
 Pascal 39

Paukenhöhle 29
 Pendelatmung 125, 211
 Physikalische Grundlagen 37ff.
 Physische Probleme 147
 Preßatmung 36
 Preßluftflaschen-Ventile, Füllen 67, 68, 79
 Prinzipien der Druckmessung unter Wasser 88
 Protokoll 158
 Prüfdruck 67

 Reanimation 153ff.
 Rekompensation 139
 Reserveschaltung 72, 73, 191
 Reservetaucher 164
 Residualvolumen 35, 207
 Rettung und Lagerung 153
 Rettungsaufgaben 60
 Rettungstange 173
 Risiken beim Einsatztauchen 164
 Rüstwagen-Wasser 161

 Sättigung 130
 Sauerstoff 37
 Sauerstoffmangel 126, 211
 Sauerstoffvergiftung 127, 212
 Schall unter Wasser 55, 191, 207
 Schleimhautanschwellung 31, 118
 Schnorchel 23
 – Gefährdung durch Überlänge 125, 192, 211
 Schock 151ff.
 – Erste Hilfe 152, 210
 Schockzustände 152
 Schweredruck 51
 Schwimmbad-black-out 32, 210
 Schwimmwesten 103
 SCUBA 19
 Seitenlage, stabile 153
 SI-Einheiten 40
 Sicherung der Einsatzstelle 182ff.
 Siebbeinzellen 29
 Signalgeräte 94ff.
 Signalmann 164
 Sonnenstich 146
 Spätschäden 135
 Spektralfarben 52
 Spezifische Gewicht (Dichte) 50
 Stickstoff 38
 Stickstoff-Embolie 135
 Stickstoffaufnahme und -abgabe 130
 Stickstoffeinwirkung 129
 Stickstofflösung 130
 Stimmritze 123
 Stimmritzenkrampf 122
 Stirnhöhlen 29
 Störungen des Wärmehaushaltes 145ff.
 Suchanker 173
 Suchmethoden 166ff.
 Suchschlitten 171
 Suchstange 171
 Suchsysteme
 – Längssystem 170
 – Quersystem 170

 Tarierung 107, 108, 191
 Tauchapparate 18

Tauchausrüstung 192, 194
 Tauchausrüstung/Gerätekunde 56ff.
 Taucher 164, 194, 195
 Taucher-Rettungs-Kragen 87
 Taucherdienstbuch 18
 Taucherflagge 106
 Taucherflöße 134, 215
 Taucherglocke 18
 Tauchergruppe 161, 194
 Taucherglocke 93
 Tauchermesser 92
 Tauchersandalen 90
 Taucherschutzhelm 91
 Tauchertelefon 94ff.
 – Aufbau 94
 – Dynamische Hör- und Sprechkapsel 101
 – Körperschallmikrofon 100
 – Lautsprecher 102
 – Technische Daten 98
 – Wirkungsweise 98
 Taucheruhr 94
 Tauchgeräte 59ff.
 – zugelassene 59
 Tauchgeschichte 18
 Tauchmedizin 112ff.
 Tauchpraxis 105ff.
 Tauchtruppführer 163, 195
 Teildruck 45
 Tiefengrenze 35, 212
 Tiefenmesser 88
 – Anforderungen 89
 Tiefenrausch 129, 212, 215
 Tierrettung 177
 Totalkapazität 35, 208
 Transport von Verunglückten 158
 Trockentauchanzug 57
 Trommelfell 29
 Trommelfellriß 119
 TÜV 67

 Übersättigung 132
 Unfallverhütung im Taucherdienst 186
 Unterkühlung 147
 Unterwasseraufgaben 61

 Venen 115
 Ventil 68
 Vereisung des Druckminderers bzw. des
 Lungenautomaten 79, 176
 Verhaltensregeln eines Feuerwehrtäuchers 162
 Verlassen des Wassers 110
 Vitalkapazität 35, 208
 Vollgesichtsmaske – Verwendungszweck 80
 Voraussetzungen für Taucheranwärter 17, 193
 Vorwort 5

 Wärmehaushalt 145
 Wärmestau 145
 Wellenlänge 53
 Wiederaufwärmung 147
 Wiederbelebung 153, 210

 Zeichen auf Binnenschiffahrtsstraßen 182, 193
 Zeichensprache-UW 108
 Zwerchfell 114