

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgaben und die Pflichten der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen	5
1.1	Die Aufgaben des Tauchdienstes im Rahmen der Hilfeleistungsunternehmen	5
1.1.1	Die allgemeinen Aufgaben des Tauchdienstes	9
1.1.2	Spezielle Aufgaben der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen	9
1.2	Einbindung von Tauchergruppen in Hilfeleistungsunternehmen	10
1.2.1	Einsatztaktik	10
1.2.2	Schnittstellen	11
1.3	Struktur und Ausstattung von Tauchergruppen in Hilfeleistungsunternehmen	12
1.3.1	Funktions- und Personalübersicht	12
1.3.2	Die Pflichten der Taucher (Funktionsbeschreibung)	13
1.3.3	Materielle Ausstattung	16
2	Entwicklung des Tauchens	19
2.1	Die Anfänge des Tauchens	19
2.2	Die Einführung der Taucherglocke	20
2.3	Der Skaphander	22
2.4	Die Entwicklung von Schwimmtauchergeräten	25
2.5	Die Entwicklung des Tauchens im Hilfeleistungsunternehmen	27
2.5.1	Entwicklung des Tauchens in der Deutschen Lebensrettungsgesellschaft	27
2.5.2	Entwicklung des Tauchens im Technischen Hilfswerk	27
2.5.3	Entwicklung des Tauchens in der Wasserwacht	27
3	Grundlagen des Tauchens	29
3.1	Physikalische Grundlagen des Tauchens	30
3.1.1	Der Druck	30

3.1.2	Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten (Gesetz von Henry)	45
3.1.3	Das Prinzip des Archimedes	47
3.1.4	Licht unter Wasser	49
3.1.5	Schall unter Wasser	54
3.2	Anatomisch-physiologische Grundlagen des Tauchens	55
3.2.1	Anpassung des Tauchers an die besonderen Umweltbedingungen	55
3.2.2	Die Atmung	56
3.2.3	Das Herz-Kreislaufsystem	61
3.2.4	Die Hohlräume im menschlichen Schädel	65
3.2.5	Das menschliche Ohr	67
3.2.6	Gassättigung und -entsättigung	69
3.2.7	Der Wärmehaushalt des Organismus	72
4	Tauchermedizin	75
4.1	Vorbeugender Gesundheitsschutz für Taucher	75
4.1.1	Ruhe-Belastungs-Rhythmus	75
4.1.2	Atemlufthygiene	76
4.1.3	Anpassungstraining durch Mindesttauchzeit	76
4.1.4	Schutz vor Auskühlung	77
4.1.5	Verpflegung	78
4.1.6	Reinigung und Desinfektion der Taucherausrüstung	78
4.2	Medizinische Sicherstellung von Tauchereinsätzen	79
4.2.1	Inhalt und personelle Realisierung der medizinischen Sicherstellung	79
4.3	Die wichtigsten taucherspezifischen Schädigungen beim Tauchen mit Luft als Atemgas	81
4.3.1	Begriffsbestimmung und Einteilung der taucherspezifischen Schädigungen	81
4.3.2	Erkrankungen und Unfälle durch Druckabfall und Druckdifferenzen	82
4.3.3	Erkrankungen und Unfälle, die durch veränderte Atemgaspartialdrücke bedingt werden	95
4.3.4	Weitere Erkrankungen und Unfälle, die beim Tauchen auftreten können	99
4.4	Erste Hilfe bei Taucherunfällen	107
4.4.1	Die Rettungskette	107
4.4.2	Die Herz-Lungen-Wiederbelebung	109
4.4.3	Die Rekompensation	111

5	Taucherausrüstung	113
5.1	Die Arten der Taucherausrüstung	113
5.1.1	Schwimmtaucherausrüstung	114
5.1.2	Helmtaucherausrüstung	115
5.1.3	Einteilung der Tauchgeräte	116
5.2	Die Taucherausrüstung der Taucher in Hilfeleistungsunterne- men	117
5.2.1	ABC-Ausrüstung	117
5.2.2	Tauchergeräte	121
5.2.3	Kälteschutzbekleidung	133
5.2.4	Gewichtssysteme	137
5.2.5	Führungs-, Sicherheits- und Orientierungsmittel	138
5.2.6	Atemluftkompressor	144
5.2.7	Taucherhilfsgeräte	145
5.2.8	Taucherdruckkammern	147
6	Tauchpraxis	149
6.1	Der Tauchgang und seine Phasen	149
6.1.1	Begriffsbestimmung	149
6.1.2	Arten von Tauchgängen	150
6.1.3	Die Phasen eines Tauchganges	152
6.2	Führung eines Tauchganges	159
6.2.1	Die Führungstätigkeit während des Tauchganges	159
6.2.2	Mittel und Methoden zur Führung der Taucher	160
6.3	Tauchen mit Schwimmtauchausrüstung (Drucklufttauchgerät) . .	163
6.3.1	Einsatzmöglichkeiten für Schwimmtaucher	163
6.3.2	Tauchzeitberechnung für Schwimmtaucher	164
6.3.3	Durchsicht und Funktionskontrolle der Taucherausrü- stung	167
6.3.4	Anlegen der Schwimmtaucherausrüstung	170
6.3.5	Grundfertigkeiten des Schwimmtauchers	175
6.3.6	Mögliche Havariesituationen und Funktionsstörungen beim Tauchen mit Schwimmtaucherausrüstung	184
7	Ausbildungskonzepte	187
7.1	Ausbildung von Tauchern in Hilfeleistungsunternehmen	187
7.2	Ausbildungsformen	189
7.2.1	Basisausbildung	190
7.2.2	Überregionale Ausbildungen	190
7.2.3	Spezialausbildungen auf Bundesebene	195

8 Autoren	197
9 Bildnachweis	199

Lizenz

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported License, see <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

Kapitel 1

Aufgaben und die Pflichten der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen

1.1 Die Aufgaben des Tauchdienstes im Rahmen der Hilfeleistungsunternehmen

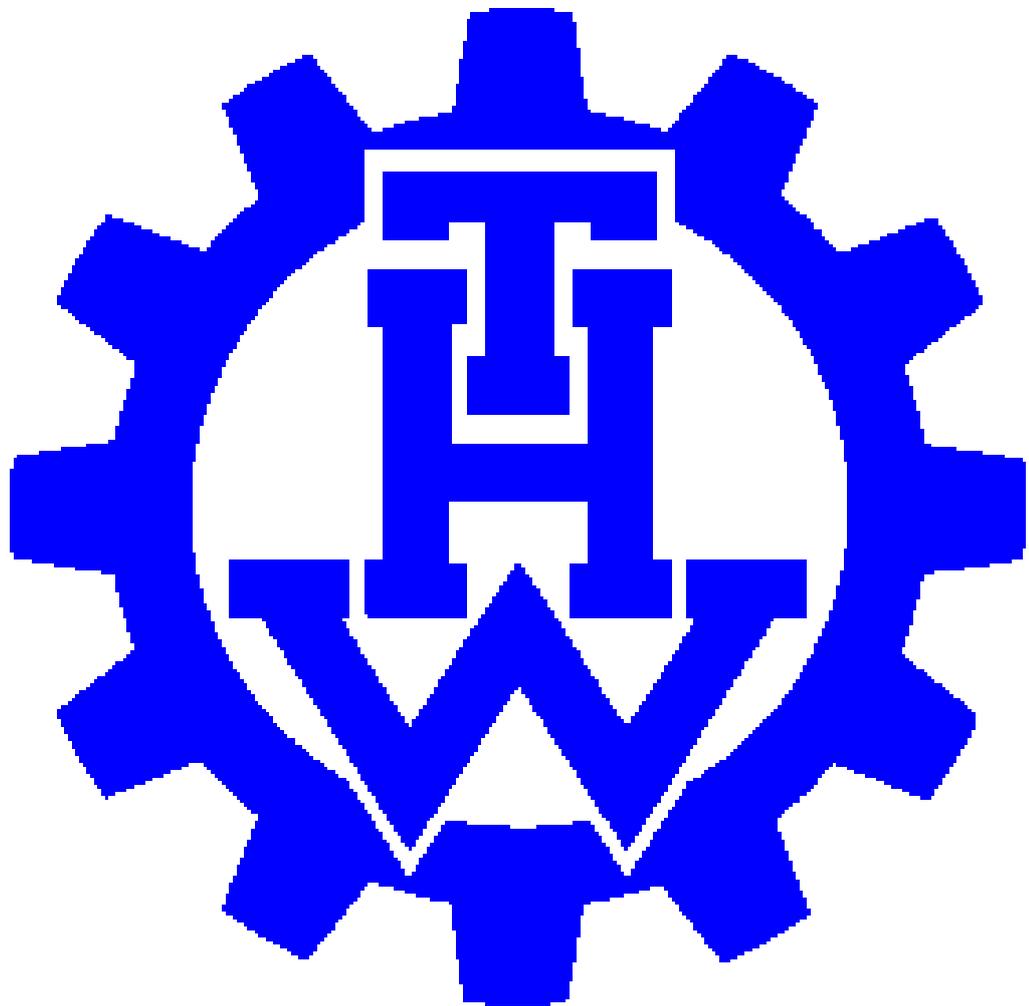


Abbildung 1: Technisches Hilfswerk



Abbildung 2: Deutsche Lebensrettungsgesellschaft



Abbildung 3: Wasserwacht des Deutschen Roten Kreuzes

Insgesamt ist die Sicherstellung der Tauchdienstes in Hilfeleistungsunternehmen ein Komplex von Maßnahmen, der das Ziel hat, die gestellten Aufgaben des Hilfeleistungsunternehmens schnell und erfolgreich und unter minimalen personellen, technischen und finanziellen Aufwand zu erfüllen.

1.1.1 Die allgemeinen Aufgaben des Tauchdienstes

Der Tauchdienst rettet Menschen und Tiere und birgt Sachwerte aus Gefahrenlagen. Er führt Sicherungsarbeiten an Schadenstellen durch, leistet Such- und Räumarbeiten. Die Tauchergruppen unterstützen technisch und personell andere Fachdienste bei der Erfüllung ihrer Aufgaben und werden von ihnen unterstützt.

Die Aufgaben von Tauchern in Hilfeleistungsunternehmen:

- erkundet Schadenlagen;
- ortet Vermißte und Eingeschlossene;
- rettet Vermißte und Eingeschlossene und leistet dabei „Erste Hilfe“;
- führt Sicherungsarbeiten durch;
- rettet Tiere und birgt Sachwerte und transportiert diese aus Gefahrenbereichen;
- birgt Leichen und Kadaver;
- bekämpft besondere Gefahren (z.B. bei Hochwasser);
- leistet Arbeiten bei Uferbefestigungen, Damm- und Deichsicherung;
- beräumt Schadenstellen zur Beseitigung anhaltender Störungen.

1.1.2 Spezielle Aufgaben der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen

Immer wieder ergeben sich an Gewässern Probleme, für deren Lösung der Einsatz von Tauchern notwendig ist.

Spezielle Aufgaben des Tauchdienstes können deshalb folgende sein:

- Aufklärung unter Wasser und Inspektionen von Wasserbauwerken und Fahrzeugen sowie die dazugehörige Dokumentation (UW-Foto / Video).

Vom Ausbildungsstand her und hinsichtlich ihrer Ausrüstung ist eine Tauchergruppe aber auch in der Lage, Aufgaben der Aufklärung eines Gewässers und einfache Bergungen selbständig zu lösen.

- Tauchermäßige Sicherstellung der Arbeiten anderer Einheiten der [Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben](#) (BOS).

- Berge- und Räumarbeiten unter Wasser. Die Räumarbeiten können zur Verbesserung der Übersetzmöglichkeiten oder eines Brückenschlags erfolgen, es ist aber auch möglich, daß Räumarbeiten im Fahrwasser im Interesse der Schifffahrt durchgeführt werden.
- Deichsicherungsaufgaben im Zusammenhang mit Hochwassergefahren, wie z.B. das Aufbringen von Folien an durchweichenden Deichabschnitten.
- Lösen von Sonderaufgaben. Sollen den Tauchergruppen der Hilfeleistungsunternehmen Sonderaufgaben übertragen werden, so müssen deren Möglichkeiten berücksichtigt werden. Das trifft auf die Ausrüstung, auf die Fähigkeiten und die Fertigkeiten der Taucher zu. Komplizierte Sonderaufgaben müssen durch eine vorausgehende Spezialausbildung (z.B. Sprengen unter Wasser, Tauchen in gedeckten Räumen oder Brennschneidarbeiten) vorbereitet werden.

1.2 Einbindung von Tauchergruppen in Hilfeleistungsunternehmen

1.2.1 Einsatztaktik

Eine Tauchergruppe hat die Aufgabe, Maßnahmen am, auf und im Wasser sicherzustellen und durchzuführen, die zur Rettung von Menschen und Tieren, sowie Bergung und Sicherung von Sachwerten erforderlich sind. Dabei leistet sie insbesondere technische Arbeiten zur Minimierung von Gefahren und Schäden durch Gegenstände im Gewässer und durch Überflutungen und wirkt bei der Damm- und Deichsicherung mit. Bei Sprengarbeiten unter Wasser unterstützen die Taucher die Sprengberechtigten.

Tauchergruppen sollten mit einem geländegängigen LKW mit Kofferaufbau ausgerüstet sein. Er sollte durch seine Größe und seine geländegängige Ausführung in der Lage sein, insbesondere bei Hochwassereinsätzen oder schwierigem Gelände die Tauchergruppe ans Wasser zu bringen, leicht überflutetes Gelände zu überwinden und die gesamte Taucherausrüstung sicher zu transportieren sowie übersichtlich und schnell erreichbar zu lagern. Außerdem ermöglicht der mit Standheizung ausgestattete Kofferaufbau, daß sich die Taucher schon während der Anfahrt einsatzbereit machen können.

Mit Hilfe einer im Fahrgestell eingebauten hydraulischen Seilwinde mit mindestens 10 t Zugkraft und den zur Ausstattung gehörenden Hebesäcken, kann die Tauchergruppe auch allein leichte Bergeaufgaben erfüllen.

Ist eine Tauchergruppe nicht mit diesen Möglichkeiten des LKW ausgestattet, muß sie im allgemeinen Einsatz von anderen Bergekräften der Feuerwehr oder des THW Unterstützung bekommen. Die gilt insbesondere bei schweren Bergeaufgaben oder durch Gestellung von Beleuchtung auch bei Nachteinsätzen.

Die Tauchergruppe ist mindestens mit einem Mehrzweckboot (z.B. RuSB mit Taucherleiter) oder einem Schlauchboot mit fester Unterschale und Antrieb durch Außenbordmotor (Aubo) ausgerüstet. Die Tragfähigkeit des Bootes sollte 1 t nicht unterschreiten.

1.2.2 Schnittstellen

Taktisch- / technische Schnittstellen

Die Tauchergruppen in Hilfeleistungsunternehmen sind (ausstattungs- und lageabhängig) angewiesen auf:

- Transportkapazität für zusätzliche Ausstattung (Boot, Werkzeug, Ölsperren)
- Gestellung von Bohr-/Aufbrechgeräten mit Kompressor
- Personal für Boot, Ölsperren
- Beleuchtungskomponenten
- Einsatzleitung, -abschnittsleitung, Führungsstellen (FüSt)

Insbesondere die örtliche Feuerwehren, die Bergungsgruppen und die Fachgruppe Wassergefahren des THW können bei Tauchereinsätzen unterstützend wirken.

Je nach Einsatzlage besteht Unterstützungsbedarf z.B. mit Beleuchtung (Arbeiten bei Nacht), Booten, Logistik (Verbrauchsgüter, Verpflegung), Führung und Kommunikation (Koordinierung mit Polizei, Feuerwehr, etc.).

weitere Schnittstellen

Die Tauchergruppen können weitere Schnittstellen haben:

- zur Feuerwehr, für Ölsperren

- zur Polizei, Ordnungsmaßnahmen
- zum Bundesgrenzschutz, zum Bundeskriminalamt, zu den Landeskriminalämtern, zu der Bundeswehr, zu den Spezialeinsatzkommandos der Länder und des Bundes und den Kampfmittelräumdiensten der Länder bei Ausbildung und Unterstützung.

Die Tauchergruppen übernehmen auf Anforderung der Feuerwehr, Polizei und anderer Hilfsorganisationen Sicherungs-, Such- und Bergeaufgaben. Für Kommunen beseitigt sie Gefahren aus Gewässern. Für Schifffahrtsbehörden, Deichverbände und Landesumweltämter erfolgt bei extremen Hochwassern die Sicherung von Dämmen oder Deichen, ferner die Beseitigung von Gefahren in Fahrwassern und Einlässen sowie die Ausführung von Unterwassersprengungen.

1.3 Struktur und Ausstattung von Tauchergruppen in Hilfeleistungsunternehmen

1.3.1 Funktions- und Personalübersicht

Funktion	Zusatzfunktion	Anzahl
Gruppenführer	<ul style="list-style-type: none">• Tauchereinsatzleiter,• Taucherausbilder,• Befähigung „Sprengen unter Wasser“,• UW-Brennschneiden,• Helmtauchen,• Bootsführer	1

Truppführer	<ul style="list-style-type: none"> • 2 x Tauchereinsatzleiter • 1 x Taucherausbilder • 2 x Befähigung „Sprengen unter Wasser“ , • UW-Brennschneiden, • Helmtauchen • 2 x Bootsführer 	2
Taucher	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x Taucher mit Befähigung „Sprengen unter Wasser“ , UW-Brennschneiden, Helmtauchen 	4
Signalmann/Taucherhelfer	<ul style="list-style-type: none"> • 2 x Signalmann • 2 x Sanitätshelfer 	2
Zusatzpersonal	<ul style="list-style-type: none"> • 2 x Bootsführer / Sprechfunker • 2 x Kraftfahrer / Atemschutzgerätewart / Sprechfunker 	2

1.3.2 Die Pflichten der Taucher (Funktionsbeschreibung)

Die besonderen Pflichten der Angehörigen des Tauchdienstes in Hilfeleistungsunternehmen sind in der GUV R 2101 (Tauchen in Hilfeleistungsunternehmen) enthalten. Des Weiteren können weitere Pflichten und Funktionen in speziellen Vorschriften der Hilfeleistungsunternehmen geregelt sein.

Die nicht taucherspezifischen Aufgaben und Pflichten wie Sprechfunker, Sanitätshelfer, Bootsführer und Kraftfahrer entsprechen den jeweiligen Funktionsbeschreibungen der Hilfeleistungsunternehmen und BOS.

Der Tauchergruppenführer

Der Tauchergruppenführer ist der unmittelbare Vorgesetzte aller Angehörigen der Tauchergruppe.

Er ist verpflichtet:

- die Verantwortung, die Pflichten und die Rechte als Vorgesetzter einer Tauchergruppe zu kennen und seine Aufgaben schöpferisch, initiativreich und in hoher Qualität zu erfüllen;
- die geltenden Bestimmungen für den Tauchdienst im Hilfeleistungsunternehmen, insbesondere die GUV R 2101 (Tauchen in Hilfeleistungsunternehmen), zu kennen, einzuhalten und bei seinen Unterstellten durchzusetzen;
- ständig bemüht zu sein das Wissen und Können als Vorgesetzter einer Tauchereinheit allseitig zu vervollkommen, um stets in der Lage zu sein, Tauchereinsätze zu leiten;
- die Fähigkeiten und Fertigkeiten der ihm unterstellten Taucher zu vervollkommen;
- die Truppführer seiner Gruppe zu befähigen, die Ausbildung durchzuführen und ihn als Tauchergruppenführer zu vertreten;
- den Bestand und den Zustand der Fahrzeugtechnik und der allgemeinen Ausrüstung, der Technik und der Taucherausrüstung der Tauchergruppe zu kennen, periodisch zu überprüfen und für ihre Einsatzbereitschaft sowie ordnungsgemäße Nutzung, Instandsetzung und Lagerung zu sorgen;
- die ständige Einsatzbereitschaft seiner Tauchergruppe zu gewährleisten.

Der Truppführer im Tauchdienst

Der Truppführer einer Tauchergruppe ist der Stellvertreter des Tauchergruppenführers und diesem unterstellt. Bei Abwesenheit des Tauchergruppenführers ist er der unmittelbare Vorgesetzte aller Angehörigen der Tauchergruppe und hat die Pflichten des Tauchergruppenführers verantwortlich zu erfüllen.

Er ist verpflichtet:

- die Verantwortung, die Pflichten und Rechte als Angehöriger einer Tauchergruppe und die eines Stellvertreters eines Tauchergruppenführers zu kennen

und die entsprechend davon abzuleitenden Aufgaben gewissenhaft zu erfüllen;

- die geltenden Bestimmungen für den Tauchdienst im Hilfeleistungsunternehmen, insbesondere die GUV R 2101 (Tauchen in Hilfeleistungsunternehmen), zu kennen und einzuhalten;
- ständig bemüht zu sein das Wissen und Können als Truppführer einer Tauchergruppe zu vervollkommen, um den Tauchergruppenführer bei der Ausbildung und bei der Führung der Tauchergruppe unterstützen und als Leiter eines Tauchereinsatzes arbeiten zu können;
- den Bestand sowie den Zustand der Fahrzeugtechnik und die Ausrüstung der Tauchergruppe zu kennen und die Angehörigen der Tauchergruppe bei ordnungsgemäßer Nutzung, Instandsetzung und Lagerung der Technik und Ausrüstung anzuleiten;
- jederzeit bereit und in der Lage zu sein, den Tauchergruppenführer zu vertreten und als Vorgesetzter der Tauchergruppe zu handeln.

Der Taucher

Der Taucher ist dem Tauchergruppenführer unmittelbar unterstellt.

Er ist verpflichtet :

- die Verantwortung, die Pflichten und die Rechte als Angehöriger einer Tauchergruppe sowie als Taucher zu kennen und die ihm gestellten Aufgaben gewissenhaft zu erfüllen;
- die gültigen Bestimmungen für den Tauchdienst im Hilfeleistungsunternehmen, insbesondere die GUV R 2101 (Tauchen in Hilfeleistungsunternehmen), zu kennen und einzuhalten;
- alle ihm gestellten Aufgaben in der Ausbildung und bei Tauchereinsätzen schöpferisch und initiativreich zu lösen;
- die Taucherausrüstung ordnungsgemäß zu nutzen sowie im festgelegten Umfang instand zu setzen und stets in einsatzbereitem Zustand zu halten.

Der Signalmann

Der Signalmann ist dem Tauchergruppenführer unmittelbar unterstellt.

Er ist verpflichtet :

- die Verantwortung, die Pflichten und die Rechte als Angehöriger einer Tauchergruppe sowie als Signalmann zu kennen und die ihm gestellten Aufgaben gewissenhaft zu erfüllen;
- die gültigen Bestimmungen für den Tauchdienst im Hilfeleistungsunternehmen, insbesondere die GUV R 2101 (Tauchen in Hilfeleistungsunternehmen), zu kennen und einzuhalten;
- alle gestellten Aufgaben in der Ausbildung und bei Tauchereinsätzen gewissenhaft zu lösen;
- die ihm überantwortete Ausrüstung ordnungsgemäß zu nutzen sowie im festgelegten Umfang instand zu setzen und stets in einsatzbereitem Zustand zu halten.

1.3.3 Materielle Ausstattung

Ausstattung	Menge
LKW mit Kofferaufbau und Seilwinde	1
Bootsanhänger	1
Mehrzweckboot (z.B. RuSB) mit Taucherleiter, inkl. Außenbordmotor	1
Bootsausstattung	1
Seile, Ketten, Anschlagmittel	diverse
Unterwassergerätesatz (Druckluftgeräte: Trennschneider, Hammer)	1
Hebesack (mind.1 t)	4
Atemluftkompressor (netzunabhängig)	1
Druckluftflaschen 10-15 l mit Reserveschaltung	8
Ventilbrücken 10-15 l	2
Verlängerungssatz Doppelgerät	2
Vollmasken/Taucherhelme, inkl. UW-Kommunikation	4
UW-Kommunikation Landstation	1
ABC-Ausrüstung	4

Trockentauchanzug, inkl. Handschuhe (trocken), Kopfhaube und Gewichtsgurt	4
Unterziehkombinationen	4
Rettungs- und Tarmittel, inkl. Tragvorrichtung	4
Führungs-, Sicherheits- und Orientierungsmittel	4
Signalleinen nach GUV-R 2101	4
Grundtaue nach GUV-R 2101	4
Laufleinen nach GUV-R 2101	8
UW-Leuchte	4
Lungenautomaten mit optischer Reservewarneinrichtung	4
Stromerzeuger-Aggregat 3 kVA, 230 V, tragbar	1
Flutlichtleuchtersatz 1 kW	2
Energieverteilersatz 16 A	2
Sanitätshelferausstattung, inkl. O2-Koffer	2
Sprechfunkgerätesatz, Vielkanal, 4 m-Band	1
Sprechfunkgeräte, Vielkanal, 2 m-Band	3
Werkstattausstattung (Holz- und Metallbearbeitung)	1
frei	

Kapitel 2

Entwicklung des Tauchens

2.1 Die Anfänge des Tauchens

Die Entwicklung von Seefahrt und Handel, der Bau von Häfen und das Streben nach Macht und Reichtum waren Voraussetzungen und Triebkräfte dafür, das Tauchen zu entwickeln. Wirtschaftliche und militärische Aspekte des Tauchens spielten dabei eine Rolle ([Zeittafel Tauchen](#)).

Die Aufgaben der Taucher bestanden und bestehen prinzipiell in der Besichtigung und Schadenbeseitigung an Unterwasserkörpern von Schiffen, in der Reparatur von Unterwasseranlagen und im Suchen und Bergen gesunkener Gegenstände.

Bekannt ist, daß bereits im Altertum Taucher versuchten, die Tauchzeit zu verlängern. Dazu dienten kleine mit Luft gefüllte Ledersacke, die mit in die Tiefe genommen wurden. Die Tauchzeitverlängerung war jedoch unbedeutend.

Es wird auch berichtet, daß Taucher im Altertum für militärische Zwecke eingesetzt worden sind. Diese Taucher haben einen aus Schilfrohr gefertigten Schnorchel als Tauchergerät benutzt.

In jedem Falle war das berufliche Tauchen in seinen Anfängen schwerste, physische Arbeit mit einem hohen Verschleiß der Gesundheit. Frühzeitiges Altern, Siechtum und geringe Lebenserwartung waren die unmittelbaren Folgen.

2.2 Die Einführung der Taucherglocke



Abbildung 4: Taucherglocke

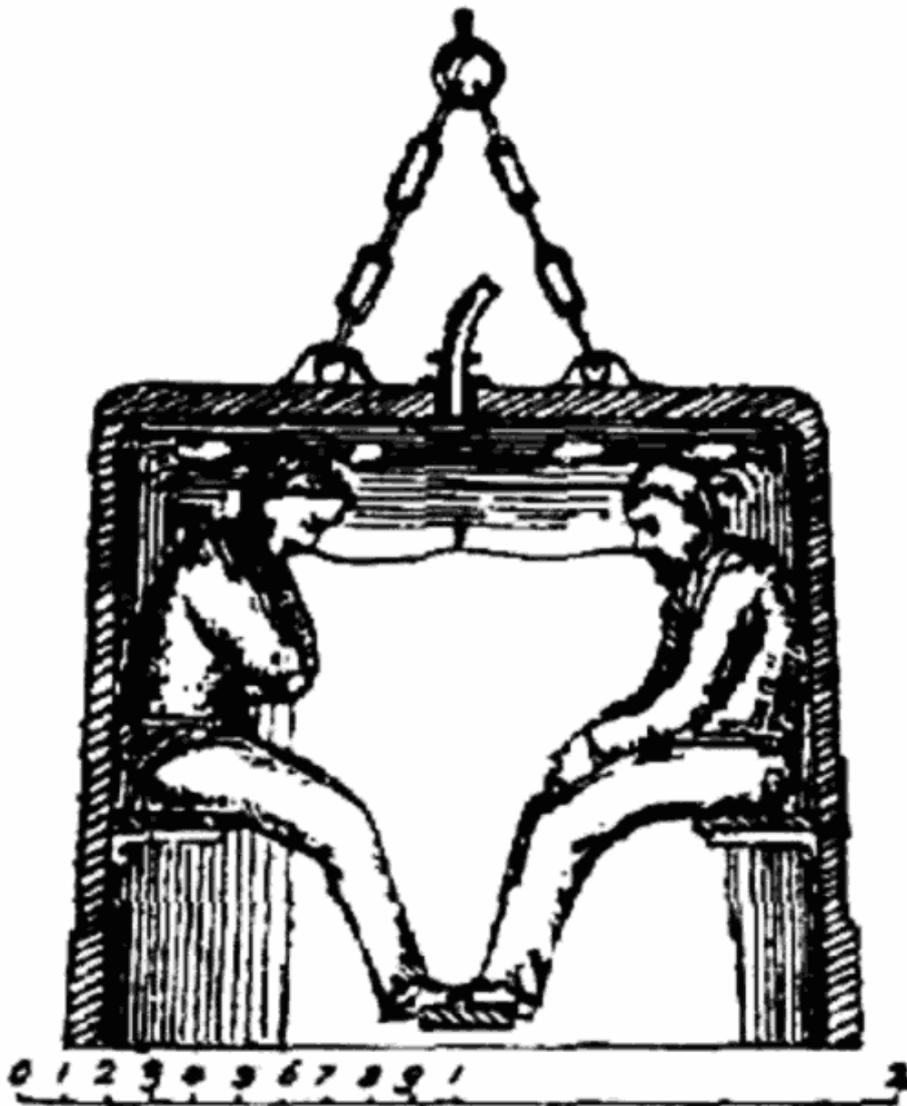


Fig. 1. Taucherglocke.

Abbildung 5

Die 1662 in England entwickelte hölzerne [Taucherglocke](#) gestattete die für damalige Verhältnisse beträchtliche Tauchzeit von 30 Minuten.

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts hatten Taucherglocken insbesondere für Hafenaubau eine große praktische Bedeutung.

Die klassische Taucherglocke hat jedoch den großen Nachteil, daß sie relativ unbeweglich ist. Für kurzzeitige Unterwasseraufenthalte, für Unterwasserbesichtigungen und für Arbeiten, die eine hohe Beweglichkeit fordern, ist der klassische Freitaucher überlegen. Aus der Taucherglocke wurden die Taucherschächte beziehungsweise Senkkästen (französisch: Caisson) für den Einsatz bei Unterwasserbauten entwickelt.

Heute wird die Taucherglocke von Taucher- und Rettungsschiffen aus zur Sicherung der unter Wasser arbeitenden Taucher eingesetzt.

2.3 Der Skaphander

Der **Skaphander** (skaphos, engl. Hohlkörper; andros, griech. Mann) wurde unmittelbar von der Taucherglocke abgeleitet.

Das erste Schlauchtauchergerät wurde im Jahre 1797 konstruiert und erprobt. Dieses Tauchergerät, das bereits als Skaphander angesprochen werden kann, bestand aus einem metallischen Hohlkörper, der Kopf und Brustkorb umgab, und einem den unteren Körperteil umhüllenden wasserdichten Gewebe. Zwei Lederschläuche, die mit Ein- und Ausatemventil versehen waren, sollten die Atmung des Tauchers gewährleisten. Infolge erheblicher technischer Mängel und der Unkenntnis, einfacher physiologischer Zusammenhänge setzte sich diese Ausrüstung nicht durch. Der technische Aufwand dieser Ausrüstung war für die damalige Zeit viel zu hoch.

Erst Anfang des 19. Jahrhunderts wurden Tauchapparate eingeführt, die als unmittelbare Vorläufer des zum Teil noch heute gebräuchlichen schweren Schlauchtauchergeräts gelten. Zu diesen Konstruktionen gehörte ein Kupferhelm, der mit einer durch ein Metallgitter geschützten Glasscheibe versehen war. Dieser Helm lag auf den Schultern des Tauchers und wurde mit einer Metallschiene bzw. einem Gurtzeug am Körper festgehalten. Ein wasserundurchlässiger Taucheranzug schützte vor Auskühlung. Die Atemluft wurde über einen Schlauch mit Hilfe einer Handpumpe zugeführt. Die überschüssige Luft sprudelte aus der unteren Öffnung des Kupferhelms frei ins Wasser. Diese Ausrüstung fand eine breite Anwendung. Bei einigen Sport- und Berufstauchern hat sich diese Art der Atemluftversorgung des Tauchers bis auf den heutigen Tag erhalten.



Abbildung 6: Skaphander

Später wurde der Kupferhelm durch die Einführung des Schulterstücks und durch Schraubverbindungen mit dem wasserundurchlässigen Taucheranzug fest und wasserdicht verbunden.

Diese schwere Schlauchtaucherausrüstung hat sich bis auf den heutigen Tag erhalten; sie erfreut sich trotz einiger wesentlicher Mängel großer Beliebtheit und praktischer Nützlichkeit. 1912 wurde der erste autonome, schlauchlose Skaphander in die Taucherpraxis eingeführt. Bei diesen Tauchergeräten wird die Atemluft durch eine [Injektor](#)vorrichtung umgewälzt und mit Hilfe von Atemkalk regeneriert.



Abbildung 7: Helmtaucher (historisch)

Seit 1948 ist eine Spezialausführung des Skaphanders mit Kupferhelm und wasserdichtem Anzug bekannt ([Helmtauchgerät](#)). Diese Ausrüstung gestattet mit Helium-Stickstoff-Sauerstoffgemischen Tauchgänge bis zu 200 m Wassertiefe.

2.4 Die Entwicklung von Schwimmtauchergeräten

Bereits 1865 wurde ein kleines autonomes Tauchergerät, das aus einem „Lufttor-nister“ mit komprimierter Atemluft und einem selbsttätig wirkenden Druckregulator sowie einem Atemschlauch bestand, in die Taucherpraxis eingeführt. Dieses Gerät kann als Vorläufer unseres heutigen Drucklufttauchergeräts angesehen werden.

Aber erst mit der Entwicklung von [Tauchrettern](#) für Unterseeboote wurde es möglich, daß sich Taucher ohne Schlauchverbindung zur Wasseroberfläche und ohne schwere, behindernde Ausrüstung längere Zeit autonom unter Wasser aufhalten konnten. Bei diesen Geräten handelte es sich um Sauerstoffatemgeräte mit Atemgasregeneration. In vielen Ländern wurden Tauchretter bzw. Sauerstoffgeräte mit Atemgasregeneration entwickelt und in die Praxis eingeführt. Aus den Dräger-Tauchretter- und –Kreislaufgeräten mit Atemgasregeneration wurden die ersten Schwimmtauchergeräte abgeleitet.

In der Sowjetunion wurde 1932 sowohl für Rettungs- als auch für Arbeitszwecke ein Sauerstoff-Kreislauf-Tauchergerät entwickelt (Typ „EPRON“). Dieses Gerät war der Vorläufer der bekannten Geräte vom Typ ISA-M und IDA, welche sich heute wegen ihrer einfachen Handhabung, hohen Zuverlässigkeit und preiswerten Unterhaltung im [Rebreather](#)-Sporttaucherbereich größter Beliebtheit erfreuen.

Auch kleine Druckluftatmer wurden in der Sowjetunion das erste Mal in die Praxis eingeführt. Bei diesen Geräten handelte es sich um eine Weiterentwicklung der Japanischen Tauchermaske, mit der in Japan bereits zwischen 1920 und 1930 Wassertiefen bis zu 100 m erreicht wurden. Dieses leichte Druckluftgerät wurde als Reedetauchermaske bekannt. Bis zur Einführung der [Sauerstoffkreislaufgeräte](#) war dieses Gerät das bekannteste Leichttauchergerät für Arbeitszwecke. Die Atemluft wurde über einen Ventilmechanismus einer Halbmaske zugeführt, die in ihren Abmessungen sehr an die heute gebräuchlichen Taucherhalbmasken erinnert. Die Einatmung erfolgte über die Nase und die Ausatmung über den Mund. Der Ventilmechanismus wurde durch Aufbeißen mit den Zähnen in Gang gesetzt. Mit dieser Tauchermaske konnten also nur Taucher mit sehr guter Nasenatmung tauchen.

1942 konstruierten E. Gagnan und J. Y. Cousteau aus einem Luftregler eines Automotors einen **Lungenautomaten**. Seine Kombination mit einer Hochdruck-Druckluftflasche ergab das erste moderne Drucklufttauchergerät.

Mit dem Lungenautomaten, mit Schwimmflossen, Taucherhalbmaske und Schnorchel war der Entwicklung des **Tauchsports** der Weg geebnet. Der Taucher begann sich wie ein Fisch im Wasser zu bewegen. Luft oder Sauerstoff kann der Taucher nun in großer Menge mit sich führen. Die Fortbewegung der Taucher ist durch die Gummiflossen gewährleistet. Moderne autonome Druckluft- oder Sauerstoffgeräte erlauben eine Tauchzeit von 2 bis 4 Stunden.

Schwimmtaucher wurden erstmalig im zweiten Weltkrieg von allen kriegführenden Parteien eingesetzt. In Italien war es die 10. Flottille MAS, die Kampfschwimmergruppen ausbildete und einsetzte. In der englischen Marine wurden Freiwillige „für gefährvollen Sonderdienst“ als Froschmänner ausgebildet und eingesetzt. Die deutsche Kriegsmarine bildete seit 1943 Kampfschwimmer aus. Auch in der sowjetischen Seekriegsflotte wurden während des zweiten Weltkrieges Kampfschwimmerabteilungen geschaffen.

Kampfschwimmer waren meist mit Sauerstofftauchergeräten ausgerüstet. Nach dem zweiten Weltkrieg wurden Schwimmtaucher in großen Gruppen als Unterwasserspreng- und Bergekommandos eingesetzt. Dabei wurden alle damals bekannten Arten von Taucherausrüstungen benutzt.

Seit Mitte der fünfziger Jahre wurden in vielen Ländern Taucherausrüstungen für mittlere Tiefen eingesetzt (10 bis 40 m), die trotz langer Tauchzeit ein relativ kurzes Austausch gestatten. Bei diesen Geräten wird der Atemdruckluft zusätzlich Sauerstoff (**Nitrox**) beigemischt, oder es werden von vornherein fertige Luft-Sauerstoffgemische von den Schwimmtauchern mitgeführt.

Schwimmtaucher erlangten nicht nur in vielen Armeen und Seekriegsflotten eine große Bedeutung. Auch in Zuständigkeit des Rettungs- und Bergungswesens oder der Industrie gewann das Tauchen an immer größerer Bedeutung.

2.5 Die Entwicklung des Tauchens im Hilfeleistungsunternehmen

2.5.1 Entwicklung des Tauchens in der Deutschen Lebensrettungsgesellschaft

Prädestinierter Co-Autor aus dem Bereich der DLRG gesucht!

2.5.2 Entwicklung des Tauchens im Technischen Hilfswerk

Prädestinierter Co-Autor aus dem Bereich des THW gesucht!

Taucher der Technischen Nothilfe

Tauchen im THW

2.5.3 Entwicklung des Tauchens in der Wasserwacht

Prädestinierter Co-Autor aus dem Bereich der Wasserwacht gesucht!

Kapitel 3

Grundlagen des Tauchens

Der Aufbau und die Funktionsweise des menschlichen Organismus lassen erkennen, dass das Tauchen ein für den Menschen unnatürlicher Aufenthalt in einer fremden, für das Funktionieren einzelner Organe sogar feindlichen Umwelt ist. Es sind vor allem das Fehlen von Sauerstoff in einer für die Lungenatmung nutzbaren Form, die besonderen Druckverhältnisse mit rapiden Druckänderungen bei sich ändernder Wassertiefe und die Kälte, verbunden mit einer der Luft gegenüber vielfach größeren Wärmeleitfähigkeit, die dem Taucher im Wasser entgegentreten. Die Existenzbedingungen im Wasser erfordern also stets eine Anpassung des menschlichen Organismus an das flüssige Medium in vielfältiger Art und Weise, die ihrerseits Kenntnisse über die wichtigsten physikalischen Gesetze und typischen physiologischen Besonderheiten bei seinem Unterwasseraufenthalt voraussetzen.

Sieht man vom sportlichen [Freitauchen](#) mit angehaltenem Atem und dadurch bedingt kurzer Tauchzeit ab, so setzt das Tauchen heute eine Vielzahl technischer Mittel voraus. Aber die physikalischen Gesetzmäßigkeiten und die taucherphysiologischen Erscheinungen unter hydrostatischen Druckbedingungen sind nicht nur für die Entwicklung der Taucherausrüstung von Bedeutung, vielmehr müssen sie zur Gewährleistung von Erfolg und Effektivität bei Taucherarbeiten und im Interesse der Erhaltung von Gesundheit und Leben von allen Tauchern und bei jedem Tauchgang beachtet werden.

Das Ziel der Vermittlung von physikalischen und physiologischen Grundlagen des Tauchens muß deshalb darin bestehen, die für das Tauchen bedeutungsvollsten Naturgesetze und anatomisch-physiologischen Zusammenhänge praxisbezogen darzustellen. Dabei gilt es, bei den angehenden Signalmännern und Tauchern die Fähigkeit zu entwickeln, die physikalischen sowie biologischen Gesetzmäßig-

keiten nutzbringend anzuwenden und Fehlverhalten beim Tauchen, das meist im mangelndem Wissen um die technisch-physiologischen Zusammenhänge begründet ist, zu vermeiden.

3.1 Physikalische Grundlagen des Tauchens

Als physikalische Grundlagen des Tauchens sind in diesem Abschnitt einige benötigte physikalische Gesetze zusammengefaßt. Für das Verständnis der dargestellten Gesetzmäßigkeiten wird hier die Konvention eingegangen, dass Zahlenwerte stark gerundet werden, was in der Regel auch dem Vorgehen in der Praxis entspricht.

3.1.1 Der Druck

Der Druck ist eine für Flüssigkeiten und Gase typische Größe. Diese Tatsache und der Umstand, dass beim Tauchen der Druck eine große Rolle spielt, erfordern eine Erläuterung und einen Überblick über die im Tauchdienst am meisten benutzte Maßeinheit des Drucks.

Der Druck entsteht durch die eigene Schwere der Flüssigkeiten bzw. Gase. Druck wird aber auch durch andere Naturgesetze, z. B. innerhalb biologischer Prozesse, verursacht und läßt sich außerdem technisch erzeugen.

Der durch die eigene Schwere begründete Druck hängt u.a. von der Dichte des Stoffes ab. Er weist demnach in Flüssigkeiten größere Werte auf als in Gasen und ist bei letzteren erst bei einer extrem hohen Gassäule, wie bei der gewaltigen Luftschicht über der Erdoberfläche, von Bedeutung.

In der Natur sind der Druck und insbesondere die Druckdifferenzen, die teilweise unmeßbar kleine Werte annehmen, für zahlreiche Lebensprozesse eine Voraussetzung. Im Bereich der Technik ist man sowohl in der Lage, Drücke in gewünschten Größen zu erzeugen, als auch imstande, den Druck vielfältig zu nutzen.

Ausgehend vom Druck durch eigene Schwere läßt sich die Abhängigkeit der physikalischen Größe Druck vom Gewicht des Stoffs, d.h. von der Erdanziehung mit der dadurch hervorgerufenen Kraft einerseits und von der Fläche, auf die diese Kraft einwirkt, andererseits, erkennen. Durch das Gewicht einer Flüssigkeit oder eines Gases, das auf einer bestimmten Fläche lastet, entsteht somit ein Druck.

Die Kraft kann aber auch anders als in Form des Gewichts einer Flüssigkeit oder eines Gases wirken. So ist leicht einzusehen, dass ein, durch hohen Schnee laufender, Wanderer besser **Schneeschuhe** verwendet, da das selbe Gewicht, welches vorher nur auf die Flächen seiner Füße verteilt war, nun mit den Schneeschuhen auf eine größere Fläche verteilt wird, wodurch er nicht mehr so tief einsinkt, weil der Druck den er auf den Schnee ausübt nicht mehr so groß ist.

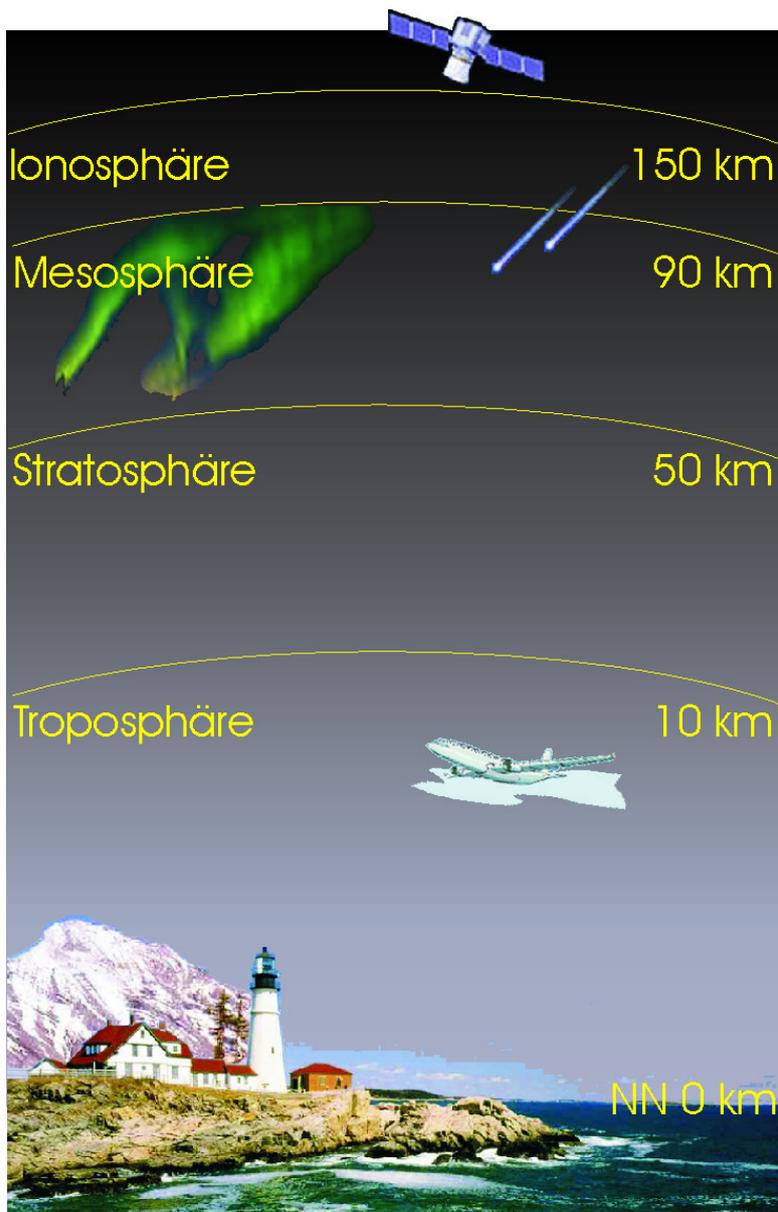


Abbildung 8

Der Druck ist der Quotient aus der Kraft und der senkrecht zur Krafrichtung liegenden Fläche.

$$Druck = \frac{Kraft}{Fläche}$$

$$[p] = \frac{[F]}{[A]} = \frac{N}{cm^2} = bar$$

Im Tauchdienst findet vor allem die SI-Maßeinheit *bar* Anwendung. Andere Maßeinheiten, die für den Druck Anwendung finden sind z.B. Pascal (Pa) im Wetterdienst oder Millimeter Quecksilbersäule (mm Hg) in der Medizin.

Der Luftdruck

Der atmosphärische **Luftdruck** wird durch die Gewichtskraft der über der Erdoberfläche ruhenden Luftsäule bestimmt. Wegen der hohen Kompressibilität der Luft wächst deren Dichte mit zunehmender Bodennähe an. Hieraus ergibt sich, dass der Luftdruck mit zunehmender Höhe nicht gleichmäßig, sondern exponentiell abfällt. Daher läßt sich auch keine klare obere Grenze der Atmosphäre angeben. Im Rahmen der Genauigkeit der, im Tauchdienst verwendeten, Meßgeräte geht man allerdings die Konvention ein, dass der Luftdruck pro 1.000 m um 0,1 bar abnimmt.

Der Luftdruck ändert sich pro 1.000 m Höhenunterschied um 0,1 bar.

Als Bezugspunkt für Angaben über den Luftdruck wird der Meeresspiegel mit der „Höhe über NN“ (Normalnull) angenommen.

Beispiel:

Wenn über NN der Luftdruck 1 bar beträgt, so wird er

- in 3.000 m Höhe mit 0,7 bar,
- in 5.000 m Höhe mit 0,5 bar,
- in 7.500 m Höhe mit 0,25 bar angenommen.

Der Wasserdruck

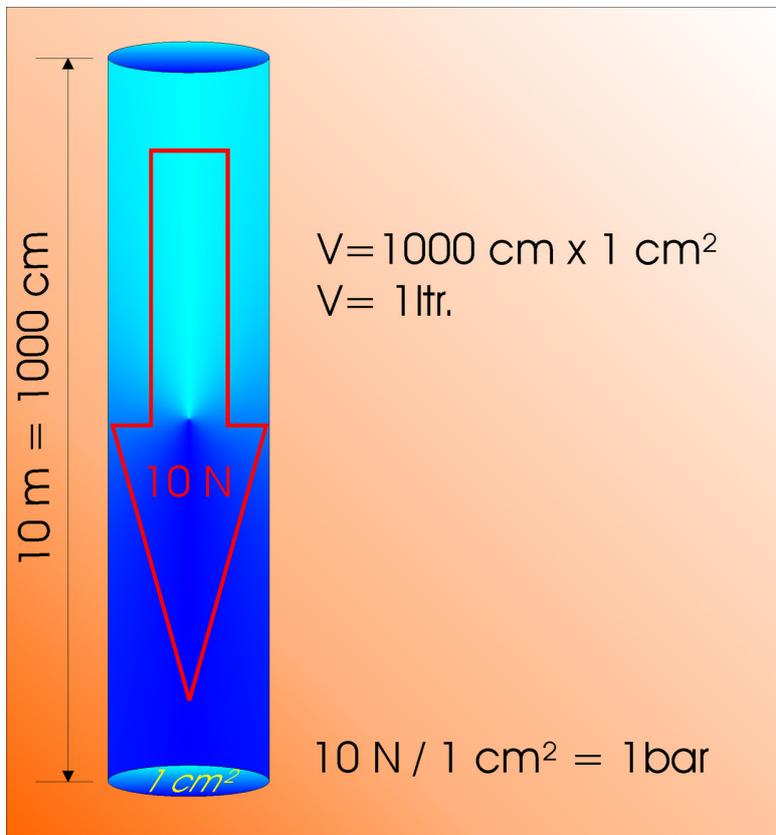


Abbildung 9: Eine Wassersäule von 10m Höhe erzeugt einen Druck von einem Bar

Im Gegensatz zu Gasen lassen sich Flüssigkeiten nur so geringfügig zusammendrücken, dass die Volumenabnahme bei Kompression für den Tauchdienst vernachlässigbar klein ist. Aus diesem Grund ergibt sich, dass der Druck der Wassersäule mit zunehmender Tiefe stetig (relativ linear) zunimmt.

Gedankenexperiment: Ein 10 m langes Kupferrohr, wie es z.B. im Heizungsbau üblich ist, mit einer Querschnittsfläche von 1 cm^2 soll senkrecht stehend mit Wasser gefüllt werden. Wie hoch ist der Druck am unteren Ende des Kupferrohres?

Lösung: Der Rauminhalt des Kupferrohres beträgt

$$V = l \times A = 1000\text{ cm} \times 1\text{ cm}^2 = 1000\text{ cm}^3$$

1.000 cm³ sind genau 1 Liter. Ein Liter Wasser, welches in dieses Rohr gefüllt werden soll, wiegt 1 kg. Eine 1 kg Masse wirkt mit ca. 10 N Gewichtskraft auf die Grundfläche von einem Quadratcentimeter.

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

Eine Wassersäule von 10 m Höhe erzeugt einen Druck von 1 bar, d.h. pro 10 m Wassertiefe nimmt der Druck um 1 bar zu.

Der Umgebungsdruck beim Tauchen

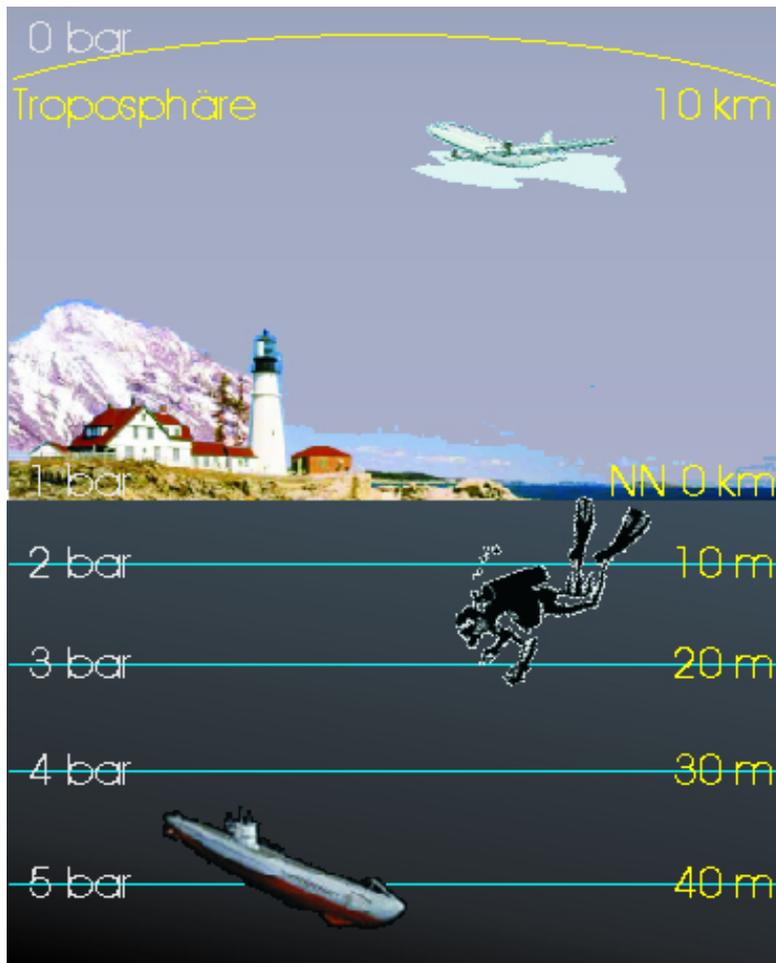


Abbildung 10

Auf der Wassersäule, die in der jeweiligen Tauchtiefe auf dem Taucher lastet, wirkt auch die Luftsäule, welche über der Wassersäule steht. Für die Bestimmung des in der jeweiligen Wassertiefe herrschenden Drucks müssen der Druck der Wassersäule und der Luftsäule addiert werden. Bezeichnet man den Umgebungsdruck in der Tiefe als absoluten Druck (p_{abs}) ergibt sich:

$$\text{Umgebungsdruck} = \text{Wassersäule} + \text{Luftsäule}$$

$$p_{abs} = p_{WS} + p_{LS}$$

Beispiel: Ein Tauchereinsatz soll bei NN in 15 m Wassertiefe durchgeführt werden. Welcher Druck liegt auf dem Taucher?

$$p_{abs} = 1,5\text{bar} + 1\text{bar}$$

$$p_{abs} = 2,5\text{bar}$$

Der Taucher ist einem Gesamtdruck von 2,5 bar ausgesetzt.

Der Druck in einer abgeschlossenen Gasmenge

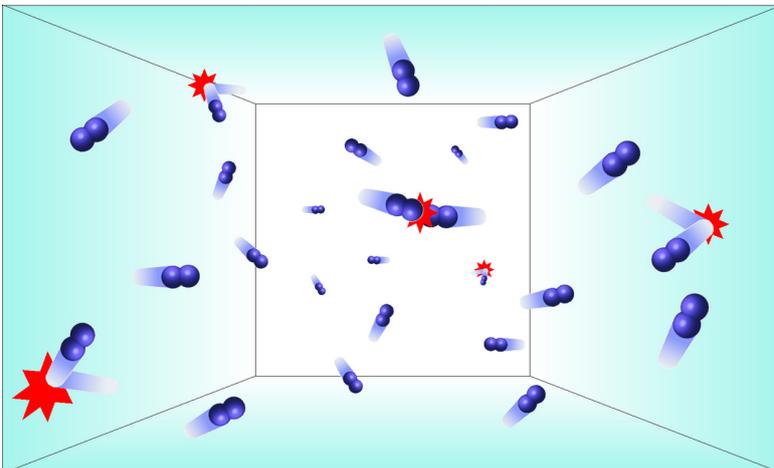


Abbildung 11: Teilchenbewegung in einer abgeschlossenen Gasmenge

Gasteilchen (Moleküle), welche in ein Gefäß (z.B. Druckluftflasche) gefüllt werden, stoßen in Folge ihrer Wärmebewegung auch an die Wandung des Gefäßes.

Diese elastischen Stöße sind aufgrund der Masse der Teilchen in einem realen Gas Krafterwirkungen auf eine Fläche, was der Definition des Drucks entspricht.

Zusammenhänge bei Druckänderungen

Aus der einfachen Vorstellung der Druckentstehung in einer abgeschlossenen Gasmenge heraus, läßt sich leicht eine Aussage über die Zusammenhänge von Druck, Volumen, Dichte und Temperatur einer abgeschlossenen Gasmenge gewinnen. Diese werden auch thermische Zustandsgrößen eines Gases genannt.

Die folgenden Gesetzmäßigkeiten gelten streng nur für **ideale Gase**. Bei idealen Gasen wird vorausgesetzt, dass die Moleküle kein Eigenvolumen besitzen und keine Kräfte zwischen ihnen wirken.

Für reale Gase weichen die zu beobachtenden Werte bei hohen Drücken und niedrigen Temperaturen von diesen Gesetzmäßigkeiten ab.

Druck und Volumen (Gesetz von Boyle-Mariotte)

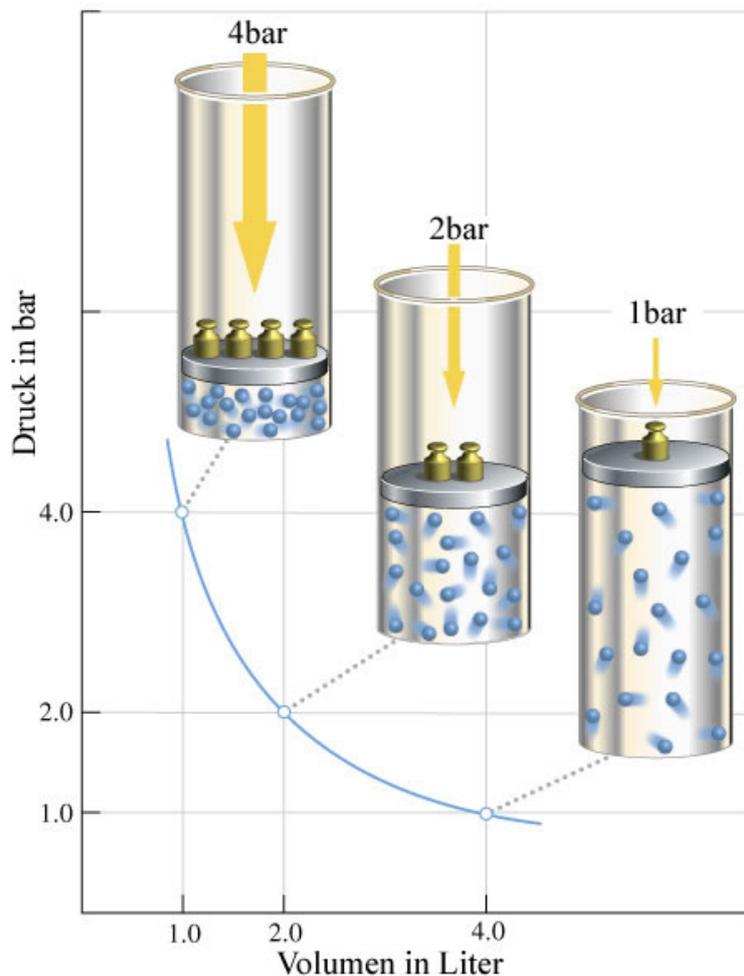


Abbildung 12: Gesetz von Boyle-Mariotte: Doppelter Druck
-> Halbes Volumen

Nimmt man einen mit Gas gefüllten Zylinder, der an einer Seite geschlossen und an der anderen Seite mit einem Kolben versehen ist und bewegt den Kolben ins Innere des Zylinders, so ist leicht einzusehen, dass im selben Verhältnis, wie das Volumen des Gases verringert wird, die Stoßzahl je Fläche und Zeiteinheit und damit der Gasdruck anwächst, da die Gesamtzahl der Moleküle gleich bleibt. Wichtig in dieser Betrachtung ist, dass sich die Temperatur des Gases nicht verändert.

Das Produkt aus Druck und Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge bleibt bei gleichbleibender Temperatur konstant.

$$p \times V = \textit{konstant} \text{ bei } T = \textit{konstant}$$

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

Dieses für den Tauchdienst wichtige Gesetz wurde 1662 durch den englischen Wissenschaftler [Robert Boyle](#) (1627 – 1691) entdeckt und erst 1697 durch den französischen Physiker [Edmé Mariotte](#) (1620 – 1684) veröffentlicht.

Druck und Dichte

Die Dichte eines Stoffes beschreibt die Anzahl der Teilchen auf einen bestimmten Raum. Aus der Betrachtung des Gesetzes von Boyle-Mariotte läßt sich leicht erkennen, dass Druck und Dichte eines Gases, bei konstanter Temperatur, sich zueinander proportional verhalten, da die Masse (Anzahl der Moleküle) des Gases unverändert bleibt.

Druck und Temperatur (Gesetz von Gay-Lussac)

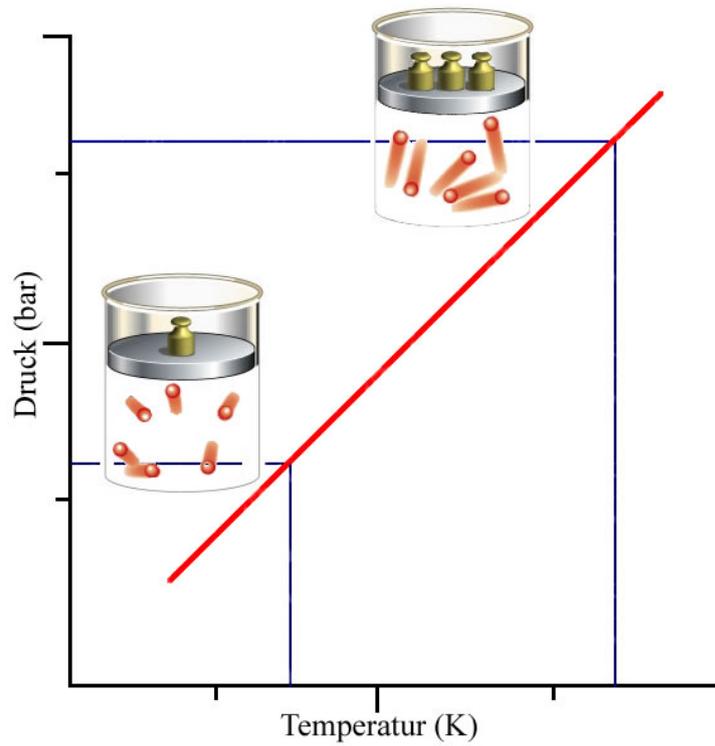


Abbildung 13: Gesetz von Gay-Lussac: Mit zunehmender Temperatur (schnellere Teilchenbewegung) steigt auch der Druck einer abgeschlossenen Gasmenge.

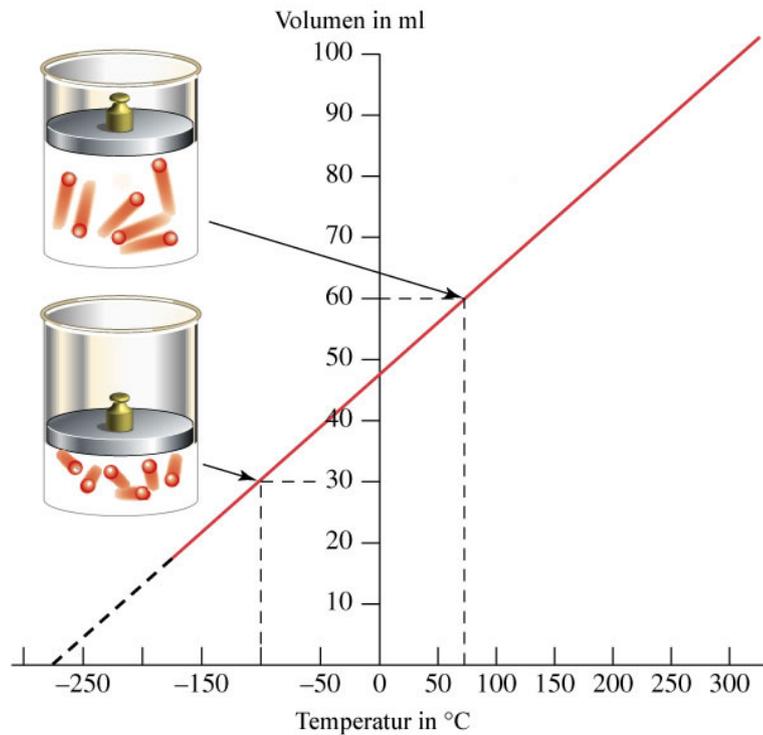


Abbildung 14: Ist das Volumen, wie hier, flexibel, so vergrößert es sich daraufhin.

In den bisherigen Betrachtungen der thermischen Zustandsgrößen des idealen Gases wurde die Temperatur als konstant angenommen. Ist es nun notwendig die Temperatur mit in die Betrachtung einzubeziehen, so ist es auch notwendig auf die Darstellung der Temperatur in technischen Zusammenhängen einzugehen.

Für das Verständnis der Temperatur ist die Skala des schwedischen Astronom Anders Celsius (1701 – 1744), die er um 1742 einführte, auch heute noch von Bedeutung. Celsius legte für seine Skala die drei Aggregatzustände des Wassers bei annähernd 1 bar Luftdruck zugrunde. Nimmt man eine Quecksilbersäule, markiert den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers und teilt den Abstand in 100 gleiche Teile, so erhält man die Celsius-Skala.

Diese Betrachtung der Temperatur ist zwar sehr anschaulich, in technischen Belangen aber nicht verwendbar, da negative Werte z.B. im Zusammenhang mit dem Volumen nicht möglich sind.

So ist es notwendig für die Temperatur eine Skala ohne negative Werte zu verwenden. Der englische Physiker Lord Kelvin of Larges (vorher William Thomas,

1824 – 1907) führte die thermodynamische Temperaturskala ein, die sich auf die Wärmebewegung der Teilchen bezieht.

Kelvin ging davon aus, dass der Wärmezustand eines Stoffes durch die Bewegung seiner Teilchen (z.B. Schwingung in einem Metallgitter oder freie Bewegung von Gasteilchen) dargestellt wird. Kühlt man einen Stoff oder ein Gas soweit ab, dass keine Teilchenbewegung mehr stattfindet, so hat man den absoluten Nullpunkt erreicht, der mit 0 Kelvin (0 K) bezeichnet wird. Der absolute Nullpunkt $T = 0\text{ K}$ liegt bei $-273,15\text{ °C}$, d.h. wird eine Celsius-Temperatur mit 273,15 addiert, so erhält man die Temperaturangabe in Kelvin. Im Tauchdienst ist der Umrechnungsfaktor 273 genau genug.

Läßt man nun im Versuch mit dem gasgefüllten Zylinder aus dem Beispiel in der Druck-Volumen-Betrachtung das Volumen unverändert und beginnt das Gas zu erwärmen, so ist leicht nachzuvollziehen, dass aufgrund der erhöhten Teilchenbewegung in einer Zeiteinheit auch die Stöße an die Wandung des Gefäßes zunehmen, d.h. der Druck steigt. Kühlt man dagegen das Gas bis auf $T = 0\text{ K}$ ab, so sollte wegen der fehlenden Teilchenbewegung kein Gasdruck mehr vorhanden sein.

1802 formulierte der französische Chemiker und Physiker Joseph Louis [Gay-Lussac](#) (1778 - 1850) diese nach ihm benannte Gesetzmäßigkeit. Er sagte, dass sich ein Gas linear mit steigender Temperatur ausdehnt, wenn das Volumen konstant bleibt.

Druck und Temperatur einer abgeschlossenen Gasmenge verhalten sich bei gleichbleibenden Volumen proportional zueinander.

$$\frac{T}{p} = \textit{konstant} \text{ bei } V = \textit{konstant}$$

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

Beispiel: Ein Tauchgerät, welches bei 15 °C mit 200 bar gefüllt sein soll, muß bis zu welchem Druck gefüllt werden, wenn sich die Flasche beim Füllen auf 50 °C erwärmt?

Lösung:

$$T_1 = 50 + 273 = 323\text{ K}$$

$$T_2 = 15 + 273 = 288K$$

$$p_2 = 200bar$$

p_1 ist gesucht.

$$p_1 = \frac{p_2 \times T_1}{T_2}$$

$$p_1 = \frac{200bar \times 323K}{288K}$$

$$p_1 \approx 224bar$$

Da 200 bar-Druckluftflaschen nach der Norm für 200 bar bei 15 °C zugelassen sind, können diese beim Füllen durchaus einen höheren Druck aufweisen.

Die Luft als Gasgemisch (Gesetz von Dalton)

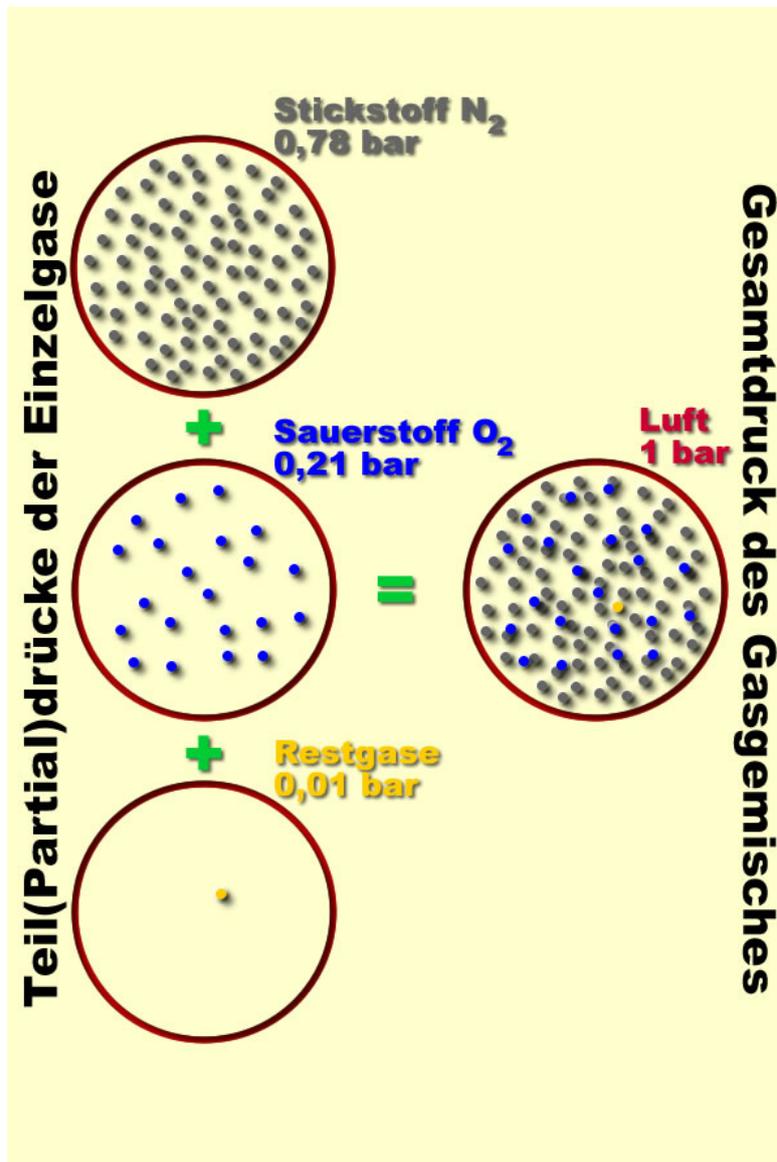


Abbildung 15: Gesetz von Dalton: Der Gesamtdruck eines Gasgemisches, ist gleich der Summe der Teildrücke, der in ihm enthaltenen Partialgase.

Das im Tauchdienst am häufigsten verwendete Atemgas ist die Luft. Luft ist kein reines Gas, sondern ist ein Gemisch aus zahlreichen Gasen.

Die Luft setzt sich aus dem eigentlichen Gasgemisch, dem Wasserdampf und den Beimengungen (besonders Staub, Salzteilchen, Industrieemissionen) zusammen.

Die Hauptbestandteile des Gasgemisches sind die im molekularen Zustand vorhandenen Elemente Stickstoff (78,1%) und Sauerstoff (20,9%). In bedeutend geringerem Maße sind Edelgase (Argon mit über 0,9%, Kohlenstoffdioxid mit 0,03%, Wasserstoff und Stickstoffverbindungen, jeweils weniger als 10-5%) enthalten.

Der Wasserdampfgehalt wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst und ist daher großen Schwankungen unterworfen. Er kann bei Sommertemperaturen bis etwa 4% betragen.

Der Gehalt an Beimengungen ist vom jeweiligen Territorium abhängig. Der Vielfalt der Möglichkeiten wegen ist es unzweckmäßig, qualitative oder quantitative Werte als typisch anzugeben.

Im Tauchdienst wird das Gasgemisch Luft im wesentlichen wie folgend betrachtet:

- 78 % Stickstoff (N_2)
- 21 % Sauerstoff (O_2)
- 1 % Restgase (Edelgase, Kohlenstoffdioxid)

Es wird wohl gerade unter dem Gesichtspunkt der Taucherphysiologie deutlich, dass bei quantitativen Untersuchungen einzelner Komponenten eines Gasgemischs die Angaben in prozentualen Anteilen nur so lange aussagekräftig genug sind, wie der Druck konstant bleibt. Spielen, wie beim Tauchen, Druckschwankungen eine große Rolle, ist eine Untersuchung der, Partialdruckverhältnisse unumgänglich.

Als Partialdruck wird der Druckanteil eines bestimmten Gasanteils innerhalb eines Gasgemischs bezeichnet.

Die Größe des Partialdrucks hängt einzig von der Größe des Anteils ab, mit dem das Gas an der Ausfüllung des dargebotenen Raums beteiligt ist. So ist Sauerstoff ein Gasanteil des Gasgemischs Luft. Durch sein Volumenanteil von 21% ist der Sauerstoffpartialdruck p_{O_2} 21/100 des Gesamtdrucks p_{ges} .

Bei $p_{ges} = 1bar$ ist $p_{O_2} = 0,21bar$, bei $p_{ges} = 2bar$ hingegen ist $p_{O_2} = 0,42bar$. Während der prozentuale Anteil (21%) selbstverständlich gleich bleibt, zeigt der

Partialdruck, dass der Organismus in 10 m Tauchtiefe ein größeres Sauerstoffangebot erfährt.

In einem Gasgemisch ist der Gesamtdruck gleich der Summe der Partialdrücke, die herrschen würden, wenn jede Komponente den dargebotenen Raum allein ausfüllte.

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

$$p_{ges} = \sum_{k=1}^n p_k$$

Dieses Gesetz wurde von dem englischen Wissenschaftler [John Dalton](#) (1766 – 1844) formuliert.

Durch die alleinige Abhängigkeit des Partialdrucks vom Volumenanteil der Gas-komponente (n) verhalten sich beide direkt proportional zueinander:

$$\frac{p_n}{p_{ges}} = \frac{V_n}{V_{ges}}$$

3.1.2 Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten (Gesetz von Henry)

Flüssigkeiten sind in der Lage, Gase physikalisch in sich aufzulösen. Ein Liter Wasser enthält dadurch bei 0 °C und unter atmosphärischen Druckverhältnissen ca. 29 cm³ Luft. Analysiert man die aufgelöste Luft, so zeigt sich, dass ihr Sauerstoffanteil mit 36% höher als normal ist. Das weist auf die Existenz eines für die einzelnen Gase unterschiedlichen Lösungskoeffizienten hin. Erwärmt man das Wasser, so perlt ein Teil der gelösten Luft aus. Wird ein Gas unter Überdruck gelöst, wie es z. B. innerhalb einer Seltersflasche geschieht, entweicht ein Teil davon, sobald man die Flüssigkeit entspannt. Diese Beziehungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten müssen ganz offensichtlich auch beim Tauchen beachtet werden. Sie bestehen in einem Verhältnis zwischen dem Partialdruck des über der Flüssigkeit stehenden Gases mit einem bestimmten Löslichkeitskoeffizienten einerseits und der Gaskonzentration in der Lösung andererseits.

Der englischer Physiker und Chemiker [William Henry](#) (1774 – 1836) formulierte (1803) das Gesetz über die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten wie folgt:

Die Löslichkeit eines Gases in einer Flüssigkeit ist dem Produkt aus Partialdruck und Löslichkeitskoeffizienten des Gases proportional. Der Löslichkeitskoeffizient ist für die einzelnen Gase und die verschiedenen Lösungsmittel immer unterschiedlich und prinzipiell temperaturabhängig.

Für die Lösung eines Gases in einer Flüssigkeit sind also folgende Faktoren von Bedeutung:

- Der Druck des Gases über der Flüssigkeit: Doppelter Druck bedeutet doppelte Menge Gas im Sättigungszustand. Der Sättigungszustand beschreibt, die Situation, in der die Flüssigkeit keine Gasteilchen mehr aufnehmen kann.
- Der Löslichkeitskoeffizient (auch als **Henry-Konstante** bezeichnet) der Flüssigkeit: Verschiedene Flüssigkeiten haben zu bestimmten Gasen unterschiedliche Bindungsfähigkeit (Affinität). So nehmen Fette bis zu sieben mal mehr Stickstoff auf als wässrige Flüssigkeiten.
- Die Temperatur der Flüssigkeit: Je höher die Temperatur einer Flüssigkeit ist, desto schneller ist auch die Teilchenbewegung ihrer Moleküle. Dies hat zur Folge, dass die Gasteilchen nicht mehr so gut in der Lösung gehalten werden können.

Im Tauchdienst müssen aber noch folgende Faktoren beachtet werden:

- Die Zeit, welche die Flüssigkeit dem erhöhtem Gasdruck ausgesetzt ist. Da im Tauchdienst keine Tauchzeiten bis zur vollständigen Sättigung (siehe unter Gassättigung) erreicht werden gilt: Je länger der Taucher dem erhöhtem Druck ausgesetzt ist, desto höher ist auch die Stickstoffkonzentration in seinen Geweben.
- Die Grenzoberfläche zwischen Flüssigkeit und Gas. Werden zwei gleiche Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Oberfläche einem erhöhten Gasdruck ausgesetzt, so wird in der Flüssigkeit mit der größeren Oberfläche der Sättigungszustand schneller erreicht sein.

Gase lösen sich in Flüssigkeiten in Abhängigkeit

- des Gasdruckes über der Flüssigkeit,
- der Einwirkzeit des erhöhten Drucks,
- der Temperatur der Flüssigkeit,
- der Grenzoberfläche zwischen Gas und Flüssigkeit,
- der Affinität der Flüssigkeit gegenüber dem Gas (Löslichkeitskoeffizient).

3.1.3 Das Prinzip des Archimedes

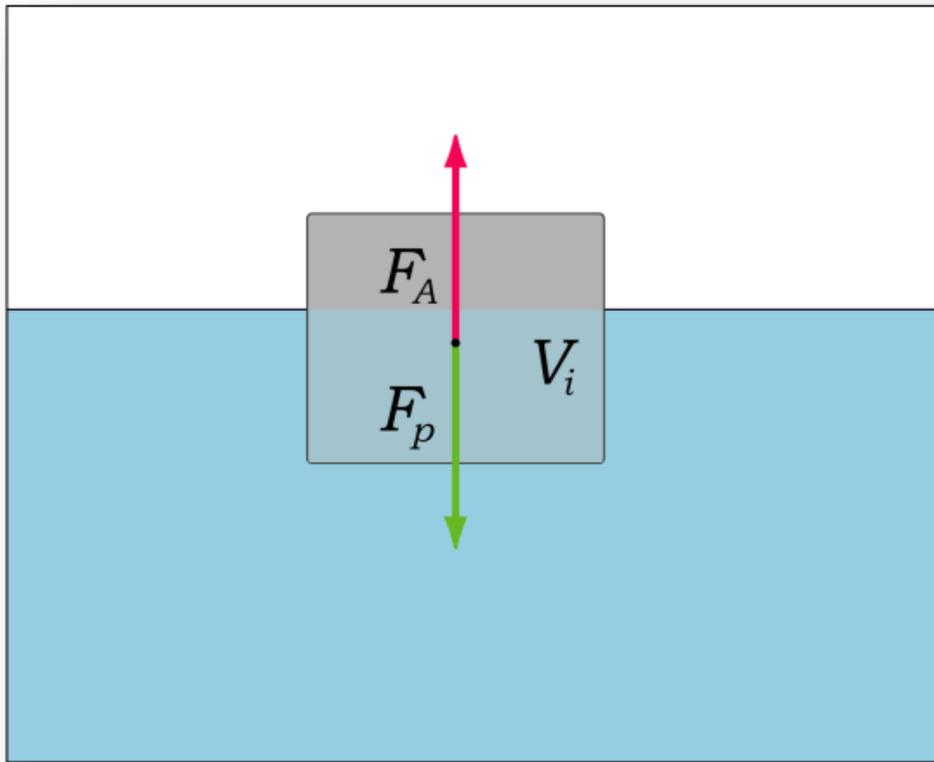


Abbildung 16: Auftriebsverhalten eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers

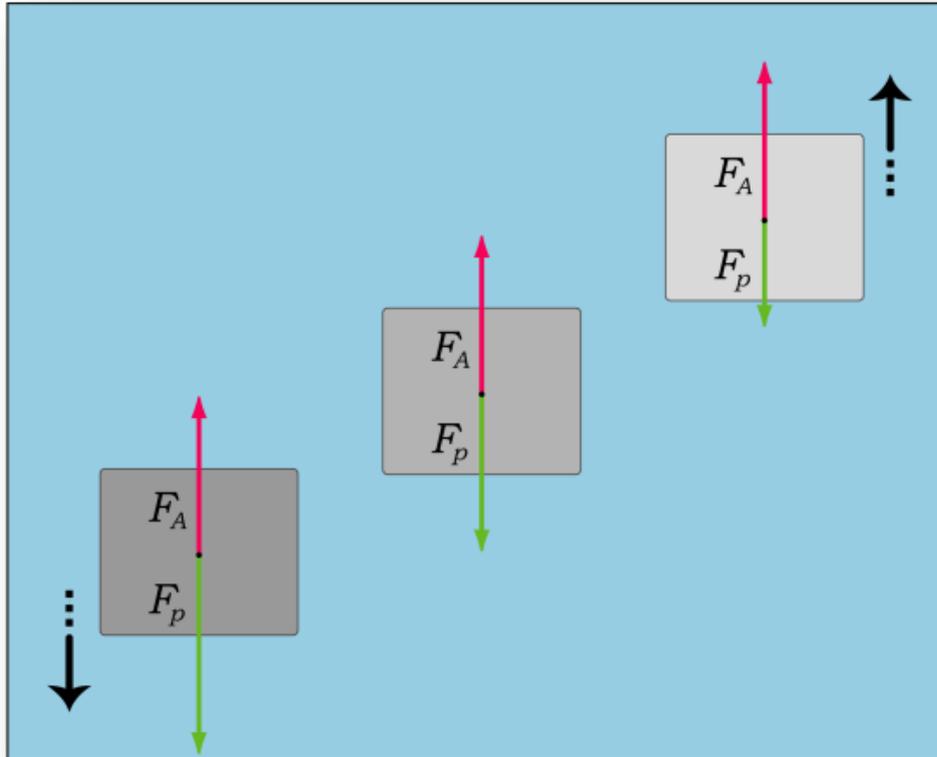


Abbildung 17: Hydrostatische Zustände eines Körpers: Schwimmen, Schweben, Sinken

Taucht ein Körper in eine Flüssigkeit ein, dann verdrängt dieser Körper in dem Maße Flüssigkeitsvolumen, wie er nicht durch die herrschenden Druckkräfte komprimiert wird. Die Kraft, die dem Gewicht des verdrängten Flüssigkeitsvolumens entspricht, wirkt der Gewichtskraft des eingetauchten Körpers entgegen. Dadurch verliert der eingetauchte Körper scheinbar soviel an Eigengewicht, wie die Masse der verdrängten Flüssigkeit wiegt.

Der Auftrieb eines Körpers entspricht dem Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge.

Dieses Prinzip ist nach dem in Syrakus lebenden griechischen Naturforscher [Archimedes](#) (ca. 287 – 212 v.u.Z.) benannt, dem die Erfindung der hydrostatischen Waage zugesprochen wird.

Ist die Auftriebskraft eines eingetauchten Körpers größer als dessen Gewichtskraft, so steigt er so weit auf, bis die verdrängte Flüssigkeitsmenge gleich der Gewichtskraft ist. Dann schwimmt der Körper.

Folgendes Gedankenexperiment kann dies einfach verdeutlichen:

- Eine nur mit Luft gefüllte Plexiglkugel soll ein Eigenvolumen von einem Liter haben. Ihr Gewicht beträgt 100 Gramm.
- Wird diese Kugel in Wasser eingetaucht, so verdrängt sie 1.000 cm^3 Wasser. Dies sind 900 g mehr, als die Kugel selber wiegt. Sie wird also soweit aufsteigen, bis sie mit dem 0,9-fachen ihres Volumens oberhalb der Wasseroberfläche schwimmt.
- Versieht man sie zusätzlich mit 900 g Gewicht, wird ihr Gesamtgewicht gleich dem des verdrängten Wassers sein. Sie ist austariert oder auch im hydrostatischem Gleichgewicht, d.h. sie kann jede Position unter Wasser einnehmen.
- Gibt man nun mehr Gewicht hinzu, so sinkt sie ab, da ihr Gesamtgewicht größer als das Gewicht der verdrängten Wassermenge ist. Allerdings scheint sie unter Wasser um ein Kilogramm leichter zu sein.

Ein Taucher ohne Kälteschutzanzug kann alle diese Zustände durch das Füllen oder Entleeren seiner Lungen erreichen. Zu beachten ist aber, dass der Auftrieb immer von der Dichte der Flüssigkeit abhängt. So ist Salzwasser um ca. 3% schwerer als Süßwasser, wodurch der Taucher einen höheren Auftrieb erfährt.

3.1.4 Licht unter Wasser

Der Lichteinfall in das Wasser unterliegt durch wechselnde atmosphärische Bedingungen und Unterschiede z. B. bei Reflexion und Absorption der Lichtstrahlen großen Schwankungen. Dies macht eine genauer Untersuchung dieser Vorgänge notwendig.

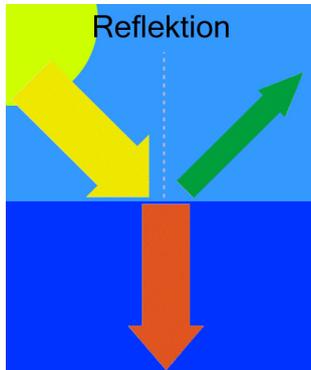


Abbildung 18: Die Reflexion an der Wasseroberfläche vermindert die Quantität des Lichtes unter Wasser.

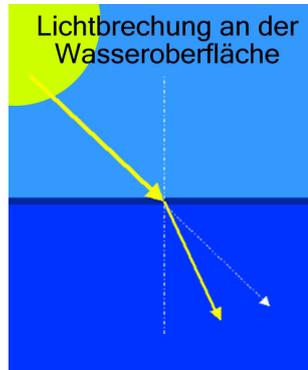


Abbildung 19: Brechung des Lichtes bei Wechsel des Mediums (Luft/Wasser)



Abbildung 20: Durch die "Richtungsänderung" der Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche scheint das Ufer "angekippt".



Abbildung 21: Wegen der Lichtbrechung an der Maske erscheinen Gegenstände um $1/3$ vergrößert und darum auch $1/4$ näher (Perspektive)

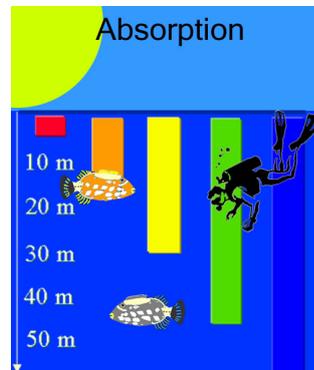


Abbildung 22: Mit zunehmenden Weg des Lichtes durch das Wasser werden die Spektralanteile des weißen Lichtes absorbiert. Gegenstände "verlieren" mit zunehmender Entfernung und Tiefe ihre Farben, die dann "Grau" erscheinen.



Abbildung 23: Streuung des Lichtes beim Auftreffen auf ein Wasserpartikelchen

Trifft das Licht auf die Wasseroberfläche, so geht nur ein Teil des Lichtes in das Wasser über, der andere Teil wird an der Wasseroberfläche reflektiert, d.h. ein Teil des Lichtes steht unter Wasser überhaupt nicht zur Verfügung. Die Menge des Lichtes, welches unter Wasser zur Verfügung steht, hängt letztendlich vom Einfallswinkel der Lichtstrahlen auf das Wasser ab. Je senkrechter das Licht einfällt (Sommer zur Mittagszeit), desto heller wird es unter Wasser sein. Im Gegensatz dazu kann es bei einem recht flachen Einfallswinkel (Winter) zu einer Totalreflektion kommen.

Wechselt das Licht von einem Medium in ein Medium anderer Dichte (z. B. von Luft in Wasser), so kommt es durch die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Lichtes in diesen Medien zu einer Richtungsänderung der einfallenden Lichtstrahlen. Diese Richtungsänderung wird als Brechung des Lichtes bezeichnet. Die Brechung des Lichtes an der Wasseroberfläche hat für den Taucher z. B. den Effekt zur Folge, dass er das Ufer „angekippt“ sieht, es kommt ihm vor, als könne er auf das Ufer hinauf sehen.

Die Brechung des Lichtes findet aber bei jedem Medienwechsel statt. Da das menschliche Auge für das Sehen unter Wasser nicht geeignet ist, muß der Taucher Luft vor die Augen bringen, um wieder deutlich sehen zu können, d.h. er muß eine Maske aufsetzen. An der Maske geht das Licht aber wieder vom Wasser in Luft über,

wodurch es wiederum zur Lichtbrechung kommt. Durch diese Brechung nimmt der Taucher alle Gegenstände um $\frac{1}{3}$ vergrößert wahr.

Dieser vergrößerte Eindruck hat durch den Effekt des räumlichen Sehens aber zur Folge, dass Gegenstände, die größer wahr genommen, auch als näher empfunden werden. Dem Taucher erscheinen Gegenstände unter Wasser um $\frac{1}{4}$ näher.

Trifft das Licht auf Wasserteilchen, so entziehen sie dem Licht Energie und lenken es nach allen Seiten in den Raum ab. Bei der allseitigen Ablenkung spricht man von Streuung. Durch die Streuung des Lichtes wird die Sichtweite in unbelastetem Wasser eingeschränkt. Die Konturen von Gegenständen erscheinen unscharf und bei zunehmender Entfernung wie in einem Schleier eingehüllt, bis die Kontraste ganz verschwinden.



Abbildung 24: Mit zunehmender Entfernung "verschwinden" Farben und Konturen. Am Horizont erscheint alles blau-grau und in einen Schleier gehüllt.

Bei der Absorption wird die Schwingungsenergie des Lichtes in Wärmeenergie umgewandelt. Die Absorption hat im wesentlichen zwei Effekte. Zum einen wird das Wasser erwärmt und zum anderen verschwinden nach und nach die Spektralfarben des Sonnenlichtes. So ist das energiereiche langwellige Rot schon nicht mehr zu erkennen, wenn das Licht eine Entfernung von 5 m zurückgelegt hat. Im Gegensatz dazu ist Gelb noch bis zu einer Tauchtiefe von 30 m zu erkennen. Das die kurzwelligen grünen und blauen Farbanteile am weitesten unter Wasser

reichen ist auf UW-Fotos sehr deutlich zu sehen, die ohne künstliches Licht aufgenommen wurden.

Das Licht unter Wasser unterliegt

- der Reflexion (Wasseroberfläche),
- der Brechung (Wasseroberfläche, Maske),
- der Streuung,
- der Absorption.

Die Sichtverhältnisse in den für in Hilfeleistungsunternehmen tätige Taucher zutreffenden Gewässern hängen infolge ihres großen Schwebeteilchenbestands fast ausschließlich vom Verschmutzungsgrad ab. Wie die Erfahrung zeigt, sind die Gewässer durch natürliche Vorgänge sowie durch industrielle, verkehrsmäßige und kommunale Nutzung des Wassers in der Regel so verunreinigt, dass die Sichtweiten nur wenige Zentimeter betragen.

Diese ungünstigen Lichtbedingungen lassen sich auch durch künstliches Licht nur wenig beeinflussen, da das Lampenlicht von den Schmutzpartikeln vielseitig reflektiert wird und dadurch lediglich eine diffuse Helligkeit in einem begrenzten Wirkungsradius erzeugt. Die Ausbildung von Tauchern in Hilfeleistungsunternehmen muß deshalb auf das Handeln bei geringer oder fehlender Sicht ausgerichtet sein.

3.1.5 Schall unter Wasser

Die Schalleitfähigkeit des Wassers ist aufgrund der höheren Dichte gegenüber Luft sehr gut. Es ist deshalb möglich, dass sich Taucher im Wasser durch Klopf-signal über weite Entfernung verständigen.

Beachtenswert ist die große Schallgeschwindigkeit im Wasser. Abhängig von Dichte (Salzgehalt!) und Temperatur, beträgt sie etwa 1500 m/s. Das bedeutet, dass sich der Schall im Wasser etwa 4,5 mal so schnell wie in der Luft (ca.320 m/s) fortpflanzt. Besonders diesem Umstand ist es zuzuschreiben, dass es dem Taucher, kaum gelingt, die Richtung, in der sich eine Schallquelle befindet, zu bestimmen, da das zeitliche Auflösungsvermögen des menschlichen Gehörs nicht für diese hohe Schallgeschwindigkeit ausgelegt ist.

Die Schallausbreitung im Wasser findet aber nicht nur schneller, sondern auch wesentlich verlustfreier als in der Luft statt. Die Energie des auftreffenden Schalls ist dadurch wesentlich höher, d.h. der Schall ist lauter. Wegen der Gewöhnung des

Gehörs für des Hören in der Luft erscheint dem Taucher die Schallquelle dadurch wesentlich näher.

Der Schall breitet sich unter Wasser bis zu viereinhalb mal schneller und verluftfreier aus als in der Luft, dadurch

- ist Richtung der Schallquelle nicht auszumachen,
- der Schall lauter und damit scheinbar näher.

Dieser Umstand kann beim ungeübten Tauchern oft Unruhe und Angst auslösen, wenn in seinem Umfeld noch andere Arbeiten oder Bootsverkehr stattfinden. Auch der Schalldruck von implodierenden oder explodierenden Ausrüstungsgegenständen kommt wesentlich energiereicher (als Impuls oder Druckschlag) beim Taucher an, was nicht selten zu Schädigungen führen kann. Man spricht hier vom Unterwasserdetonationsbarotrauma von dem, je nach Wirkung der Stoßwelle, Gehör, luftgefüllte Hohlräume im Schädel oder die Lunge betroffen sein können.

3.2 Anatomisch-physiologische Grundlagen des Tauchens

3.2.1 Anpassung des Tauchers an die besonderen Umweltbedingungen

Die Möglichkeit des Menschen, unter den besonderen Bedingungen des Unterwasseraufenthalts Arbeit leisten zu können, ist nur über komplizierte Anpassungsreaktionen des menschlichen Organismus an die extremen Umweltbedingungen möglich. Das Tauchen gehört zu den schweren Formen der körperlichen Arbeit. Aus diesem Grund muß der Taucher über ein bestimmtes Anpassungspotential verfügen. Dieses wird durch einen sinnvoll gestalteten Ausbildungsprozeß geschaffen.

Die Entwicklung physiologisch-funktioneller Möglichkeiten und die Vermeidung von Schädigungen durch das spezifische Training der Taucher und durch die Taucherarbeit erfordert gute Kenntnisse in der Anatomie des menschlichen Körpers und den physiologischen Grundvorgängen beim Tauchen.

3.2.2 Die Atmung

Grundsätzlich kann man sich das Funktionieren des menschlichen Organismus wie das einer Verbrennungsmaschine vorstellen. Er benötigt Brennstoff aus der Nahrung und Sauerstoff aus der Luft zur Energieerzeugung. Im Gegensatz zum Brennstoff (Glukose, Fett) kann der menschliche Körper Sauerstoff nicht speichern. Das heißt, um lebensnotwendige Vorgänge aufrecht zu erhalten, ist der Organismus ständig darauf angewiesen Sauerstoff aufzunehmen und das Abfallprodukt Kohlenstoffdioxid wieder abzugeben. Diesen Austausch der Gase mit der Umwelt wird über die Atmung realisiert.

Der Aufbau der Atmungsorgane (Anatomie)

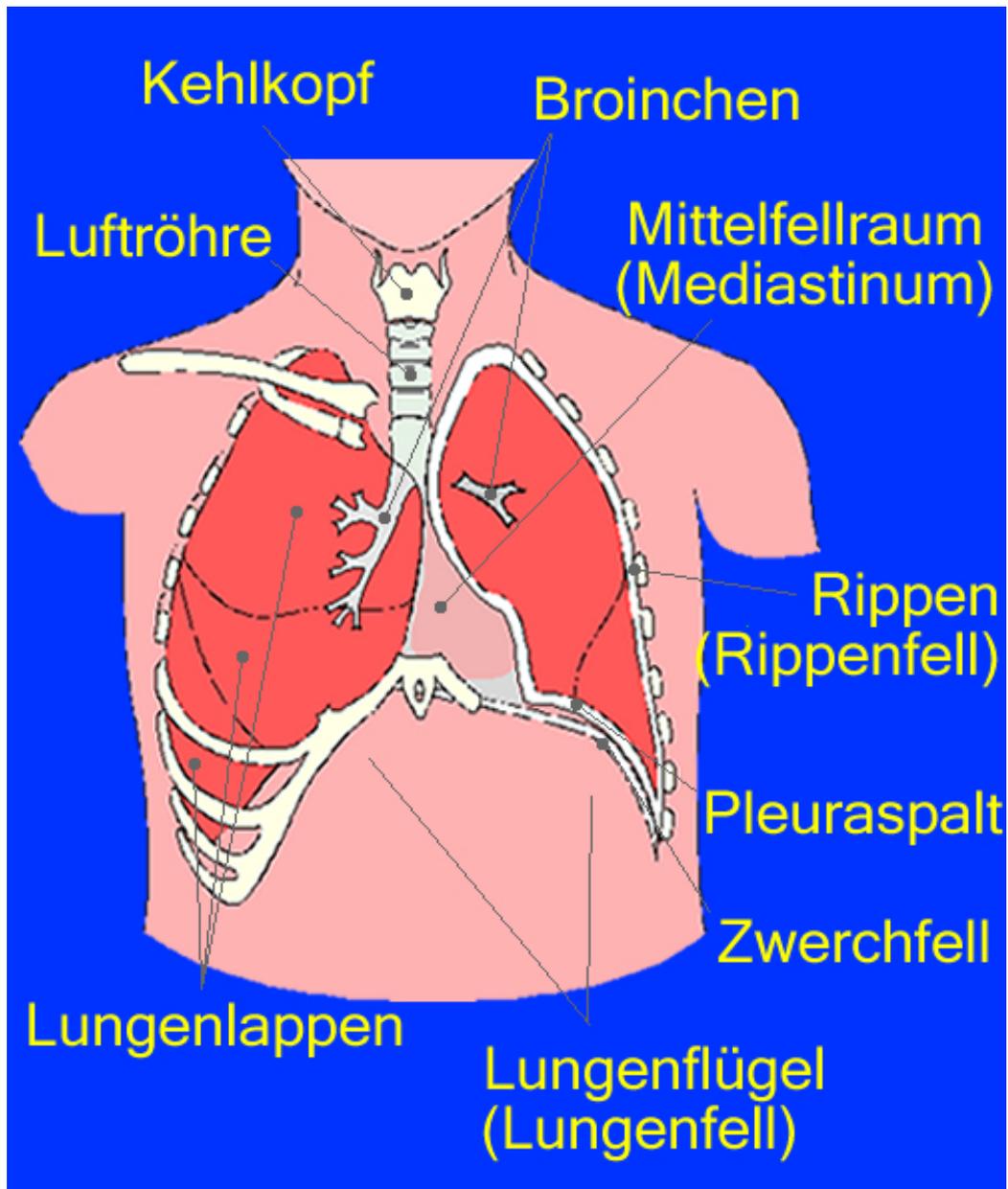


Abbildung 25: Anatomie der Lunge

Die Atmungsorgane werden grob in zwei Abschnitte eingeteilt, die oberen und die unteren Luftwege.

Die oberen Luftwege werden von Nasenraum, Mundhöhle und Rachenraum gebildet und enden am Kehlkopf. Die wesentliche Aufgabe der oberen Luftweg im Bezug auf die Atmung ist die Filterung, Befeuchtung und Erwärmung der Einatemluft.

Die unteren Atemwege, beginnend mit dem Kehldeckel, setzen sich über die Luftröhre und die Bronchien in die rechte und linke Lungenhälfte fort. Die rechte Lunge ist unterteilt in drei Lungenlappen und die linke Lunge in zwei Lungenlappen. Hierin verzweigen sich die unteren Luftwege fortlaufend und bilden den sogenannten Bronchialbaum. An den blinden Enden der Luftwege liegen die Lungenbläschen (Alveolen). Diese Lungenbläschen werden durch ein ausgedehntes Netz feinsten Blutgefäße (Kapillare) umschlossen. Zwischen den Alveolen und dem, in den Kapillaren, befindlichen Blut findet der Gasaustausch statt. Das, den Alveolen vorgelagerte, Luft leitende System dient nicht dem Gasaustausch und wird deshalb auch als Totraum bezeichnet.

Die rechte und linke Lunge liegen im Brustraum beiderseits des Mittelfellraums, in dem das Herz, große Gefäße, die Luftröhre und die Speiseröhre liegen. Nach unten wird die Lunge durch das Zwerchfell, zu den Seiten und nach oben durch den Brustkorb begrenzt.

Die äußere Haut, die das Lungengewebe überzieht, wird als Lungenfell bezeichnet. Zwischen dem Lungenfell und dem Rippenfell, welches die Innenseite des Brustkorbes auskleidet, befindet sich ein minimaler Spalt, dessen Raum mit Flüssigkeit gefüllt ist, der Pleuraspalt.

Die Funktion der Atmung (Physiologie)

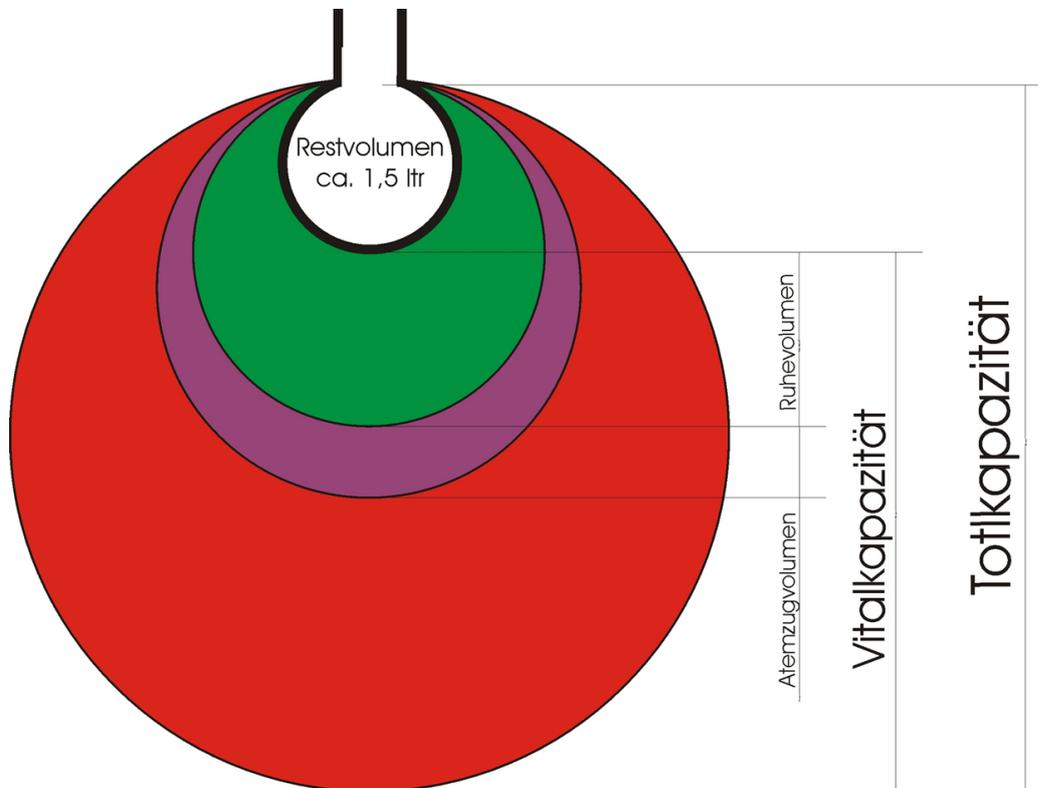


Abbildung 26: Die Volumina der Lunge

Durch den Unterdruck im Pleuraspalt muß das sehr flexible Lungengewebe den Bewegungen des Zwerchfells und des Brustkorbes folgen und kann sich deshalb ausdehnen. Die Flüssigkeit im Pleuraspalt verhindert eine zu große Reibung der Lunge am Brustkorb.

Insgesamt kann man sich dieses System wie zwei Glasplatten vorstellen, zwischen denen sich eine Flüssigkeit befindet. Diese Glasplatten können sehr gut gegeneinander verschoben werden, aber nicht auseinander. Hier wirken sogenannte Adhäsionskräfte.

Die Steuerung des Atmungssystems beruht auf der Abfrage der Meßgrößen CO_2 -Sättigung, O_2 -Sättigung und pH -Wert des Blutes. Diese Werte werden laufend durch das Atemzentrum über Rezeptoren im Körper abgefragt, wobei die Steuergröße „ CO_2 “ gegenüber den anderen beiden beim gesunden Menschen absoluten Vorrang hat.

Stellt das Atemzentrum fest, dass der CO_2 -Gehalt im Blut zu hoch ist, bekommt das Zwerchfell den Befehl sich zusammenzuziehen. Der Hohlraum im Brustkorb wird nach unten vergrößert, das Lungengewebe muß aufgrund des Unterdrucks im Pleuraspalt der Bewegung des Zwerchfells folgen. In der Lunge entsteht so ein Unterdruck, der zum Einsaugen von Umgebungsluft (Einatmen) führt. Ist die Lunge ausreichend belüftet wird dies durch Dehnungsrezeptoren gemeldet, die Spannung des Zwerchfells läßt nach. Das Lungengewebe zieht sich wieder zusammen. Dadurch wird der Druck im Lungengewebe erhöht und es kommt zur Ausatmung. Das Zwerchfell folgt der Lunge aufgrund der selben Vorgänge wie vorher die Lunge dem Zwerchfell.

Wir unterscheiden bei der Atmung demnach zwei Phasen. Eine aktive Phase (Einatmung), bei der Muskelarbeit verrichtet wird, und eine passive Phase (Ausatmung), bei der das Ausstoßen der Luft aus der Lunge durch deren Flexibilität erfolgt.

Reicht das Belüften der Lunge allein durch die Bewegung des Zwerchfells (Ruheatmung) nicht aus, wird die Zwischenrippenmuskulatur eingesetzt, welche die Rippen anhebt und damit eine weitere Aufdehnung der Lunge („tieferes“ Einatmen) verursacht. Letztendlich kann der Hohlraum des Brustkorbes noch durch das Anheben der Schultern (Atemhilfsmuskulatur) vergrößert werden. Genügt die vermehrte Belüftung der Lunge nicht, den momentanen Sauerstoffbedarf des Körpers zu bedienen, kommt es zu einer Erhöhung der Atemfrequenz.

In der Atemmechanik können also verschiedene Atemvolumina unterschieden werden. Bei der Ruheatmung findet eine minimale Belüftung der Lunge statt. In der Regel spricht man hier von einem Atemzugvolumen von 0,5 l. Dieses Atemzugvolumen kann je nach Bedarf bis zur maximalen Einatmung vergrößert und bis zur minimalen Verkleinerung der Lunge, die durch den starren Brustkorb begrenzt wird, verringert werden. Das Volumen, welches nach der maximalen Ausatmung noch in der Lunge verbleibt, wird Rest- oder auch Residualvolumen (ca. 1,5 l) genannt. Die Möglichkeit der Lunge sich vom Residualvolumen bis zur maximalen Einatmung zu füllen wird als Vitalkapazität bezeichnet. Residualvolumen und Vitalkapazität beschreiben die Totalkapazität (durchschnittlich 6 l) der Lunge. Bezieht man nun das Atemzugvolumen auf eine Zeiteinheit, vorzugsweise Anzahl der Atemzüge in einer Minute, so erhält man den Luftverbrauch pro Minute (Atemminutenvolumen).

Das Gesamtvolumen der Atemzüge pro Minute wird als *Atemminutenvolumen* (AMV) bezeichnet.

$$[AMV] = \frac{l}{min}$$

3.2.3 Das Herzkreislaufsystem

Der in der Lunge angebotene Sauerstoff muß nun zu den Zellen im Körper gelangen. Gleichfalls muß das Stoffwechselprodukt CO_2 wieder zum Abatmen zur Lunge zurück befördert werden. Dieses Fördersystem wird als Kreislauf bezeichnet. Die Pumpe die dieses System bedient ist das Herz.

Die Anatomie des Herzkreislaufsystems

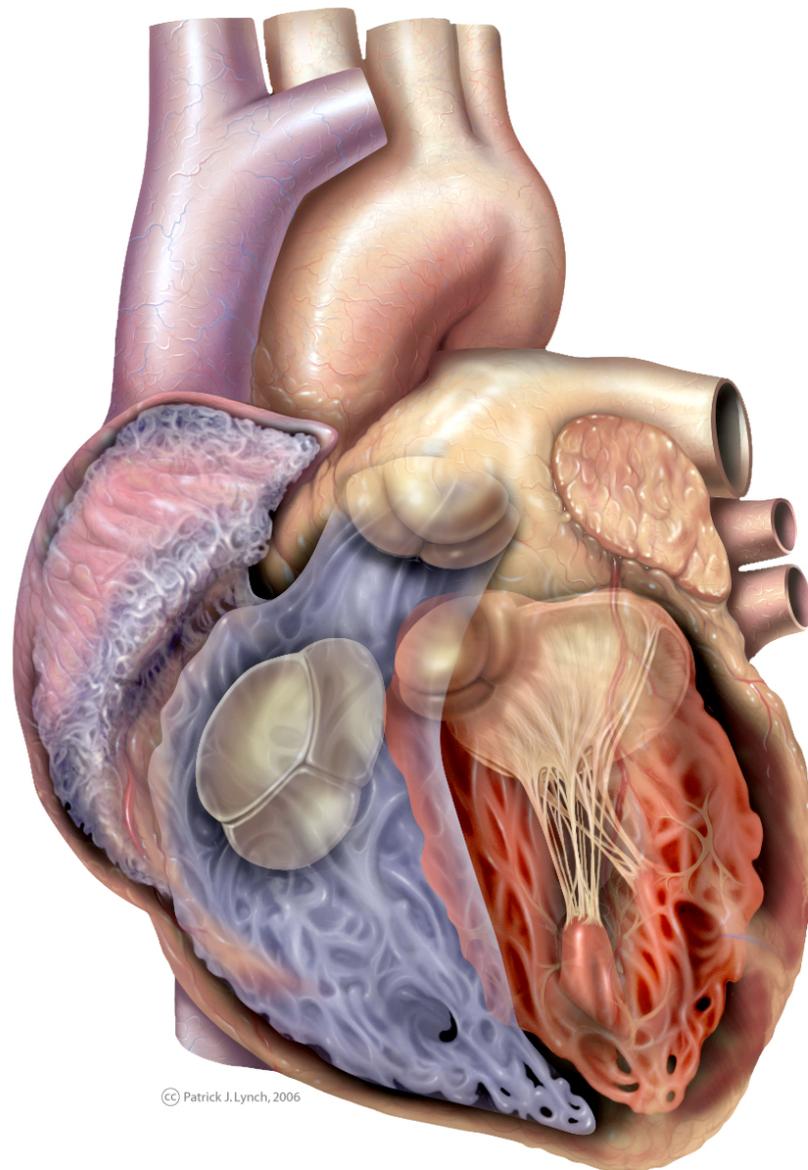


Abbildung 27: Das menschliche Herz

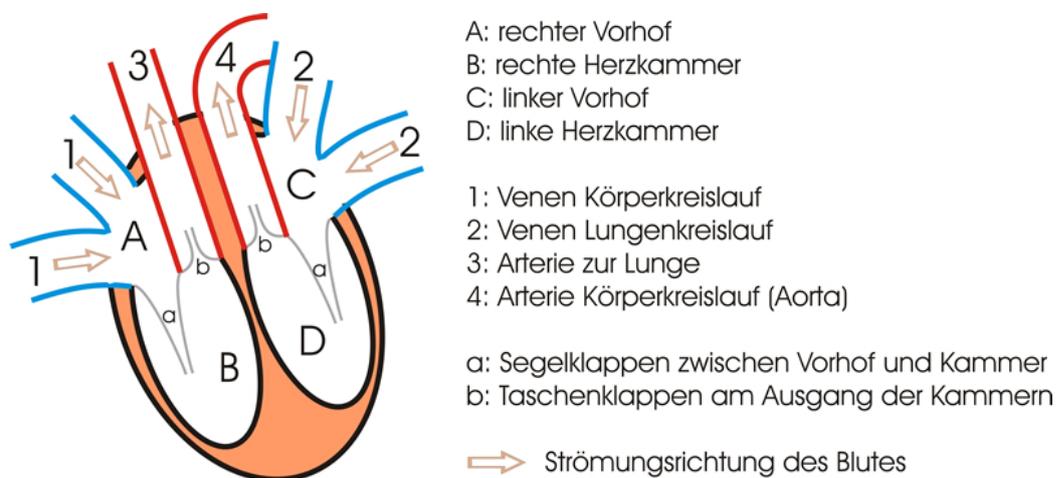


Abbildung 28: Schematische Darstellung des menschlichen Herzens

Das Herz ist ein Hohlmuskel, welcher im Mittelfellraum zwischen Wirbelsäule und Brustbein mit der Spitze nach links liegt.

Dieser Hohlmuskel ist durch die Herzscheidewand in zwei Hälften getrennt. Jede Herzhälfte unterteilen sich in Vorhof und Kammer, welche durch Segelklappen von einander getrennt sind. Die vom Herz wegführenden Schlagadern werden als Arterien, die zum Herz hinführenden Saugadern als Venen bezeichnet.

Die Lungenarterie, welche von der rechten Herzkammer zur Lunge führt, wird von der Aorta unterschieden, die ausgehend von der linken Herzkammer den gesamten Körper mit Blut versorgt. Diese Arterien sind durch Taschenklappen zu den Herzkammern abgegrenzt.

Das System von Segel- und Taschenklappen verhindert einen Rückstrom des Blutes durch das Herz und sorgt dafür, dass das Blut nur in einer Richtung durch den Kreislauf fließt.

Die Arterien verzweigen sich in einem immer kleiner werdenden Netzwerk im Körper, welches weitgehend für die Regulierung des Blutdruckes mit verantwortlich ist.

Der Kurzschluß zwischen arteriellem und venösem System wird als Kapillaren bezeichnet. Hier findet der Gasaustausch zwischen Blut und Zelle (innere Atmung) und zwischen Umgebungsluft und Blut in der Lunge (äußere Atmung) statt.

Aus dem kapillarem System sammelt sich das Blut in wieder größer werdenden Gefäßen des venösen Teils des Blutkreislaufes, welches das Blut zurück zum Herzen transportiert. Die meisten Venen, außer die herznahen großen Venen, besitzen

Venenklappen, die als Taschenklappen ausgebildet sind. Sie lenken den Blutstrom zum Herzen und verhindern ein „Versacken“ des Blutes in den unteren Extremitäten.

Der Lungenkreislauf wird auch als „kleiner Kreislauf“ bezeichnet und vom großen Körperkreislauf unterschieden.

Die Physiologie des Herzkreislaufsystems

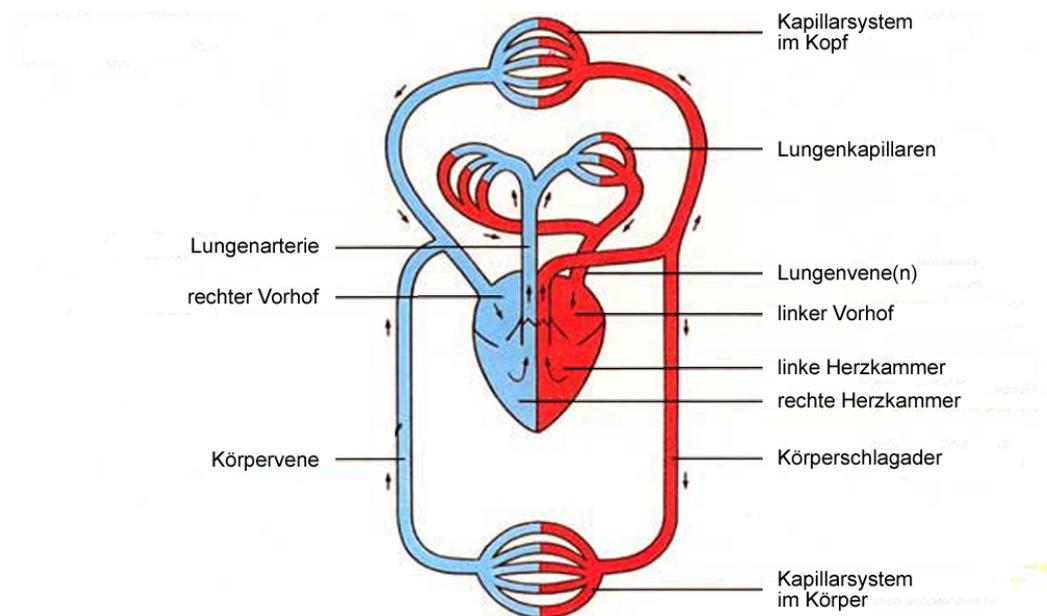


Abbildung 29: Schema des menschlichen Kreislaufs

In der Erschlaffungsphase des Herzens wird Blut aus den großen Hohlvenen in den rechten Vorhof angesaugt. Kontrahiert des Herz von den Vorhöfen ausgehend wieder, wird das Blut durch die rechte Herzkammer in die Lungenarterie gepreßt. Die Segelklappe zwischen Vorhof und Kammer verhindert einen Rückstrom in die Venen. Die Taschenklappe an der Lungenarterie verhindert in der folgenden Erschlaffungsphase einen Rückstrom des Blutes aus dem Lungenkreislauf in das Herz.

In der Lunge wird das Blut durch immer kleiner werdende Arterien bis zu den Alveolen befördert, welche vom kapillaren Netz umgeben sind. Hier gibt das Blut das mitgebrachte Kohlenstoffdioxid ab und nimmt den, in den Alveolen angebotenen, Sauerstoff auf, indem dieser an den Blutfarbstoff (Hämoglobin) in den roten

Blutkörperchen gebunden wird. Das sauerstoffreiche Blut über die Lungenvenen vom linken Vorhof angesaugt und durch den selben Mechanismus wie im rechten Herzen in die Aorta befördert, wo der Rückstrom des Blutes in das linke Herz durch die Aortenklappe verhindert wird. Da das linke Herz einen wesentlich größeren Gefäßsystem versorgen muß als das rechte Herz, wird hier ein wesentlich höherer Druck aufgebaut.

Das Blut strömt nun durch die immer kleiner werdenden Arterien bis zu den von Kapillaren umgebenen Zellen überall im Körper. Hier gibt das Hämoglobin den Sauerstoff an die Zellen ab. Das durch Stoffwechsel in den Zellen entstandene CO_2 wird vom Blut aufgenommen und durch das Sammelsystem der Venen wieder zurück zum rechten Vorhof des Herzens befördert.

3.2.4 Die Hohlräume im menschlichen Schädel

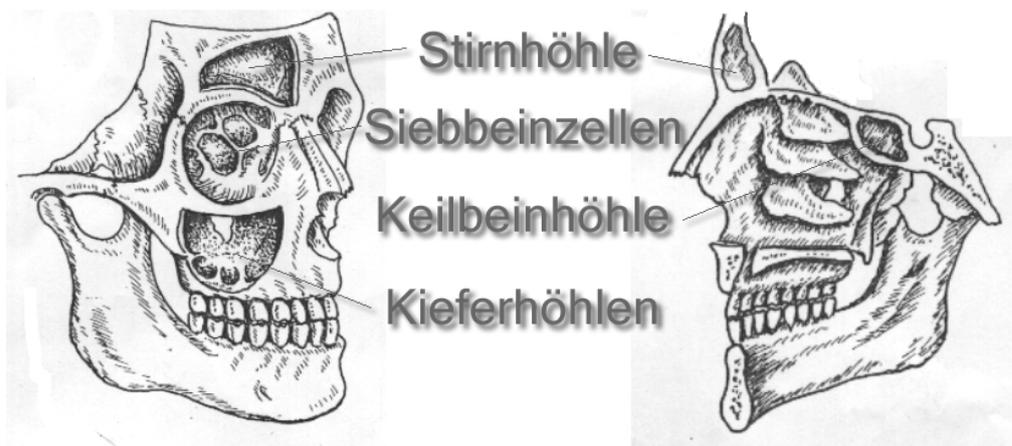


Abbildung 30

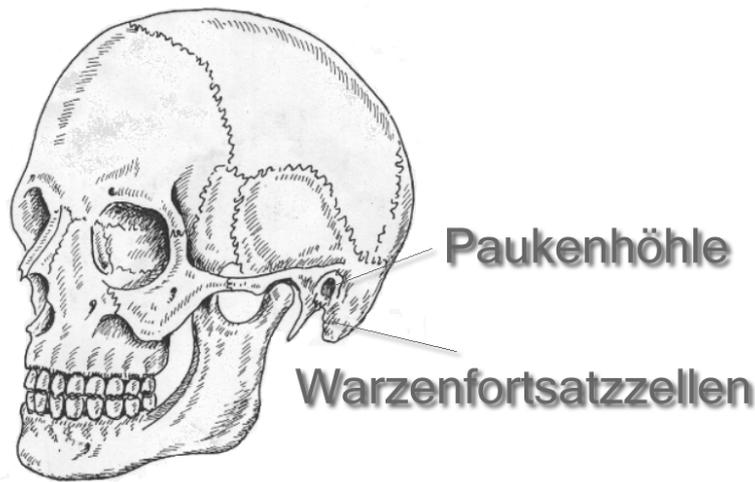


Abbildung 31: Der menschliche Schädel

Der menschliche Schädel besteht aus einer Vielzahl von Einzelknochen. Durch die Anordnung der Schädelknochen kommt es zur Bildung von Hohlräumen, welche alle durch mehr oder minder große Kanäle mit dem Nasen-Rachen-Raum in Verbindung stehen. Diese Hohlräume werden als Nasennebenhöhlen bezeichnet.

Die Oberfläche der Nasennebenhöhlen wird von Schleimhaut bedeckt.

Nasennebenhöhlen werden im einzelnen bezeichnet als:

- Stirnhöhle
- Kieferhöhlen
- Keilbeinhöhle
- Paukenhöhlen
- Siebbeinhöhle (Siebbeinzellen)
- Warzenfortsatzzellen

Die Siebbein- und Warzenfortsatzzellen sind keine Hohlräume im eigentlichen Sinne sondern poröses Knochengewebe.

Die Paukenhöhlen, welche sich paarig rechts und links am Schädel befinden beherbergen das Ohr.

3.2.5 Das menschliche Ohr

Das Ohr des Menschen enthält zwei Sinnesorgane, das Gehör- und das Gleichgewichtsorgan, und kann grob in drei Hauptteile eingeteilt werden:

- Außenohr,
- Mittelohr und
- Innenohr.

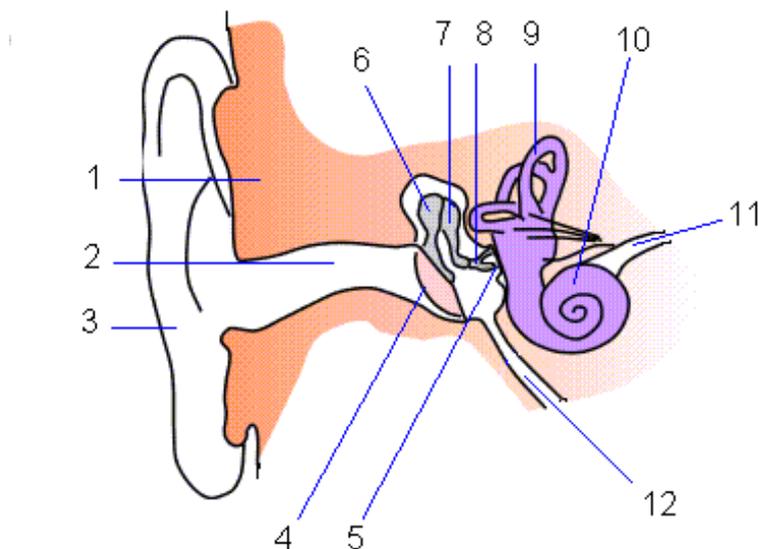


Abbildung 32: Das menschliche Ohr

Das Außenohr besteht aus der Ohrmuschel (3) und dem Gehörgang (2). Am Ende des Gehörgangs spannt sich das Trommelfell (4) auf und bildet die Grenze zum Mittelohr.

Das Mittelohr, das in der mit Schleimhaut ausgekleideten Paukenhöhle im Schädel (1) eingebettet ist, beherbergt die kleinsten Knochen des menschlichen Körpers, die Gehörknöchelchen, welche als Hammer (6), Ambos (7) und Steigbügel (8) bezeichnet werden. Diese bilden zusammen mit dem Trommelfell den Schalleitungsapparat zum Innenohr. Die Verbindung der Paukenhöhle zum Nasen-Rachen-Raum ist die Eustachische Röhre (12). Durch sie geschieht die Belüftung des Mittelohres und der Druckausgleich. Die Paukenhöhle setzt sich fort in wei-

tere mit Schleimhaut ausgekleidete Hohlräume im Bereich des Warzenfortsatzes, die Warzenfortsatzzellen.

Die Verbindung zum Innenohr ist das ovale Fenster (5), in das die Fußplatte des Steigbügels (8) eingebettet ist. Das Innenohr stellt ein verzweigtes System von Gängen und Hohlräumen, das knöcherne Labyrinth, dar, das mit Flüssigkeit (s.g. Endolymphe) gefüllt ist. Das Labyrinth enthält das Gehör- und das Gleichgewichtsorgan.

Vom ovalen Fenster ausgehend windet sich die Gehörschnecke (10) in einer ca. 3 cm langen Spindel und endet am runden Fenster wieder in Richtung Paukenhöhle. In der mit Endolymphe gefüllten Gehörschnecke (10) befinden sich die Hörsinneszellen, welche die mechanischen Schallwellen in elektrische Impulse umwandeln. Diese werden über den Hörnerv (11) zum Gehirn weitergeleitet, wo der Höreindruck entsteht.

Zum Gleichgewichtsorgan gehören drei Bogengänge (9), in denen sich Sinneszellen befinden. Diese spezialisierten Sinneszellen ragen mit kleinen Antennen in die Endolymphe hinein. Hier findet die Registrierung von Beschleunigungen und Lageveränderungen und somit die Orientierung im Raum statt. Bei einer Verlagerung oder einem Wechsel der Position des Kopfes erfolgt auf Grund der Trägheit eine Bewegung der Endolymphe. Die dadurch stimulierten Sinneszellen senden über den Gleichgewichtsnerv die Information zum Kleinhirn, das reflektorisch auf die Veränderung reagiert.

3.2.6 Gassättigung und -entsättigung

Physiologie des Gasaustausches

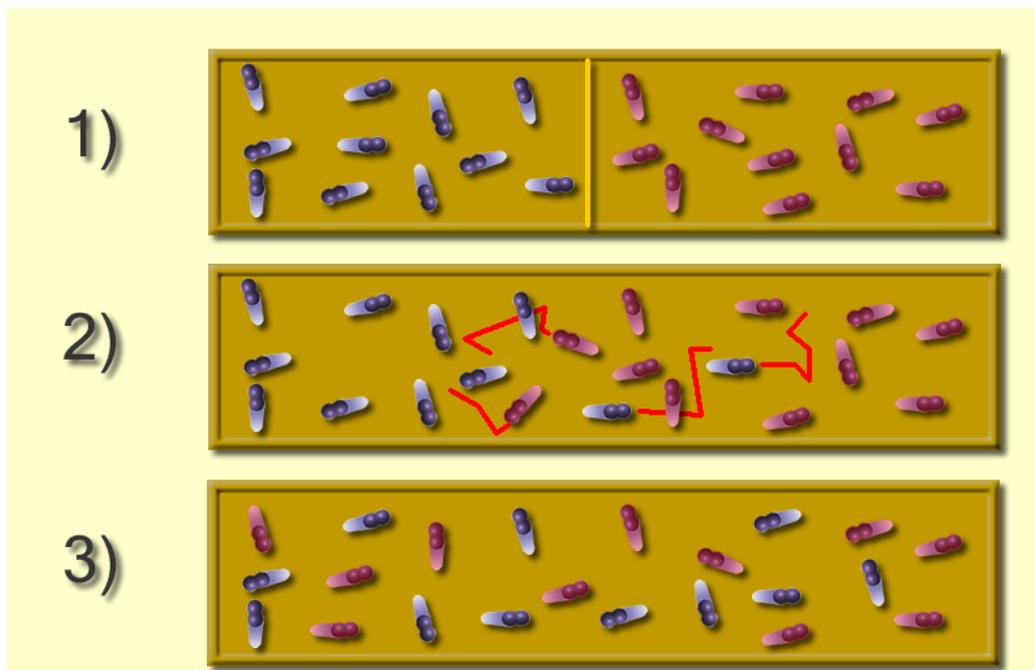


Abbildung 33: Veranschaulichung der Diffusion:

- 1) Gasmassen getrennt,
- 2) Nach Entfernung der Trennwand: Vermischung durch die Bewegung der Gasteilchen,
- 3) Vollständige Vermischung der Gasmassen -> Konzentrationsausgleich.

Die treibenden Kräfte des Gasaustausches zwischen der Umgebung und dem Organismus sind die Partialdrücke der Atemgase. Dem Gasaustausch liegt die Massenbewegung der Gasteilchen zugrunde, die in den Gesetzmäßigkeiten der **Diffusion** ihren Ausdruck findet. Durch die Diffusion findet ein Konzentrationsausgleich von Gasen statt. Dieser Konzentrationsausgleich vollzieht sich immer vom Ort der höheren Konzentration zum Ort der niederen Konzentration. Die treibende Kraft ist der Diffusionsdruck, dessen Höhe vom Unterschied zwischen den Kon-

zentrationen bestimmt wird. Die Diffusion kann sowohl zwischen Gaskonzentrationen frei im Raum stattfinden, als auch durch eine halbdurchlässige Membran.

In der Lunge des Menschen befindet sich nach dem Einatmen eine hohe Konzentration von Sauerstoff, im Gegensatz zum Blut, welches durch die Kapillaren der Alveolen strömt. Dieser Konzentrationsunterschied sorgt dafür, dass der Sauerstoff aus den Alveolen in das Blut hinüber tritt und von da aus über das Herzkreislaufsystem an alle Zellen im Körper gelangt. An den Zellen ist die Konzentration des Sauerstoffs im Blut höher als in der Zelle, in der er für Stoffwechselfvorgänge „verbraucht“ wird. Somit diffundiert der Sauerstoff aus dem Blut in die Zelle. Da er in der Zelle aber über besagte Stoffwechselfvorgänge an Kohlenstoff gebunden wird, ist die Konzentration des Kohlenstoffdioxid in der Zelle sehr hoch, wogegen im Blut nur wenig CO_2 vorhanden ist. Also wird das CO_2 aus der Zelle heraus in das Blut diffundieren, um dort vor allem als Kohlensäure gebunden zu werden. Das Blut, welches nun zurück zur Lunge gelangt enthält eine wesentlich höhere Konzentration an CO_2 , als es in den Alveolen vorhanden ist. Es findet eine Diffusion des CO_2 aus dem Blut in die Alveole statt. Aus diesem Grund weicht auch die Zusammensetzung der Ausatemluft von der Umgebungsluft (siehe Gesetz von Dalton) ab.

Zusammensetzung der Ausatemluft:

- Stickstoff 78%
- Sauerstoff 17%
- Kohlenstoffdioxid 4%
- Rest 1%

Gassättigung

Während des Abtauchens und des Aufenthalts in der Tiefe wird in den Lungen ein höherer Partialdruck der Anteile des Luftgemischs angeboten. Für den Sauerstoff ist dies bis zu einer gewissen Konzentration unproblematisch, da dieser verstoffwechselt wird. Aber der Stickstoff ist ein so genanntes Inertgas, welches im Körper nicht verbraucht wird. Stickstoff wird aufgenommen, mit dem Blut transportiert und in den Geweben gespeichert.

Einzelnen Gewebe haben unterschiedliche *Halbsättigungszeiten*, deshalb werden nicht alle Gewebe gleichmäßig mit Stickstoff aufgesättigt ("beladen").

Die Halbsättigungszeit ist die Zeit in Minuten, in der sich ein Gewebe zur Hälfte mit Stickstoff sättigt oder von Stickstoff entsättigt wird. Die Halbsättigungszeit konkreter Gewebe ist schwer bestimmbar. Aus diesem Grund teilt man den Organismus des Menschen in „theoretische“ Gewebe mit verschiedenen Halbsättigungszeiten (von 30 bis 72 Minuten) ein und berechnet ein Sättigungsmodell des Menschen.

Zuerst werden die gut durchbluteten Gewebe mit Stickstoff beladen („schnelle Gewebe“). Die schlecht durchbluteten Gewebe und die Gewebe mit einem langsamen Wasserwechsel benötigen für die Stickstoffaufnahme viel Zeit („langsame Gewebe“). Bei körperlicher Arbeit und in Wärme geht die Stickstoffaufnahme schneller vonstatten, weil die Durchblutung und der Wasserwechsel in den einzelnen Geweben erhöht sind.

Gasentsättigung

Im Gegensatz zum Sauerstofftransport, der biologisch an den roten Blutfarbstoff (**Hämoglobin**) in den roten Blutkörperchen gebunden ist, ist der Transport von Stickstoff biologisch nicht organisiert. Das bedeutet, dass für die Abgabe von überschüssigem Stickstoff aus dem Organismus vorwiegend physikalische Gesetzmäßigkeiten gelten. Besondere Bedeutung hierbei haben die Diffusion, das Gesetz von Dalton und das Gesetz von Henry.

Während der normalen Dekompression ist der Organismus des Tauchers stets mit Stickstoff übersättigt. Das Zuviel an Stickstoff während und nach der Dekompression bezeichnet man als Übersättigung.

Entsprechend den physikalischen Gesetzmäßigkeiten ist in einem übersättigten System Gas-Flüssigkeit immer die Möglichkeit der Gasblasenbildung gegeben (Vergleich mit einer geöffneten Sektflasche).

Der Organismus des Menschen kann jedoch eine gewisse Übersättigung mit Stickstoff aushalten, ohne dass gasblasenbedingte Krankheitszeichen auftreten (Dekompressionskrankheit). Die durchschnittlich zulässige Übersättigungsgröße für den Menschen wird in der Literatur mit annähernd 0,8 bar angegeben.

Die Ausscheidung kleinster Gasbläschen erfolgt nur über die Lunge auf dem Wege der Diffusion durch die Alveolarmembran (Blut-Luft-Schranke).

Eine Störung der Stickstoffabgabe während oder nach einer Dekompression führt zur Dekompressionskrankheit. Nach jeder Dekompression ist der Organismus des Tauchers noch längere Zeit (einige Stunden) mit Stickstoff übersättigt, so dass die potentielle Gefahr der Dekompressionskrankheit gegeben ist. Aus diesem Grund ist auch noch nach dem Tauchen in mittlere und große Tiefen der Prophylaxe der Dekompressionskrankheit eine besondere Aufmerksamkeit entgegenzubringen.

3.2.7 Der Wärmehaushalt des Organismus

Der menschliche Organismus hält unter normalen Bedingungen durch Steuerung des Gleichgewichts zwischen Wärmebildung und Wärmeabgabe die Körpertemperatur innerhalb eines normalen Grenzbereichs um 37,0°C konstant.

Der menschliche Körper besteht aus einem wärmeproduzierenden Kern (Gehirn, Lunge, Leber, Milz, Magen-Darm-Trakt, Nieren) und einer wärmeabgebenden Schale (Muskulatur, Haut).

Bei körperlicher Ruhe wird die Wärme über die Schale (Muskulatur, Haut) an die Umgebung abgegeben. Bei körperlicher Arbeit wird die Wärme unmittelbar über die Haut an die Umgebung abgeleitet. Der Wärmetransport durch die Gewebe vollzieht sich durch

- Wärmeleitung (**Konduktion**);
- Transport durch das strömende Blut (**Konvektion**);
- Abstrahlung infolge von Temperaturdifferenzen zwischen den Geweben (**Radiation**).

Auf gleichem Wege vollzieht sich die Wärmeabgabe an die Umgebung.

Beim Tauchen wird ein großer Teil der Körperwärme (20%) durch die Lunge und die Atemwege an die kalte Atemluft abgegeben, die meist die gleiche Temperatur wie das kalte Wasser aufweist und von den Luftwegen auf 37°C angewärmt werden muß.

Beim Aufenthalt im kalten Wasser treten die folgenden vegetativen Schutzreaktionen des Organismus auf:

- Umstellung aller vegetativen Reaktionen des Organismus auf Erhöhung der Wärmebildung und Schutz vor Wärmeverlust;

- Engstellung der Blutgefäße in der Schale (Haut und Unterhautfettgewebe);
- Erhöhung der Isolationskraft des Unterhautfettgewebes;
- Erhöhung der Wärmeproduktion in der Leber;
- Verbesserung der Energiebereitstellung für die arbeitende Muskulatur.

Beim Kältezittern erfolgt die Wärmeproduktion durch die Muskulatur bei gleichzeitig verstärkter Glukoseverbrennung.

Bei wiederholten Kältebelastungen kommt es zu Anpassungserscheinungen auf Zellebene. Der Vorrat an energiereichen Verbindungen und stoffwechselaktiven Strukturelementen der Zelle (Mitochondrien) nimmt zu. Daraus folgt, dass ein sinnvoll betriebenes „Kältetraining“ für Taucher eine zweckmäßige Ausbildungsmaßnahme ist. Die Herausbildung eines hohen funktionellen Potentials der Zellen ist für den Schutz vor Kältebelastung besonders wichtig.

Der Schutz vor Kälte ist jedoch in erster Linie ein technisches Problem. Kälteschutzbekleidung für Taucher gewährleistet heutzutage die hohe Effektivität der Taucherarbeiten. Durch zweckmäßige Kälteschutzbekleidung wird der schlimmste Feind des Tauchers, die Kälte, beherrscht.

In Abhängigkeit von der Wassertemperatur und der Art der Kälteschutzbekleidung muß die Aufenthaltszeit im Wasser bzw. die Tauchzeit begrenzt werden.

Kapitel 4

Tauchermedizin

4.1 Vorbeugender Gesundheitsschutz für Taucher

Der Aufenthalt des Menschen in dem für ihn unnatürlichen Medium Wasser und die damit verbundenen physiologischen Besonderheiten sowie die hohe physischen und psychischen Belastungen bei der Ausbildung und bei Tauchereinsätzen erfordern weitere zusätzliche Maßnahmen für die Erhaltung der Gesundheit und Einsatzbereitschaft der Taucher. Das betrifft im wesentlichen die Einhaltung eines sinnvollen Ruhe-Belastungs-Regimes, eine hohe Qualität der Atemgase, die Notwendigkeit eines Anpassungs- und Belastungstrainings, eine sorgfältige Beachtung des Kälteschutzes, Fragen der Ernährung der Taucher vor, während und nach den Tauchereinsätzen und elementare hygienische Belange.

4.1.1 Ruhe-Belastungs-Rhythmus

Das reine Tauchen als mittelschwere Arbeit, die gegen die Wasserströmung aufzuwendenden Kräfte, die vermehrte Wärmeabgabe im Wasser und die Anstrengungen zur Erfüllung der gestellten Aufgabe haben einen überdurchschnittlichen Energieverbrauch und damit eine relativ schnelle Ermüdung eines Tauchers zur Folge. Übermüdung aber führt zu einem raschen Absinken der Aufmerksamkeit, der Reaktionsfähigkeit und der Güte der zu leistenden Arbeit. Die Übermüdung erhöht auch die Unfallgefahr und das Dekompressionsrisiko. Taucher müssen deshalb vor Tauchgängen immer ausreichend ausgeruht sein.

So sollte der Taucher innerhalb der dem Tauchgang vorangegangenen 24 Stunden Gelegenheit

- zu mindestens 6 Stunden zusammenhängenden Schlaf,
- wenigstens aber 4 Stunden unmittelbar vor Beginn eines Tauchgangs, gehabt haben.

4.1.2 Atemlufthygiene

Eine wesentliche Frage des Gesundheitsschutzes für Taucher ist die der Qualität des Atemgases in den Tauchergeräten. Schließlich hängen von der Atemluft die Leistungsfähigkeit, die Gesundheit und unter Umständen sogar das Leben des Tauchers ab. Das hat seine Ursache in den hohen Partialdrücken bzw. hohen Konzentrationen eventuell vorhandener Verunreinigungen.

Es ist notwendig,

- daß die Atemluftverdichter Atemluft entsprechend der DIN EN 12021 „Druckluft für Atemschutzgeräte“ liefern,
- die Bestimmungen und Betriebsvorschriften der Atemluftverdichter bei der Erzeugung von Druckluft einzuhalten,
- alle atemluftführenden Teile der Taucherausrüstung vorschriftsmäßig zu warten,
- die Atemluft, die geschmacklich wahrnehmbar durch Staub- und Ölbestandteile verunreinigt ist, ist abzulassen. Die Flaschen sind zu „spülen“ und die Luft zu erneuern.

Die Taucherflaschen werden gespült, in dem sie nach dem Entleeren mindesten noch einmal halb gefüllt werden und diese Füllung wieder abgelassen wird. Auch nach längerer Lagerung sollte die Luft erneuert werden.

4.1.3 Anpassungstraining durch Mindesttauchzeit

Die physiologischen Besonderheiten bei Tauchen erfordern ein kontinuierliches Training der Anpassungsfähigkeit des Organismus der Taucher. Das liegt nicht nur im Interesse der Leistungsfähigkeit, sondern auch der Sicherheit des unter Wasser arbeitenden Personalbestandes.

Sogenannte Pflichtstunden, das Tauchen im Rahmen der planmäßigen Ausbildung oder die Erfüllung von Aufgaben, die eine Erreichung einer Mindesttauchzeit zum

Ziel hat, sind eine wichtige Methode, die durch sportliches Tauchen und anderweitiges Training sinnvoll ergänzt werden kann, um die Leistungsfähigkeit, Einsatzbereitschaft und Fertigkeiten der Taucher auszubilden, zu erhalten und zu verbessern. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Taucher entsprechend ihrer Einsatztiefe auch Pflichtstunden erfüllen.

Nach der geltenden Vorschrift (GUV R 2101) muß jeder Taucher innerhalb von 12 Monaten mindestens 10 Tauchgänge unter Einsatzbedingungen mit einer Gesamtauchzeit von 300 Minuten durchführen und sich diese im Taucher-Dienstbuch bestätigen lassen.

4.1.4 Schutz vor Auskühlung

Der höheren Wärmeabgabe des menschlichen Organismus im Wasser versucht man beim Tauchen durch Kälteschutzbekleidung zu begegnen. Die Kälteschutzbekleidung ist den jeweiligen Bedingungen des Gewässers und der Aufgabe von Tauchernaßanzug bis Trockentaucheranzug mit Unterzieher anzupassen. Durch die Verwendung von Vollmasken und Trockentaucherhandschuhen kann man einen noch höheren Schutz vor der Auskühlung erzielen.

Bei niedrigen Wassertemperaturen müssen außerdem die Tauchzeiten begrenzt werden. Diese Maßnahmen sind als Schutz der Taucher vor starker Auskühlung und zur Verhütung von Unterkühlungen mit Gesundheitsschädigungen und lebensbedrohlichen Auswirkungen notwendig.

Folgende Aufenthaltszeiten im Wasser mit unterschiedlicher Kälteschutzbekleidung sollten nicht überschritten werden:

Art der Kälteschutzbekleidung	Maximale Aufenthaltszeit (Minuten) bei Wassertemperaturen (°C) von:					
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18
Tauchernaßanzug	15	30	60	120	180	270
Tauchertrockenanzug	30	60	120	180	270	∞

Grundsätzlich ist die Verfassung des Tauchers zu berücksichtigen und die Tauchzeiten ggf. weiter einzuschränken.

4.1.5 Verpflegung

Die Verpflegung der Taucher muß dem hohen Energieverbrauch der Tauchgänge und den erschwerten Bedingungen während der Tauchereinsätze entsprechen. Sie soll deshalb in ihrer Zusammensetzung stets ausgewogen sein.

Zu beachten ist, daß an Tagen mit geplanten Tauchgängen vor dem Tauchen die Aufnahme besonders blähender Speisen wie Kohl und Hülsenfrüchte zu vermeiden ist. Innerhalb der dem Tauchen vorausgehenden zwei Stunden dürfen Taucher keine Hauptmahlzeiten einnehmen. Kleine Mengen von Nahrungsmitteln können in den Pausen zwischen den Tauchgängen eingenommen werden, ebenso Getränke, um Flüssigkeit zu substituieren, besonders heißer Tee. Kaffee ist wegen der Anregung der Nierentätigkeit weniger geeignet.

Nach dem Genuß von Alkohol und der Einnahme psychotroper Pharmaka muß eine Karenzzeit eingehalten werden. Diese sollte mindestens 24 Stunden betragen.

4.1.6 Reinigung und Desinfektion der Taucherausrüstung

Reinigung der Taucherausrüstung

Das Sauberhalten der Taucherausrüstung ist eine Frage der Hygiene des Tauchers, aber auch der materiellen Werterhaltung. Gründliches Reinigen aller Ausrüstungsteile hat grundsätzlich nach jedem Tauchgang zu erfolgen. Dazu reicht in aller Regel das Abspülen mit klarem Wasser.

Taucheranzüge sind in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad regelmäßig zu waschen. Dies kann sowohl als Handwäsche wie auch in der Waschmaschine bei 30°C mit Feinwaschmittel erfolgen. Unterzieher für Tauchertrockenanzüge sind vor Übergabe zur Nutzung durch andere Taucher und vor längerer Lagerung zu waschen.

Desinfektion von Taucherausrüstung

Eine Desinfektion der Taucherausrüstung ist erforderlich:

- nach Tauchgängen in verunreinigten Gewässern,
- vor Übergabe der Ausrüstung zur Nutzung durch andere Taucher und vor der Lagerung,
- nach Gebrauch der Taucherausrüstung durch einen infektiös erkrankten Taucher.

Dabei werden nach dem Bekanntwerden einer infektiösen Erkrankung alle Teile der Taucherausrüstung desinfiziert, während sonst nur ihre atemluftführenden Teile und diejenigen, die mit der Haut und der Schleimhaut in Berührung kommen, zu behandeln sind. Für die Desinfektion sind nur die vom Hersteller empfohlenen Desinfektionsmittel zu verwenden.

Der Desinfektion hat eine gründliche Reinigung vorauszugehen. Nach der Behandlung mit Desinfektionsmitteln und der entsprechenden Einwirkzeit sind alle Teile der Taucherausrüstung sorgfältig mit sauberem Wasser zu spülen.

4.2 Medizinische Sicherstellung von Tauchereinsätzen

In Übereinstimmung mit der GUV R 2101 ist für die medizinische Sicherstellung von Tauchereinsätzen grundsätzlich der Tauchereinsatzleiter verantwortlich.

Der Tauchereinsatzleiter legt in Abhängigkeit der äußeren Umstände und der Aufgabe des Tauchauftrags fest, ob der Tauchgang durch die Anwesenheit eines Arztes, Angehörige des Rettungsdienstes oder den Sanitätshelfer seiner Gruppe sichergestellt werden muß.

4.2.1 Inhalt und personelle Realisierung der medizinischen Sicherstellung

Die medizinische Sicherstellung von Tauchereinsätzen ist nicht nur Angelegenheit des Tauchereinsatzleiters, sondern auch Sache der Unternehmer der Hilfeleistungsunternehmen im Sinne der GUV R 2101 (z.B. Ortsbeauftragte des THW, Vorsitzende der Ortsgruppen von DLRG und Wasserwacht), denen Tauchergruppen unterstellt sind, besonders aber Angelegenheit der Angehörigen des Tauchdienstes. Dazu ist es notwendig, daß jeder Angehörige des Tauchdienstes im Not-

fallmanagement, in grundlegenden Maßnahmen der Ersten Hilfe und in Maßnahmen bei speziellen Taucherunfällen ausgebildet ist und diese beherrscht.

Der Inhalt der medizinischen Sicherstellung

Die medizinische Sicherstellung von Tauchereinsätzen umfaßt:

- Kontrolle der Gültigkeit der nach G 31 notwendigen Vorsorgeuntersuchung „Überdruck“ aller Taucher und
- Gesundheitsbefragung vor und nach den Tauchgängen durch den Tauchereinsatzleiter;
- Erste-Hilfe-Leistung beim Auftreten von Schädigungen beim Tauchen;
- Maßnahmen der medizinischen Betreuung;
- Abtransport geschädigter Taucher unter Fortsetzung der Erste-Hilfe-Leistung;
- zusätzliche Maßnahmen bei Tauchereinsätzen, deren tiefenabhängige Grundzeiten die Normalwerte überschreiten und im Grenzbereich liegen.

Verantwortlichkeit bei der medizinischen Sicherstellung

Alle Angehörige des Tauchdienstes müssen eine ausreichend umfangreiche medizinische Ausbildung erhalten. Dieses allgemein als „Tauchermedizin“ bezeichnete Ausbildungsfach soll sie in die Lage versetzen, bestimmte Zusammenhänge zwischen dem Tauchen und den anatomisch-physiologischen Bedingungen des menschlichen Organismus zu erkennen.

Tauchereinsätze mit normalen Grundzeiten, die keine die Taucher gefährdenden besonderen Schwierigkeiten aufweisen und bei denen erfahrene Taucher die Tauchgänge durchführen, werden in der Regel vom Leiter des Tauchereinsatzes bzw. dem Sanitätshelfer der Tauchergruppe medizinisch sichergestellt.

Die Anwesenheit der Angehörigen des Rettungsdienstes ist notwendig, wenn die Kompliziertheit der Tauchgänge, die Umstände, unter denen sie durchgeführt werden müssen, oder der Ausbildungsstand der Taucher die Bereitschaft zur ersten medizinischen oder zur ärztlichen Hilfe erfordern.

Dies trifft zu, bei:

- Tauchereinsätzen, deren Grundzeit die Normalwerte überschreiten und im Bereich der Grenzwerte liegen, die deshalb also zusätzliche Maßnahmen der medizinischen Sicherstellung notwendig machen;
- Tauchereinsätzen, die unabhängig von der Tauchtiefe und der Grundzeit durch ihre Kompliziertheit oder durch die Umstände, unter denen sie durchgeführt werden müssen, die Bereitschaft zur ärztlichen Hilfe an der Einstiegsstelle erfordern (z.B. Tauchen in unübersichtlichen Systemen gedeckter Räume).

4.3 Die wichtigsten taucherspezifischen Schädigungen beim Tauchen mit Luft als Atemgas

4.3.1 Begriffsbestimmung und Einteilung der taucherspezifischen Schädigungen

Begriffsbestimmung

Spezifische Schädigungen beim Tauchen werden im allgemeinen Sprachgebrauch als Taucherkrankheiten bezeichnet. Die darunter fallenden Gesundheitsstörungen treten meist als Unfall in Erscheinung, d.h. sie treten relativ plötzlich auf und haben einen raschen Verlauf.

Diese Gesundheitsstörungen können vorkommen:

- als Folge erhöhten Luft- oder Wasserdrucks bei Druckabfall;
- als Folge von Druckdifferenzen zwischen luftgefüllten Hohlräumen am und im Körper;
- als Folge veränderter Partialdrücke der Atemgase;
- bei Benutzung verschiedener Taucherausrüstungen und beim Unterwasser-aufenthalt.

Einteilung der taucherspezifischen Schädigungen

Aus dem Entstehungsmechanismus und dem Verlauf der Taucherkrankheiten ist eine Einteilung ableitbar.

Es werden Erkrankungen und Unfälle unterschieden:

- die durch Druckabfall und Druckdifferenzen bedingt sind:
 - Dekompressionskrankheit;
 - Barotrauma luftgefüllter Hohlräume;
 - Taucherabsturz;
 - Hirndrucksyndrom beim Tauchen.
- die durch Veränderungen der Partialdrücke der Atemgase bedingt sind:
 - Sauerstoffmangel;
 - Sauerstoffvergiftung;
 - Kohlenstoffdioxidvergiftung;
 - Stickstoffnarkose (Tiefenrausch).
- die beim Aufenthalt im oder unter Wasser oder bei der Benutzung verschiedener Taucherausrüstungen auftreten können:
 - Unterkühlung;
 - Kohlenstoffdioxidvergiftung (Essouflement);
 - Ertrinken;
 - Unterwasserdetonationsbarotrauma.

4.3.2 Erkrankungen und Unfälle durch Druckabfall und Druckdifferenzen

Dekompressionskrankheit

Die Hauptursache der Dekompressionskrankheit ist die Aufsättigung der Körpergewebe mit Stickstoff, die im Gesetz von Henry beim atmen von Stickstoff/Sauerstoffgemischen (Luft) begründet liegen.

Sowohl die physikalischen Faktoren des Henryschen Gesetzes, als auch physische Faktoren des menschlichen Organismus haben ihre Bedeutung für die Entstehung einer Dekompressionskrankheit:

- der Druck in der Tauchtiefe: Je höher der absolute Druck ist, desto schneller wird Stickstoff aufgenommen.
- die Tauchzeit: Je länger der Taucher dem erhöhten Druck ausgesetzt ist, umso mehr Stickstoff wird sich in seinen Geweben gelöst haben.
- die Auskühlung: Je stärker der Taucher während des Tauchgangs auskühlt, je besser können die Gewebe Stickstoff halten.
- das Atemminutenvolumen: Die Grenzoberfläche zwischen Gas (Luft) und Organismus stellt die Lunge dar. Desto tiefer und häufiger der Taucher atmet, um so größer ist die belüftete Oberfläche und um so schneller geht die Aufnahme des Stickstoffs vonstatten.
- Der Trainingszustand des Tauchers, d.h. der Körperfettanteil (Löslichkeitsfaktor).

Durch das Atmen von Luft im Überdruck wird dem Körper vermehrt Stickstoff zugeführt. Während Abstieg und Aufenthalt eines Tauchers in der Tiefe sättigen sich die Körpergewebe mit dem Inertgas entsprechend dem erhöhten Partialdruck im Atemgas auf.

Der während des Tauchgangs im Körper in vermehrtem Ausmaß physikalisch gelöste Stickstoff muß beim Auftauchen wieder über die Lunge abgegeben werden.

Da der Stickstoff, im Gegensatz zum Sauerstoff, nicht verbraucht wird, kann er nur über das Gefäßsystem aus den Geweben abtransportiert, über die Lunge abgeatmet und so aus dem Körper entfernt werden. Erfolgt die Abnahme des Umgebungsdruckes langsam, so kann der Stickstoff aus dem Körper abgeatmet werden, ohne daß sich Anzeichen einer Dekompressionskrankheit einstellen.

Sollte der Taucher zu schnell auftauchen oder sich nicht an die vorgeschriebenen Dekompressionsstufen halten, so kann das stickstoffhaltige Gewebe nicht schnell genug entsättigt werden und es kommt zur Bildung von Mikrogasblasen in Körperflüssigkeiten und Körpergeweben (schnell aufgedrehte Flasche mit Mineralwasser).

Abhängig von der Menge und Ort der entstandenen Bläschen können vielfältige Erscheinungen im Verlauf der Dekompressionskrankheit auftreten. Es kann zu Hautsymptomen (Juckreiz, marmorierte Verfärbung, Flüssigkeitsansammlungen), Muskel- und Knochenschmerzen, Gelenkschmerzen, zu unspezifischen Beschwerden (Krankheitsgefühl, Müdigkeit, etc.), sowie zu neurologischen Ausfäll-

len (Seh-, Hör-, Sprechstörungen bis hin zur Querschnittssymptomatik) und Herz-Lungen-Problemen kommen.

Je nach Beschwerdebild unterscheidet man bisher üblicherweise den Typ I und den Typ II der Dekompressionskrankheit.

Beim Typ I ist das Leitsymptom Schmerz, der in Folge von lokalen Raumforderungen mit nachfolgendem entzündlichen Reiz begründet liegt. Betroffen sind vor allem

- die Haut
 - Juckreiz auch »Taucherflöhe«,
 - Rötung und
 - Marmorierung
- der aktive Bewegungsapparat
 - Muskelschmerzen (wie Muskelkater)
- und der passive Bewegungsapparat
 - Gelenkschmerzen, s.g. Bends (ausgehend von der gebeugten Schonhaltung des betroffenen Gelenks; to bend (englisch): beugen).

Beim Typ II sind

- das zentrale Nervensystem,
 - Müdigkeit, Verwirrung, Orientierungsverlust
 - Schwindel, Übelkeit, Brechreiz, Tinnitus, Hörverlust
 - Seh- und Sprachstörung
 - Halbseiten- oder Querschnittslähmung
 - Krämpfe
 - Bewußtlosigkeit
- die Lunge und das Herz betroffen, s.g. Chokes (in den Blutbahnen der Lunge auftretende Gasblasenansammlungen).
 - Atemnot durch behinderten Gasaustausch
 - Sauerstoffmangel
 - Schmerzen in der Brust

- Schock

Weist ein Taucher nach einem Tauchgang Anzeichen einer Dekompressionskrankheit auf, muß sofort ärztlich gehandelt werden, was ein schnellen Notruf voraussetzt. Dies gilt auch für alle unklaren Erkrankungen, die in einem zeitlichen Zusammenhang mit einem Tauchgang stehen. Eine Unterscheidung zwischen Dekompressionserkrankung und Barotrauma der Lunge mit arterieller Gasembolie (AGE) und neurologischer Symptomatik kann schwierig oder unmöglich sein, schon weil beide Schädigungen gleichzeitig vorliegen können.

Bis zu einem Abtransport eines geschädigten Tauchers in eine Druckkammer stehen die Kontrolle und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen (Atmung und Kreislauf) im Vordergrund. Die Lagerung des Geschädigten richtet sich nach dessen Bewußtseinslage. Flache Rückenlagerung mit erhöhten Extremitäten (Antischocklagerung) bei vorhandenem Bewußtsein, stabile Seitenlagerung bei einem Bewußtlosen. Ist der Taucher wach und ansprechbar, kann durch Befragen der Tauchgang rekonstruiert und dokumentiert werden, was für eine spätere Behandlung von Bedeutung sein kann. Wichtig hierfür ist ebenfalls die Aufbewahrung aller Instrumente (Tiefenmesser, Uhr, Tauchcomputer), die üblicherweise Tauchtiefe und Tauchzeit speichern. Die sofortige kontinuierliche Gabe von Sauerstoff über eine Maske ist günstig, um den Stickstoff schneller zu eliminieren und eine bessere Sauerstoffversorgung des Gewebes zu erreichen.

Bei einem Herz-Kreislauf-Stillstand wird nach den allgemeinen Richtlinien (siehe Herz-Lungen-Wiederbelebung) reanimiert. Wärmeverlust und Unterkühlung müssen durch geeignete Maßnahmen verhindert werden.

Nach Kontrolle und Stabilisierung der Vitalfunktionen des geschädigten Tauchers muß der möglichst schonende direkte Transport mit Arztbegleitung in ein aufnahmebereites (Vorankündigung über die Rettungsleitstelle!) und geeignetes Druckkammerzentrum erfolgen. Während eines Transportes ist auf Erschütterungsarmut zu achten und die Sauerstoffgabe in jedem Fall fortzuführen. Bei Hubschrauber-Transporten sollte eine minimale Flughöhe gewählt werden, sonst kann es durch den entstehenden Druckverlust zu einem erneuten Ausperlen von Gasblasen aus dem Gewebe kommen.

Barotrauma

Ein **Barotrauma** (von griechisch: baros = schwer und trauma = Wunde) ist eine Verletzung von i.d.R. luftgefüllten Körperteilen infolge der Einwirkung einer Druckdifferenz zwischen Gasdruck im Hohlraum und Außendruck.

Beim Tauchen tritt diese Verletzung dann auf, wenn sich gasgefüllte Hohlräume des Körpers der Druckänderung beim Ab- und Auftauchen nicht oder nicht schnell genug anpassen können. Man unterscheidet hierbei Traumas die durch Unterdruck im entsprechenden Hohlraum beim Abtauchen oder durch Überdruck beim Auftauchen entstehen.

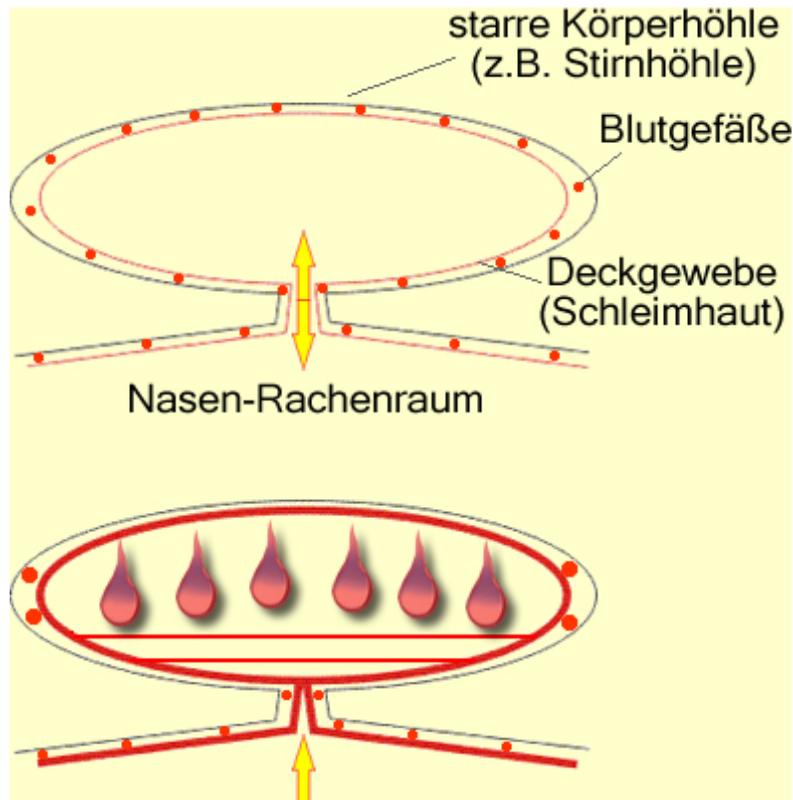


Abbildung 34: Barotrauma Nasennebenhöhle:

*oben: mit Deckgewebe ausgekleidete Schädelhöhle; der Druckausgleich funktioniert unmerklich

*unten: Verbindungskanal durch geschwollene Schleimhaut verschlossen, Druckausgleich nicht möglich, Unterdruck im Hohlraum staut Gewebsflüssigkeit in den Gefäßen an, die schließlich zerstört werden, so wird Gewebsflüssigkeit eingeschwemmt und der Hohlraum verkleinert

Wird ein luftgefüllter Hohlraum beim Abtauchen nur unzureichend belüftet, so wird durch den Unterdruck zunehmend Flüssigkeit in den, den Hohlraum auskleidenden, Gewebe angestaut. Begünstigt wird dieser Umstand noch dadurch, daß sich der erhöhte Umgebungsdruck, der auf den Körper wirkt, durch die Gewebsflüssigkeiten im gesamten Körper ausbreitet. Hat der Unterdruck eine gewisse Stärke erreicht (i.d.R. reichen 0,07 bar was einer Wassersäule von 70 cm entspricht) so kommt es zur Zerstörung des Gewebes und zur Einschwemmung von Flüssigkeit in die Körperhöhle. Dadurch wird das Volumen verringert und es kommt zum Druckausgleich (siehe Gesetz von Boyle-Mariotte).

Beim Auftauchen führt der zunehmende Druck in der Körperhöhle zu einer Überdehnung des Gewebes und schließlich zu dessen Zerreißung.

Je nachdem wo diese Verletzung auftritt, unterscheidet man verschiedene Arten des Barotraumas.

Barotrauma der Nasennebenhöhlen

Alle Hohlräume im menschlichen Schädel (Nasennebenhöhlen) stehen ständig mit dem Nasen-Rachen-Raum in Verbindung und sollten, ohne daß es der Taucher merkt, Druckausgleich bekommen. Durch eine Erkältung schwellen aber die Schleimhäute im Nasen-Rachen-Raum an und es kann zum Verschuß der Nasennebenhöhlen kommen.

Bei einer Minderbelüftung der Nasennebenhöhlen spürt der Taucher einen stechenden Schmerz in dem Bereich, in dem der entsprechende Hohlraum lokalisiert ist. So macht sich z.B. ein Problem in der Stirnhöhle durch ein Stechen von hinten in die Augen bemerkbar oder in der Keilbeinhöhle durch einen allgemeinen stechenden Kopfschmerz.

Treten solche Schmerzen auf, so ist der Tauchgang abubrechen. Lassen die Schmerzen nach der Druckentlastung nicht nach, so können abschwellende Mittel eine kurzzeitige Belüftung des geschädigten Hohlraumes und damit einen Druckausgleich schaffen. Daraufhin sollten auch die Schmerzen nachlassen.

Es sei jedoch dringend davon abzuraten solche Mittel vor dem Tauchgang zu verwenden, um eine Belüftung der Nasennebenhöhlen zu erreichen. Durch das Nachlassen der abschwellenden Wirkung dieser Mittel während des Tauchganges wird der erhöhte Umgebungsdruck im Hohlraum eingeschlossen und kann beim Auftauchen nicht abgegeben werden.

Barotrauma des Ohres

Auf Grund der Anatomie des Ohres kann jeder der drei Abschnitte (Außen-, Mittel- und Innenohr) eine Druckschädigung erfahren. Im Allgemeinen ist aber das Mittelohr, welches sich in der Paukenhöhle des Schädels befindet, gemeint, wenn von einem Barotrauma des Ohres ausgegangen wird.

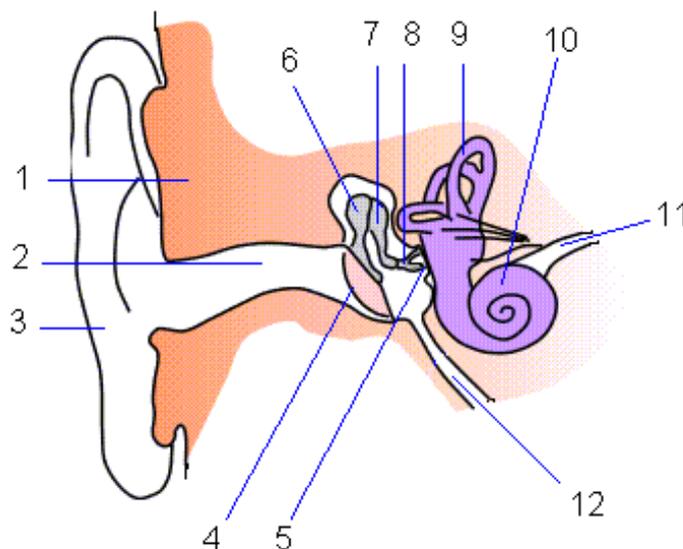


Abbildung 35: (1)Schädel, (2)Gehörgang, (3)Ohrmuschel, (4)Trommelfell, (5)ovales Fenster, (6)Hammer, (7)Ambos, (8)Steigbügel, (9)Bogengänge, (10)Gehörschnecke, (11)Hörnerv, (12)Eustachische Röhre

Da das Mittelohr zum Gehörgang durch das Trommelfell abgeschlossen ist, ist die einzige Verbindung des Mittelohres zum Nasen-Rachen-Raum, und damit die Möglichkeit einen Druckausgleich mit der Umgebung herzustellen, die Eustachische Röhre. Da diese wie der Schalltrichter einer Trompete geformt wird sie im Volksmund auch als „Ohrtrompete“ bezeichnet.

Um zu verhindern, daß Bakterien aus dem Nasen-Rachen-Raum in das Mittelohr gelangen, ist die Eustachische Röhre geschlossen und wird nur von Zeit zu Zeit bei Schluck- und Kaubewegungen zur Belüftung des Mittelohres geöffnet (siehe Herstellen des Druckausgleichs im Mittelohr).

Ist nun die Belüftung des Mittelohres durch das Anschwellen der Schleimhaut behindert oder wird der Druckausgleich zu spät hergestellt kommt es durch den

anstehenden Wasserdruck zu einer Dehnung des Trommelfells nach innen. Dies führt zu einem stechenden Schmerz im betroffenen Ohr. Außerdem wird das Gewebe des Mittelohres geschädigt, was in der Folge zu Entzündungen führen kann. Durch die in das Mittelohr eintretende Gewebsflüssigkeit hat der Geschädigte das Gefühl Wasser im Ohr zu haben, was später nur langsam nachläßt. Wird der Tauchgang daraufhin nicht abgebrochen, kann es zum Einreißen des Trommelfells kommen. Daraufhin läßt der stechende Schmerz sofort nach und kaltes Wasser dringt in das Mittelohr ein.

Durch die unterschiedlichen Druckverhältnisse, die bei einem Barotrauma des Mittelohres in beiden Ohren auftreten können, spätestens aber jedoch beim Eindringen des kalten Wassers in das Mittelohr kommt es zu einer Irritation des Gleichgewichtsorgans im Innenohr. Dies führt zu Schwindel und Erbrechen bis hin zum Orientierungsverlust und Panik.

Zu einer mittelbaren Schädigung des Innenohres, mit Folgen bis hin zum Hörverlust, kann es kommen, wenn der Taucher versucht den Druckausgleich mit Hilfe des Valsalva-Manövers zu erzwingen. Durch ein plötzliches Eindringen des Drucks durch die Eustachische Röhre in das Mittelohr kann der Steigbügel in das ovale Fenster gedrückt werden. Der dadurch entstehende Druck in der Gehörschnecke kann sich bis zum kleineren runden Fenster fortsetzen und hier zur Zerstörung der Membran führen. Die Folge wäre ein Auslaufen der Endolymphe aus der Gehörschnecke.

Durch die große Öffnung des Gehörganges nach außen kommt es selten zu einer Schädigung des Außenohres durch Druckdifferenzen. Durch eng anliegende Kopfhauben oder die Verwendung von Ohrstöpseln kann es zu Schädigungen des Gewebes im Gehörgang kommen. Das größere Problem besteht dabei aber in einem Eindringen des Umgebungsdrucks in das Mittelohr. Dieser erhöhte Druck kann ebenfalls zu einer Überdehnung oder gar einem Einreißen des Trommelfells, diesmal aber nach außen, führen.

Barotrauma der Lunge

Die Lunge ist der größte luftgefüllte Hohlraum des menschlichen Körpers und unterliegt somit im besonderen Maße den Druckveränderungen in den der Kompressions- und Dekompressionsphase eines Tauchganges. Durch ihre extreme Flexibilität kann sie allerdings gewisse Druckschwankungen gut ausgleichen.

Beim Apnoetauchen (Tauchen mit angehaltenem Atem) paßt sich die Lunge dem zunehmenden Umgebungsdruck durch Verminderung ihres Volumens an. Diese Möglichkeit ist aber durch den knöchernen Brustkorb auf das Residualvolumen (siehe Physiologie der Atmung) begrenzt. Wird der Umgebungsdruck nach errei-

chen des Residualvolumens der Lunge durch weiteres Tieftauchen weiterhin erhöht kommt es zur Einschwemmung von Gewebsflüssigkeit in die Lunge (**Ödem-bildung**) und damit zur Schädigung der Lunge.

Eine Schädigung durch Überdruck kann die Lunge beim Tauchen mit dem Drucklufttauchgerät erfahren. Da der Lungenautomat den Taucher ständig mit Umgebungsdruck versorgt, kommt es beim Auftauchen mit angehaltenem Atem zu einer Überdehnung und schließlich zum einreißen des Lungengewebes. Je nach dem ob der Einriß im Inneren der Lunge oder an deren äußeren Rand entsteht unterscheidet man zwischen zentralen und peripheren **Lungenriß**.

Beim zentralen Einreißen des Lungengewebes wird die dünne Trennwand zwischen Luftraum der Lunge und den, die Alveolen umgebenden, Blutgefäßen zerstört. Dies kann dazu führen, daß Luft in die Blutbahn übertritt, was wiederum eine **arterielle Gasembolie** zur Folge haben kann. Blockieren die so in den Kreislauf geratenen Gasblasen Gefäße, die lebenswichtige Organe (z.B. Gehirn oder Herz) mit Sauerstoff versorgen, so kommt es zu lebensbedrohlichen Schädigungen dieser Organe.

Der periphere Lungenriß ist vor allem dadurch gekennzeichnet, daß Luft in den Pleuraspalt eindringt und damit den Unterdruck neutralisiert, der das Lungengewebe der Bewegung des Brustkorbes folgen läßt. Durch die Eigenflexibilität des Lungengewebes zieht sich der betroffene Teil der Lunge zusammen. Der so kollabierte Teil der Lunge kann somit nicht mehr belüftet werden und steht zum Atmen nicht mehr zur Verfügung. Dies kann zu starker Atemnot bis hin zu lebensbedrohlichen Zuständen führen. Man spricht von einem **Pneumothorax**.



Abbildung 36: Pneumothorax: Querschnitt durch einen Brustkorb. Rechts ist die Lunge "zusammengefallen" (große schwarze Bereiche).

Baut sich bei einem Pneumothorax durch eine Ventilwirkung des geschädigten Lungengewebes Druck im Brustkorb (Thorax) auf, so spricht man von einem Spannungspneumothorax. Der starke Druck in der betroffenen Thoraxseite sorgt dafür, daß das Herz und die großen Gefäße im Mittelfellraum komprimiert werden, der Rückstrom des Blutes und die Möglichkeit des Herzens sich zu füllen ist stark behindert, es kommt zum Schock und Kreislaufversagen.

Der Pneumothorax ist gekennzeichnet durch:

- Stechender Schmerz in der betroffenen Thoraxhälfte
- Hustenreiz, Atemnot
- "Nachhängen" der betroffenen Thoraxhälfte
- Eventuell Hautemphysem gerade im Halsbereich (die Haut knisternd wenn man mit dem Finger darauf drückt)
- Abgeschwächtes Atemgeräusch auf der betroffenen Seite
- Lauter Klopfeschall auf der betroffenen Seite

Bei Spannungspneumothorax zusätzlich:

- Zunehmende Atemnot
- Blaufärbung der Haut (gerade Lippen, Ohren und um die Nase)
- rasender Puls, Blutdruckabfall (schwächer werdender Puls)
- Gestaute Halsvenen
- Schock

Die Behandlung des Pneumothorax zielt darauf ab, die kollabierte Lunge durch das Einlegen einer Thoraxdrainage, wieder zu entfalten. Bis zum Einlegen einer [Thoraxdrainage](#), ist es wichtig dem Geschädigten sofort Sauerstoff zu verabreichen.

Anders verhält sich dies jedoch beim Spannungspneumothorax, hier kann die Sauerstoffgabe nur wenig helfen, da der Kreislauf durch die Druckerhöhung im Brustkorb extrem gefährdet ist. Sofortige Entlastung des Pneumothorax, durch Punktion der betroffenen Brustkorbseite ist die einzig nutzbringende Therapie. Aus diesem Grund ist es notwendig, daß der Geschädigte so schnell wie möglich medizinisch behandelt (Notarzt !!!) wird.

Barotrauma der Zähne

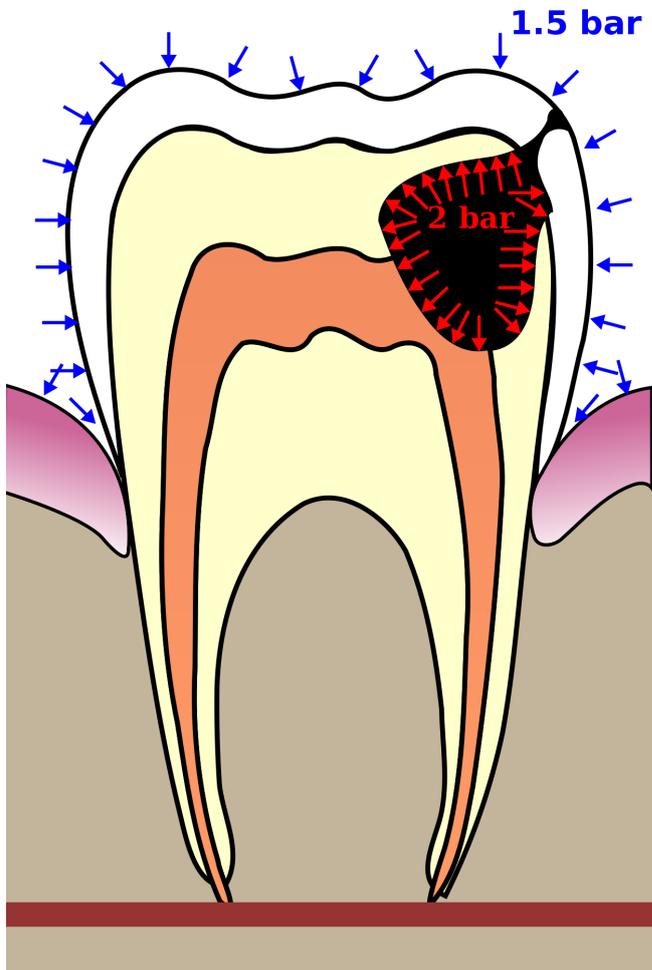


Abbildung 37: Zähne können durch ein Barotrauma regelrecht "gesprengt" werden.

Bei einem völlig gesunden Zahnstatus kann es nicht zu einem Barotrauma der Zähne kommen. Liegt jedoch Karies vor, so daß es zu kleinen luftgefüllten Hohlräumen in den Zähnen kommen kann, oder ist unter einer Zahnfüllung ein Hohlraum, der durch einen Haarriß Verbindung nach außen hat, besteht das gleiche Problem wie bei dem Barotrauma der Nasennebenhöhlen.

Beim Abtauchen kommt es zu einem Druckanstieg in den Zähnen, mit einer resultierenden Volumenverringerng in dem kariös veränderten Zahn oder in einem Hohlraum unter einer Zahnfüllung. Wenn sich beim Aufstieg dieser Hohlraum, z.B. durch Essenreste oder Speichel verschließt, kann es zu einer Druck-

erhöhung im Zahn kommen. Folglich kann die Zahnfüllung oder der ganze Zahn "gesprengt" werden.

Aus diesem Grund ist immer auf einen sanierten Zahnstatus zu achten. Man kommt also als Taucher nicht an den regelmäßigen Zahnarztbesuchen vorbei.

Barotrauma der Augen

Da der Taucher aufgrund der Anatomie der Augen dazu gezwungen ist Luft vor seine Augen zu bringen, um sehen zu können, entsteht vor den Augen ein künstlicher luftgefüllter Hohlraum, der ebenfalls dem Gesetz von Boyle-Mariotte unterliegt.

Ein Barotrauma des Auges kann entstehen, wenn in diesem künstlichen Hohlraum kein Druckausgleich durchgeführt wird oder werden kann. Dies kann z. B. dann passieren, wenn statt einer normalen Tauchmaske, bei der Nase und Augenraum verbunden sind, eine Schwimmbrille zum Tauchen benutzt wird oder der Taucher nicht regelmäßig Druckausgleich in der Maske durchführt.

Der in diesem künstlichen Hohlraum vor den Augen entstehende Unterdruck führt zum Anstauen von Blut in den Gefäßen der Bindehaut, die schließlich platzen werden. Die Folge können Blutergüsse in der Bindehaut sein.

Barotrauma der Haut

Ein Barotrauma der Haut entsteht durch Faltenbildung im Membran-Trockentauchanzug. Da Neopren i.d.R. keine Falten bildet ist die Gefahr eines Barotraumatis der Haut bei Trockenanzügen aus diesem Material nicht gegeben.

Im Membran-Trockentauchanzug wird bei zunehmendem Umgebungsdruck die Haut in die Falten des Tauchanzugs gedrückt was zu Hämatomen führen kann. Nach dem Tauchgang zeigen sich peitschenschlagartige blutunterlaufene Streifen am ganzen Körper.

Zur Vorbeugung sollte bei Membran-Trockentauchanzügen dicke, möglichst glatte Unterzieher getragen werden, außerdem muß ständiger Druckausgleich durchgeführt werden.

Unklare Kopfschmerzen bei Tauchern

In der Taucherpraxis wird immer wieder das Auftreten von Kopfschmerzen beobachtet, deren äußere Ursachen nicht immer zu klären sind. Nach bisherigen Erfahrungen können für diese Kopfschmerzen folgende Ursachen genannt werden:

- Hohe Atemleistung bei schwerer Taucherarbeit oder bei hohen Unterwasserschwimmgeschwindigkeiten und beim Tauchen in starker Strömung,
- Starker Kältereiz,
- Emotionale Spannung, Angst (gerade bei Anfängern),
- Bluthochdruck,
- Unreines Atemgas.

Jeder Taucher kann von diesen Kopfschmerzen betroffen werden. Treten sie auf, ist der Tauchgang zu beenden und der Taucher sollte warm Duschen oder Baden. Gehen die Kopfschmerzen nicht in kurzer Zeit zurück, ist ärztliche Behandlung zu veranlassen.

Zu ihrer Vermeidung sollte folgendes beachtet werden:

- Richtig eingestellte Lungenautomaten.
- Ausreichender Kälteschutz (gerade auch für den Kopf).
- In der Ausbildung sind physischer Trainingszustand und emotionale Resistenz zu erhöhen.
- Langsam und ruhig Atmen, vermeiden von Atemanhalten und Preßatmung.
- Fachgerechtes Füllen der Tauchgeräte und regelmäßige Kontrolle der Atemluft.

4.3.3 Erkrankungen und Unfälle, die durch veränderte Atemgaspartialdrücke bedingt werden

Sauerstoffmangel

Zu einem Sauerstoffmangel kommt es, wenn der Sauerstoffpartialdruck in der Einatemluft unter 0,16 bar absinkt. Beim Tauchen mit autonomen Drucklufttauchgerät ist die Möglichkeit eines Sauerstoffmangels von technischer Seite aus nicht gegeben, es sei denn der Luftvorrat ist erschöpft und das AUSTAUSCHEN behindert.

Dringt allerdings Wasser in den Nasenrachenraum ein, kann es zu einem reflektorischen Atemstillstand (siehe trockenes Ertrinken) kommen. Im leichtesten Fall reicht schon Wasser, welches im Nasenraum der Maske steht und so einen Reiz an der Nasenscheidewand auslöst, der zu einer Einschränkung der Atemtätigkeit führt und damit zu einem Absinken des O_2 -Angebotes in der Lunge.

Sauerstoffvergiftung

Sauerstoff ist ein sehr reaktives Gas, welches aber auf Grund seiner Reaktionsfreudigkeit für den menschlichen Organismus notwendig ist, um lebenswichtige Stoffwechselfvorgänge aufrecht zu erhalten. Der menschliche Organismus ist für eine Sauerstoffkonzentration von 0,21 bar optimiert. Die Toleranzgrenzen sind aber weit gesteckt. So ist der Mount Everest (8850 m) ohne Sauerstoffgeräte bestiegen worden und die therapeutische Wirkung von hyperbarer Sauerstoffbehandlung erwiesen.

Aber Sauerstoff ist über längere Zeit und unter erhöhtem Druck ein Zellgift. Die Reparaturmechanismen des Körpers kommen nicht mehr dagegen an und die schädlichen Effekte nehmen überhand.

Es gibt keine absolut gültigen Grenzwerte, ab wann Sauerstoff (O_2) für den Menschen giftig wird, da eine derartige Wirkung auch von subjektiven Kriterien des Menschen abhängt. Aber man kann feststellen, daß Sauerstoff mit einem Partialdruck, der größer als 1,6 bar ist, etwa ab 45-minütiger Einwirkungszeit giftig wirkt. Reiner Sauerstoff wirkt ab einer Tiefe von etwa sieben Metern giftig, das entspricht einem Partialdruck von 1,7 bar. Mit reiner Luft als Atemgas liegt diese Grenze bei ungefähr 70 m Tiefe, bei *NITROX*-Gemischen entsprechend eher.

Der Sauerstoff schädigt oder zerstört sogar Alveolen der Lunge und wirkt sich schädlich auf des Nervensystem aus.

Gekennzeichnet ist die Sauerstoffvergiftung durch:

- Sehstörungen
- Übelkeit
- Muskelzuckungen
- Epilepsieähnliche Anfälle
- Bewußtlosigkeit

Kohlendioxidvergiftung

Die Luft enthält nur geringe Mengen von Kohlendioxid (ca. 0,03%). Bei unsachgemäßem Füllen der Tauchgeräte kann der CO_2 -Gehalt der Atemluft im DTG steigen. Unter erhöhtem Umgebungsdruck wird dadurch die Giftigkeitsgrenze schnell überschritten. Eine Rückatmung der Ausatemluft aus einem überlangen Schnor-

chel (Pendel- oder Totraumatemung) und eine verbrauchte oder defekte Atemkalkpatrone bei Sauerstoff-Tauchgeräten können ebenfalls zu einer Vergiftung führen.

Anzeichen für eine CO_2 -Vergiftung sind Lufthunger, Schweißausbrüche und Kopfschmerzen, Schwindelgefühl verbunden mit Übelkeit und Bewußtseinstörungen mit allen erschwerenden Folgen unter Wasser.

Beim Auftreten der Symptome ist der Tauchgang zu beenden, bei einem so geschädigten Taucher ist 100% Sauerstoffgabe durchzuführen.

Aber auch beim Tauchen mit einem einwandfreien DTG kann es zu einer Kohlendioxidvergiftung kommen. Der Fachbegriff dafür ist Essoufflement, französisch für „Atemlosigkeit“.

Die Ursache ist eine Ermüdung der Atemmuskulatur. Dazu kommt es, wenn die Dichte der Luft durch den erhöhten Umgebungsdruck zunimmt, so daß eine größerer Luftmenge transportiert werden muß und dadurch der Atemwiderstand ansteigt. Aber auch aufgrund eines überdimensionierten Gewichtsgurtes kann es zum Essoufflement kommen, da das Jacket übermäßig befüllt werden muß und damit der Arbeit der Atemmuskulatur entgegenwirkt.

Es kommt zu einer schnellen, hektischen und oberflächlichen Atmung, bei der kaum noch Luft in der Lunge ausgetauscht wird. Als Folge steigt der Kohlendioxidspiegel immer mehr an, was durch den wiederum verstärkten Atemreiz zu noch schnellerer Atmung führt - ein Teufelskreis, aus dem nur schwer wieder zu entkommen ist!

Beim Taucher macht sich das Essoufflement dadurch bemerkbar, daß er hektisch atmet, offensichtlich kaum noch Luft bekommt, und langsam panisch wird. Die Symptome des Essoufflement sind Kopfschmerzen, starker Lufthunger, der auch durch schnelleres Atmen nicht gestillt werden kann. Durch den einsetzenden Sauerstoffmangel kommt es dann zu den üblichen Anzeichen der CO_2 -Vergiftung, Schwindel, Übelkeit und Bewußtlosigkeit, falls der Betroffene nicht aus Panik bereits zur Oberfläche geschossen ist.

Bekämpfen läßt sich das Essoufflement, indem der Taucher alle Arbeiten einstellt und ggf. etwas höher taucht, um dem Atemwiderstand zu reduzieren. Auch einige tiefe Atemzüge verbessern die Lage, falls der Taucher dazu noch in der Lage ist - der Atemreiz zwingt zu einer immer schneller und flacher werdenden Atmung.

Kohlenmonoxidvergiftung

Kohlenmonoxid kommt normalerweise in der Atemluft nicht vor, entsteht aber bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Treibstoffen. Es ist extrem giftig, da es sich mit dem Sauerstoffträger des Blutes - dem Hämoglobin - etwa 250 mal besser verbindet als die Verbindung zwischen Hämoglobin und Sauerstoff. Das mit *CO* besetzte Hämoglobin steht für den Sauerstofftransport nicht mehr zur Verfügung.

Dies hat zur Folge, daß schon geringste Mengen von Kohlenmonoxid ausreichen, um zu Vergiftungserscheinungen zu führen. Bereits wenn unter 5% des Hämoglobins mit Kohlenmonoxid anstelle von Sauerstoff besetzt sind, treten die ersten Vergiftungserscheinungen auf. Bei einer Blockade von mehr als 10% des Hämoglobins durch Kohlenmonoxid können die Folgen schon nach 30 Minuten – also innerhalb eines Tauchganges – tödlich sein. Mit steigendem Umgebungsdruck steigt auch der Partialdruck des Kohlenmonoxid, was zu einer Potenzierung seiner Giftigkeit führt.

Die Symptome sind Kopfschmerzen, Berauschtigkeit, Ohrensausen, eine oberflächliche Atmung und schließlich Bewußtlosigkeit. Die im allgemeinen genannte hellrote Gesichtsfärbung kommt nur in wenigen Fällen der *CO*-Vergiftung vor, da durch das gleichzeitig einhergehende Schockgeschehen der Kreislauf zentralisiert ist und eine Durchblutung der peripheren Gefäße nicht mehr statt findet. Das Fehlen dieses Zeichens ist also kein Hinweis darauf, daß es sich nicht um eine *CO*-Vergiftung handelt.

Einem mit Kohlenmonoxid geschädigtem Taucher ist sofort 100% Sauerstoff zum atmen zu geben, um die physiologische Sättigung des Blutes mit Sauerstoff zu erhöhen. Er ist einer klinischen Einrichtung zur Beobachtung zuzuführen.

Der Tiefenrausch

Der Tiefenrausch wird durch einen erhöhten Partialdruck des Stickstoffs (N_2) hervorgerufen. Stickstoff wirkt bei erhöhtem Druck auf die Synapsen (Übergang von einem Nervenstrang zum anderen) des Nervensystems. Die Folgen sind das die Reaktions-, Konzentrations- sowie die Kritikfähigkeit abnehmen, euphorische oder depressive Gefühle treten auf. Die Tiefengrenze von 30 Meter ist nur ein Anhaltspunkt und keine sichere Grenze! Der Tiefenrausch - auch Stickstoffnarkose - ähnelt in den Wirkungen der von Alkohol oder THC, und wie bei den meisten Drogen reagiert jeder Mensch anders darauf. Auch die so genannte Tagesform nimmt mit darauf Einfluß, wann der Tiefenrausch einsetzt. Die Tiefengrenze

ist also gleitend. Wie bei Alkohol oder anderen Drogen ist eine Gewöhnung möglich, d.h. durch häufigeres Aufsuchen größerer Tiefen bei Übungsabstiegen wird der Körper des Tauchers darauf trainiert. Eine direkte Suchtwirkung ist nicht bekannt.

Die häufigsten Symptome, neben den oben genannten, sind Benommenheit, metallischer Geschmack der Luft, eingeengtes Sehvermögen, Apathie und Bewußtlosigkeit. Generell gilt beim Tauchen, daß beim Auftreten der Anzeichen wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Ohrensausen, gesteigerte Atmung, Angst- und Engegefühl, aber auch Euphoriegefühle, der Tauchgang in dieser Tiefe sofort abgebrochen und ausgetaucht werden muß!

4.3.4 Weitere Erkrankungen und Unfälle, die beim Tauchen auftreten können

Die Unterkühlung

Der Aufenthalt und die Arbeit unter Wasser sind stets mit einer mehr oder weniger starken Auskühlung des Tauchers verbunden und steht im direktem Zusammenhang mit der verwendeten Art der Kälteschutzausrüstung, die der Taucher verwendet.

Die Unterkühlung (griechisch: Hypothermie) ist durch den Abfall der Körperkerntemperatur unter 36°C definiert und physiologisch darin begründet, daß der Wärmeverlust des Körpers größer ist, als dessen Möglichkeit Wärme zu erzeugen. Der Verlauf der Hypothermie ist in vier Stadien bzw. Phasen unterteilt.

Im *ersten Stadium* der Unterkühlung, dem Abwehrstadium oder auch Exitationsphase, sinkt die Körperkerntemperatur auf bis zu 34°C ab. Der Körper versucht durch vermehrte Muskelarbeit dem Temperaturabfall entgegenzuwirken. Es entsteht das Kältezittern, durch dessen erhöhten Stoffwechselumsatz eine Erhöhung der Wärmeproduktion hervorgerufen werden soll. Dieser erhöhte Stoffwechsel hat aber auch einen höheren Sauerstoffbedarf und damit eine schnellere und tiefere Atmung zur Folge. Und hier beginnt ein Teufelskreislauf für den Taucher, da der Taucher einen erheblichen Anteil seiner Körperwärme durch die Atmung verliert. Also sollte der Taucher schon beim ersten Auftreten der Anzeichen des Ersten Stadiums der Unterkühlung erwägen den Tauchgang zu beenden.

Weitere Anzeichen des Abwehrstadiums sind kalte und blaß-bläuliche Haut, psychischer Erregungszustand, Schmerzen an den Extremitäten und ein schneller Puls.

Zeigt ein Taucher diese Symptome, so ist er in eine warme Umgebung zu bringen (vorgewärmtes Fahrzeug). Er muß sofort warme und trockene Kleidung anlegen und sollte warme alkoholfrei Getränke zu sich nehmen.

Wird der Tauchgang nicht rechtzeitig beendet und schafft es der Körper nicht dem Wärmeverlust entgegenzuwirken, so kommt es zum zweiten Stadium der Unterkühlung, dem Erschöpfungsstadium oder auch adynamische Phase.

Hier sinkt die Körperkerntemperatur weiter bis auf 30°C ab und die Gegenregulation des Körpers weicht einer allgemeinen Erschöpfung. Dadurch läßt das Kältezittern nach, der Stoffwechselumsatz, und damit der Sauerstoffbedarf, sinkt ab. Dies hat eine Verlangsamung der Atmung und des Pulses zur Folge.

Es kommt beim geschädigten Taucher zur zunehmenden Teilnahmslosigkeit bis hin zu Bewußtseinstrübungen mit nachlassender Schmerzempfindlichkeit. Das Zittern geht zunehmend in Muskelstarre über. Der Herzschlag ist extrem verlangsamt und die Atmung wird unregelmäßig und flach.

Bei einer Unterkühlung im *zweiten Stadium* muß der geschädigte Taucher unbedingt ruhig gestellt werden. Eigene aktive aber auch passive Bewegung oder eine aktive Erwärmung der Extremitäten können zu einem plötzlichen Einstromen von kaltem Blut aus der Peripherie in den Körperkern und damit zu einer Verschlechterung des Zustandes führen (Afterdropgefahr). Nach dem Entfernen der nassen Kleidung ist der Rumpf des Unterkühlten in warme Decken zu hüllen. Das Zulegen von Wärmeakkus ist sinnvoll, darf aber nie direkt auf die nackte Haut geschehen (Verbrennungsgefahr!). Eine Vorstellung des Geschädigten bei einem Arzt mit anschließender klinischer Beobachtung ist unbedingt anzustreben.

Sollte der Geschädigte noch weiter auskühlen und die Körperkerntemperatur weiter (bis auf 27°C) absinken, so tritt er in das dritte Stadium der Unterkühlung ein, das Lähmungsstadium oder auch paralytische Phase.

Das *dritte Stadium* der Unterkühlung ist durch eine tiefe Bewußtlosigkeit gekennzeichnet, aus der der Geschädigte auch durch Schmerzreize nicht mehr erweckbar ist. Er hat weite und lichtstarre Pupillen und einen sehr unregelmäßigen kaum noch tastbaren Puls. Eventuell zeigt er auch Anzeichen eines Herzstillstandes und hat lange Apnoephasen.

Es sind sofort Wiederbelebungsmaßnahmen einzuleiten und ein Arzt hinzuzuziehen. Wegen der Afterdropgefahr muß, soweit es sich vermeiden läßt, eine passive Bewegung und eine weitere Auskühlung des Geschädigten vermieden werden. Sehr für die Reanimation ein automatischer externer Defibrillator (AED) zur Verfügung, so ist von dessen Anwendung abzusehen, auch wenn er ein schockbares Ereignis (Kammerflimmern) feststellt!

Das *vierte Stadium* der Unterkühlung, der Scheintod oder auch *Vita minima*, wird erreicht, wenn die Körperkerntemperatur unter 27°C abgesunken ist. Der Geschädigte zeigt alle Anzeichen eines klinischen Todes wie Atem- und Kreislaufstillstand. Aber Achtung! Niemand ist tot, solange er nicht warm und tot ist. Die Erfolgsaussichten bei der Reanimation von stark unterkühlten Patienten sind relativ hoch. Eine Vorgehensweise wie bei Patienten im dritten Unterkühlungsstadium mit Reanimation, Notruf und vorsichtiger Erwärmung sind unbedingt geboten.

Die Überwärmung

Eine Überwärmung des Organismus ist gegeben, wenn die Wärmeabgabe des Körpers geringer ist, als die zugeführte oder produzierte Wärmemenge. Erstaunlicherweise ist der menschliche Körper besser in der Lage Unterkühlungen zu kompensieren als eine leichte Erhöhung der Körpertemperatur.

Es werden vier Formen der Überwärmung unterschieden:

- Hitzeerschöpfung
- Hitzekrämpfe
- Hitzschlag
- Sonnenstich

Die *Hitzeerschöpfung* ist die Folge starker Schweißverluste ohne ausreichenden Flüssigkeitsersatz durch Trinken. Dadurch wird der Körper ausgetrocknet und kann keinen Schweiß mehr abgeben und dadurch keine Verdunstungswärme mehr erzeugen. Gerade bei körperlicher Anstrengung in warmer Umgebung bei unzureichender Flüssigkeitszufuhr sorgt für diese Mangelerscheinung. Durch die Trocknung der Atemluft im Filter des Druckluftheizers ist der Taucher im besonderen Maße über die Atmung durch die so genannte Dehydratation (Entwässerung) gefährdet. Aber auch der Genuß von Kaffee, schwarzem Tee und Alkohol führt zu einer stärkeren Abfuhr von Flüssigkeit als dem Körper mit den Getränken zugeführt wird.

Der Geschädigte zeigt alle Anzeichen eines Schocks durch Volumenmangel ohne, daß die Körperkerntemperatur erhöht ist. Er ist flach mit erhöhten Beinen zu lagern. Die Zufuhr von Flüssigkeit (Mineralwasser) bringt schnelle Besserung.

Eine verstärkte Form der Hitzeerschöpfung sind die *Hitzekrämpfe*. Hier fehlt dem Organismus nicht nur extrem viel Flüssigkeit, sondern auch wichtige Minerale (Elektrolyte), so daß es zu starken Muskelkrämpfen kommt. Im Tauch- und Bergungsdienst sollten Hitzekrämpfe nicht vorkommen.

Der *Hitzeschlag* ist eine Störung der Wärmeregulation nach längerer Einwirkung hoher Temperaturen unter behinderter Wärmeabgabe. Gerade beim Tragen der Kälteschutzbekleidung an Land bei Sonneneinstrahlung bzw. höheren Außentemperaturen ist die Wärmeabgabe des Körpers durch den Tauchanzug behindert, dadurch wird der Körper ständig „aufgeheizt“.

Der Geschädigte klagt über Kopfschmerz und Übelkeit bis hin zum Erbrechen. Schwindelanfälle mit einhergehender Bewußtlosigkeit können in schweren Fällen vorkommen. Die Haut des Geschädigten ist rot, trocken und heiß. Die Körpertemperatur kann über 40°C liegen und der Puls ist stark erhöht.

Der Geschädigte ist sofort in eine kühle Umgebung zu verbringen. Durch kalte Umschläge kann noch weiter gekühlt werden. Mineralwasser- und Sauerstoffgabe sorgen für eine schnelle Besserung. Die Lagerung sollte bequem mit erhöhten Beinen sein. Bei einer Bewußtlosigkeit ist ein Arzt hinzuzuziehen und bei vitaler Stabilität ist eine Lagerung in stabiler Seitenlage sinnvoll. Sauerstoffgabe!

Dem *Sonnenstich* liegt eine direkte Sonneneinstrahlung auf den unbedeckten Kopf und Nacken zu Grunde und stellt eine Überhitzung des zentralen Nervensystems dar. Der Geschädigte klagt über Kopfschmerzen, Übelkeit, Fieber, Schwindel oder Ohrensausen. In schweren Fällen kommt es zu Gleichgewichtsstörungen bis hin zur Bewußtlosigkeit oder Krampfständen.

Der Geschädigte ist bei ungestörtem Bewußtsein mit erhöhtem Oberkörper in schattiger Umgebung zu lagern und Kopf und Nacken sind z.B. mit feuchten Tüchern zu kühlen.

Das Ertrinken

Sind die Atemwege von Wasser verlegt spricht man vom Ertrinken. Auf Grund der verschiedenen physiologischen Vorgänge im menschlichen Organismus wird zwischen dem Ertrinken im Süß- und im Salzwasser unterschieden.

Beim Ertrinken im Süßwasser diffundiert das Wasser in das Gefäßsystem, da dort die Salzkonzentration höher ist, und in die roten Blutkörperchen. Dadurch blähen sie sich auf und es kommt zur Zerstörung der roten Blutkörperchen. Das Hämoglobin in den roten Blutkörperchen enthält überwiegend Kalium, welches nun ausgeschwemmt wird. Somit kommt es zu einer Erhöhung des Kaliumspiegels im Blutplasma. Wegen dieser Elektrolytverschiebung wird als häufigste Form des Kreislaufstillstandes beim Süßwasserertrinken wird das Kammerflimmern genannt.

Wird Salzwasser eingeatmet diffundiert Wasser aus dem Gefäßsystem in die Alveolen, um die Konzentration des dort befindlichen Wassers zu verringern. Dadurch sammelt sich noch mehr Wasser (Ödembildung) in der Lunge an und verlegt entsprechend mehr Oberfläche, die dann nicht mehr für den Gasaustausch zur Verfügung steht.

Eine dritte Form des Ertrinkens ist das sogenannte trockene Ertrinken. Es handelt sich hierbei um eine reflektorische Atemlähmung, ausgelöst durch eindringendes Wasser in den Nasenrachenraum, die mit einem Stimmritzenkrampf einhergehen kann.

Die Hyperventilation

Die **Hyperventilation** (hyper: über, Ventilation: Atmung) ist eine im Verhältnis zum erforderlichen Gasaustausch des Körpers übermäßige Atemtätigkeit, bei der es nicht zu einer Erhöhung der Sauerstoffsättigung im Blut kommt, da das Hämoglobin im Normalfall schon zu beinahe 100% mit Sauerstoff ist, dafür aber zu einer Erniedrigung des Kohlendioxidpartialdrucks.

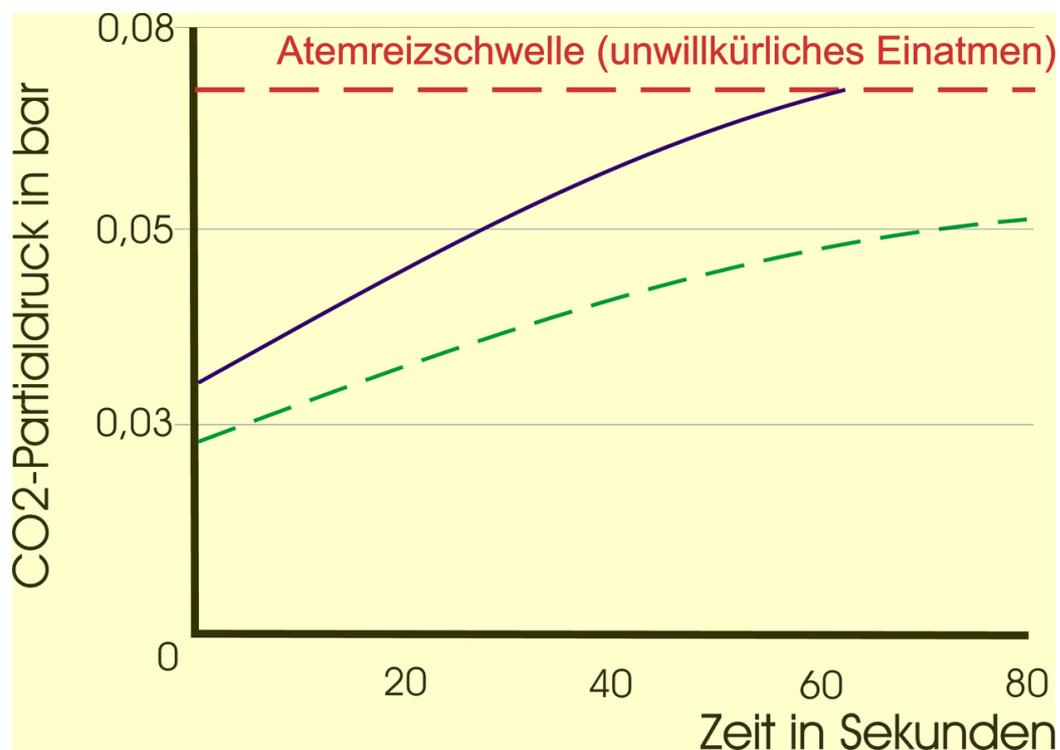


Abbildung 38: Hinauszögern des Atemreizes durch "Abatmen" von CO₂ und dadurch Absenken des CO₂-Partialdrucks im Blut

Durch das übermäßige Abatmen des CO_2 kommt es zu einer Störung des pH -Wertes des Blutes. Die Folge ist eine gesteigerte nervliche und muskuläre Erregbarkeit, die so genannte Tetanie. Dieses Phänomen wirkt sehr spektakulär, ist jedoch keine bedrohliche Erkrankung.

Die Hyperventilation kann bei gesunden Menschen sowohl unwillentlich, durch psychische Erregung (Angst, Streß, Aufregung, Schreck), als auch willentlich (Strecken- oder Tieftauchversuche in Apnoe) ausgelöst werden. Sie intensivieren ihre Atemtätigkeit weit über das für den Sauerstoffbedarf nötige Ausmaß. Nach wenigen Minuten kündigt sich die Tetanie mit einem Kribbeln um den Mund, an Händen und Füßen an. Krämpfe der Handmuskulatur mit Beugen des Handgelenks und angezogenem Daumen („Pfötchenstellung“) folgen, gleichzeitig besteht das Gefühl einer Lähmung. Manchmal kommen Sekunden andauernder Bewußtlosigkeit dazu. Der ursprünglich auslösende Erregungszustand wird durch die Tetanie noch verstärkt und unterhält einen Teufelskreis.

Das Atmen reinen Sauerstoffs vor einem Strecken- oder Tieftauchversuch kann ebenfalls zu diesem Phänomen führen. Treten Anzeichen einer Hyperventilation auf, besteht die erste Maßnahme darin, den Betroffenen zu beruhigen, ihm muß klar werden, daß keine Gefahr besteht, und daß langsames, tiefes Ein- und Ausatmen helfen werden. Er muß alle Tätigkeiten einstellen und sollte versuchen, sich auf die Atmung zu konzentrieren und langsam ein- und auszuatmen. Der Tauchgang ist nicht fortzuführen, da es jederzeit wieder zu diesem Erregungszustand kommen kann. An Land läßt man den Hyperventilierenden in eine Tüte atmen, dadurch gelangt das im Übermaß ausgeatmete Kohlendioxid wieder in die Lungen zurück und das Blut gewinnt wieder das physiologische Säure-/Basengleichgewicht. Die Symptome lassen dann sehr schnell nach.

Um bei Tauchern in Hilfeleistungsunternehmen eine psychisch ausgelöste Hyperventilation zu vermeiden, ist eine ständige Gewöhnung der Taucher an die zu erwartenden Aufgaben und Situationen im Training notwendig. Eine genaue Kenntnis des psychischen aber auch physischen Zustandes der Taucher durch den Gruppenführer ist somit eine wichtige Voraussetzung für die gefahrlose Erledigung des Taucherauftrages. Eine willentliche Hyperventilation ist grundsätzlich zu vermeiden.

Der Schwimmbad-Blackout

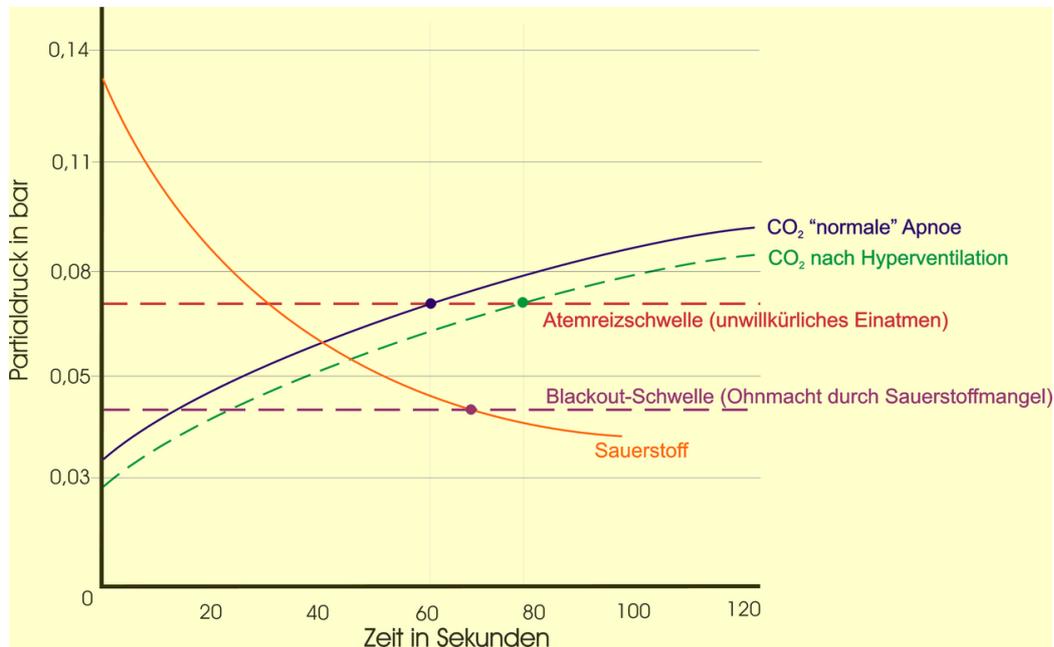


Abbildung 39: Nach dem Hyperventilieren wird die kritische Black-Out-Schwelle des Sauerstoffs unterschritten bevor der CO₂-Partialdruck die Atemreizschwelle erreicht

In der fälschlichen Meinung, durch übermäßig schnelles und tiefes Atmen oder das Atmen reines Sauerstoffs vor einem Apnoetauchversuch mehr Sauerstoff im Körper anzureichern, führt häufig dazu, daß Taucheranfänger vor dem Strecken-, Zeit- oder Tieftauchen in Apnoe hyperventilieren.

Durch das Absenken des CO₂-Partialdrucks im Körper kommt es tatsächlich dazu, daß der Atemreiz hinausgezögert wird, da die Atemsteuerung und damit die Auslösung des Atemreizes im wesentlichen von der Steuergröße CO₂ im Körper abhängt.

Dadurch, daß aber die Abfrage des O₂-Gehaltes nur unterdrückt stattfindet, kommt es ohne Vorwarnung zu einem Sauerstoffmangel mit plötzlicher Bewußtlosigkeit, dem sogenannten Schwimmbad-Blackout.

Dabei ist der, durch das CO₂ ausgelöste, Atemreiz zeitlich hinter die Bewußtlosigkeit (Sauerstoffmangel im Gehirn) „verschoben“. Tritt aber der Atemreiz ein, und der bewußtlose Taucher befindet sich noch unter Wasser, so kommt es zum Einatmen von Wasser und damit zum Ertrinken des Tauchers.

Ein ähnliches Problem kann beim Apnoetiefen tauchen auch ohne vorherige Hyperventilation auftreten. Durch die Erhöhung des Umgebungsdrucks und die damit verbundene Kompression der Luft in der Lunge des Apnoetauchers (Gesetz von Boyle-Mariotte) kommt es zur Erhöhung des Partialdrucks des Sauerstoffs (Gesetz von Dalton). Über diesen erhöhten O_2 -Partialdruck bleibt die Sauerstoffversorgung des Gehirns auch bei längerem Aufenthalt gut gewährleistet.

Beim unvermeidbaren Zurücktauchen zur Wasseroberfläche sinkt aber der Umgebungsdruck und die Konzentration des Sauerstoffs läßt mit der Annäherung zur Wasseroberfläche dramatisch nach. Die Ohnmacht des Tauchers scheint unvermeidlich.

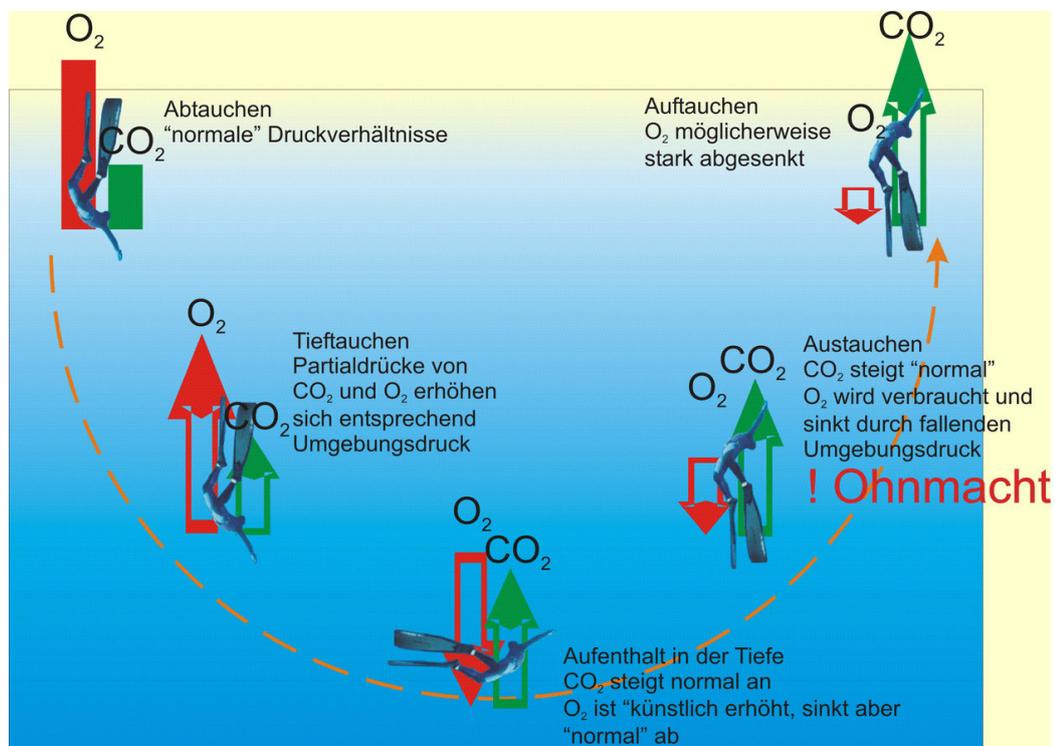


Abbildung 40

Daß das Apnoetraining eine notwendige Übung zur Stärkung der psychischen und physischen Leistungsfähigkeit der Taucher darstellt, ist unumstritten. Deshalb ist auch die Sicherung der Apnoe trainierenden Taucher eine unbedingte Forderung bei der Ausbildung der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen.

4.4 Erste Hilfe bei Taucherunfällen

Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen, Regelungen und Vorschriften kann es vorkommen, daß Unfälle geschehen. Diese sind zum überwiegenden Teil durch menschliches Versagen verursacht, die in mangelnder Ausbildung, geringer Übung und Konditionierung, Überschätzen des eigenen Könnens, Unterschätzen einer Gefahr oder letztendlich in der Routine begründet liegen.

Schnelles und richtiges Handeln ist in einer solchen Situation die Chance auf einen günstigen Ausgang für den betroffenen Taucher.

Schon vier Minuten nach einem Ausfall der Sauerstoffversorgung für den menschlichen Organismus bedeuten nur noch eine 50%-ig Wahrscheinlichkeit einer Wiederbelebung ohne bleibende Schäden. Aus diesem Grund ist es unabdingbar notwendig, daß das gesamte Personal einer Tauchergruppe in den Ablauf einer möglichen Rettungssituation eingewiesen ist, diese geübt hat und Wiederbelebungstechniken sicher beherrscht. Hierzu sollten auch in jeder Tauchergruppe entsprechende Hilfsmittel (O_2 -Koffer) zur Verfügung stehen, um dem verunfallten Taucher ein Maximum an Hilfe zukommen zu lassen.

4.4.1 Die Rettungskette

Die Rettungskette stellt ein Handlungsschema dar, welches in seiner einfachen Form, dem Retter die Möglichkeit gibt, die richtigen Handlungsabläufe zum richtigen Zeitpunkt zu tun.

Wie jede Kette, so ist auch die Rettungskette nur so stark wie ihr schwächstes Glied. Nur bei dem Vorhandensein und einer guten Ausprägung aller Glieder dieser Kette stehen die Chancen für einen positiven Ausgang aus einer Unfallsituation für den Taucher gut.



Abbildung 41

Die Rettungskette setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:

1. Lebensrettende Sofortmaßnahmen

- Retten des Verunfallten aus dem Gefahrenbereich,
- Überprüfen des Bewußtsein, der Atmung und des Kreislaufs,
- Durchführen von lebenserhaltenden Maßnahmen beim Ausfall lebenswichtigen Funktionen (Beatmung, Herzdruckmassage oder Herz-Lungen-Wiederbelebung);

2. Notruf absetzen

- "Hilfe" / "Taucherunfall"-Ruf,
- Meldung über Funk oder Telefon (112);

3. Erste-Hilfe-Maßnahmen

- Forschen nach Verletzungen,
- Stillen von Blutungen,
- Lagerung,
- Wärmeerhalt;

4. Transport in eine nachversorgende Einrichtung (Krankenhaus, Druckkammerzentrum)

- Erschütterungsarmer Transport bei Fahrt,
- Tiefflug bei Hubschraubertransport,

5. Medizinische Weiterversorgung.

4.4.2 Die Herz-Lungen-Wiederbelebung

Beim Ausfall vitaler Funktionen ist schnelles Handeln erforderlich, da mit jeder Minute, die der geschädigte Organismus nicht mit Sauerstoff versorgt wird, die Wahrscheinlichkeit auf eine Wiederbelebung ohne bleibende Schäden dramatisch absinkt. Statistiken zeigen, daß schon nach vier Minuten die Möglichkeit einer erfolgreichen Reanimation auf die Hälfte absinkt.

Jeder Reanimation ist eine Diagnose vorangestellt, um festzustellen welche Maßnahmen für eine erfolgreiche Wiederbelebung notwendig sind. Kontrolliert werden in der entsprechenden Reihenfolge, die lebenswichtigen Funktionen (Vitalfunktionen):

1. Bewußtsein (Ansprechen, Berühren, Schmerzreiz),
2. Atmung (Kopf überstrecken, Bewegung Brustkorb sehen, Hören, Fühlen) und
3. Kreislauf (Puls an der Halsschlagader fühlen).

Je nach dem welches Ergebnis die Kontrolle der jeweiligen Funktion liefert wird entsprechend folgender Grafik vorgegangen:

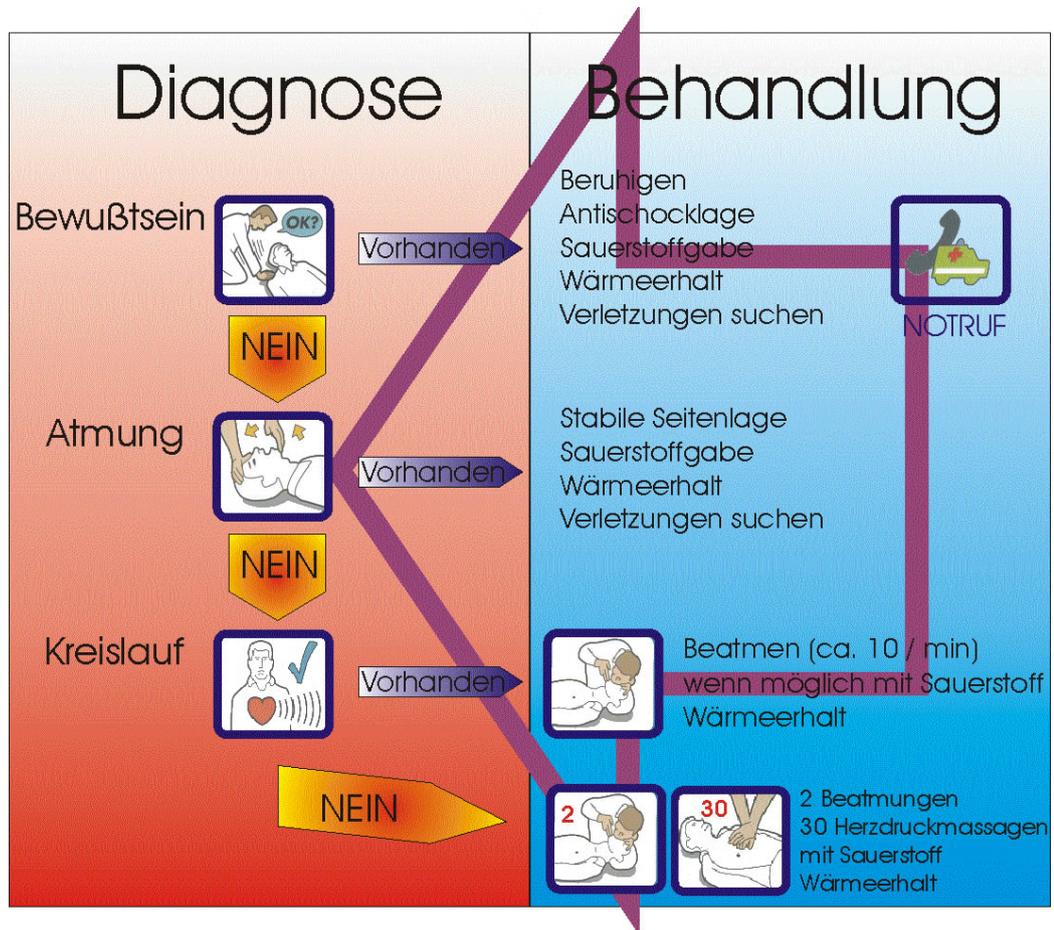


Abbildung 42

Eine ständige Kontrolle des erreichten Ergebnisses ist Voraussetzung dafür, daß auf eine veränderte Situation rechtzeitig reagiert werden kann. Das schnelle Absetzen des Notrufes sichert ein frühzeitiges Eintreffen ärztlicher Hilfe.

4.4.3 Die Rekompresseion



Abbildung 43: ... in der Dekompressionsdruckkammer

Unter Rekompresseion versteht man ein erneutes „Unterdruckbringen“ eines geschädigten Tauchers im Falle einer Dekompressionskrankheit, eines Barotraumas der Lunge mit arterieller Gasembolie oder einer Kohlenmonoxidvergiftung.

In allen Fällen hat die Rekompresseion in einer Druckkammer zu erfolgen. Ein erneutes Abtauchen des Tauchers beim Auftreten von Anzeichen der oben genannten Schädigungen (so genannte „nasse“ Rekompresseion) ist in jedem Fall zu unterlassen, da eine Überwachung des geschädigten Tauchers und eine eventuelle Hilfeleistung unter Wasser nicht möglich sind.

Bei jeder Rekompresseion ist die Zeit ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Behandlung. Bis zum Erreichen der Behandlungseinrichtung ist zur Erleichterung des Zustandes des Geschädigten reiner Sauerstoff zu verabreichen. Sollten sich daraufhin auch die Symptome bessern, bleibt die Notwendigkeit zur Heilrekompresseion so lange bestehen, wie Anzeichen (auch leichte) vorliegen, da aus einer leichten Verlaufsform immer eine schwere hervorgehen kann.

Nach der Heilrekompresseion muß der behandelte Taucher noch 24 Stunden im Stationsbereich der Druckkammer unter ärztlicher Aufsicht verbringen.

Kapitel 5

Taucherausrüstung

Die über das sportliche Freitauchen hinausgehenden Tauchgänge erfordern technische Hilfsmittel, die es dem Menschen ermöglichen sich über einen so großen Zeitraum und in solchen Tauchtiefen unter Wasser aufzuhalten und zu betätigen, dass das Tauchen ökonomisch sinnvoll betrieben werden kann. Dabei ist die technische Ausrüstung unterschiedlich kompliziert. So gibt es z. B. ganz einfache Atemröhren, die Schnorchel, die das Atmen atmosphärischer Luft ermöglichen, ohne dass der Kopf beim Schwimmen bis zum Mund aus dem Wasser gehoben werden muß, aber auch Tauchergeräte, die durch die Konstruktion dafür Sorge tragen, dass dem Taucher das Atemgas ständig unter dem Druck seiner Umgebung angeboten wird.

Die Taucherausrüstung ist die spezifische Ausrüstung, die für Tauchgänge unter den verschiedensten Bedingungen erforderlich ist. Unter der Bezeichnung Taucherausrüstung werden alle für das Tauchen benötigten technischen Hilfsmittel zusammengefaßt. Die für den speziellen Tauchereinsatz nötige Taucherausrüstung ist in der GUV R 2101 festgelegt.

5.1 Die Arten der Taucherausrüstung

Bei der Taucherausrüstung werden zwei grundsätzlich verschiedene Arten unterschieden: Die Schwimmtaucherausrüstung und die Helmtaucherausrüstung. Sie werden durch jeweils andersgeartete Funktionsprinzipien und Konstruktionsmerkmale charakterisiert. Ihre Einsatzbedingungen und optimalen Nutzungsmöglichkeiten sind gerätespezifisch, wobei aber eine scharfe Trennung der Einsatzbereiche nicht möglich und vor allem nicht sinnvoll ist.

5.1.1 Schwimmtaucherausrüstung



Abbildung 44: Schwimmtaucher mit Vollgesichtsmaske

Die Schwimmtaucherausrüstung ist als sogenannte leichte Taucherausrüstung so konstruiert und zusammengestellt, dass es dem Taucher möglich ist, sich schwimmend fortzubewegen und unabhängig von haltbietenden Vorrichtungen im gesamten Tiefenbereich, von der Wasseroberfläche bis zum Gewässergrund, Taucheraufgaben zu lösen.

Das Tauchergerät gewährleistet durch einen Lungenautomaten die Anpassung des hohen Drucks des Atemgasvorrats an den jeweiligen hydrostatischen Druck. Das Atemgas wird meist in Atemgasvorratsbehältern des Geräts unter Wasser mitgenommen, kann aber auch von der Wasseroberfläche aus über einen Schlauch zugeführt werden.

Eine Schwimmtaucherausrüstung ermöglicht es dem Taucher, sich mit Hilfe von Bleigewichten so auszutarieren, dass sein Gewicht dem Gewicht der von ihm verdrängten Wassermenge gleich ist. Die entgegengerichteten Kräfte von Gewicht und Auftrieb heben sich also auf, er „schwebt“. Wird eine hohe (wenn auch begrenzte) Standfestigkeit auf dem Gewässergrund gebraucht, so kann die

Schwimmtaucherausrüstung durch zusätzliche Gewichte auch für Grundtauchereinsätze genutzt werden.

5.1.2 Helmtaucherausrüstung

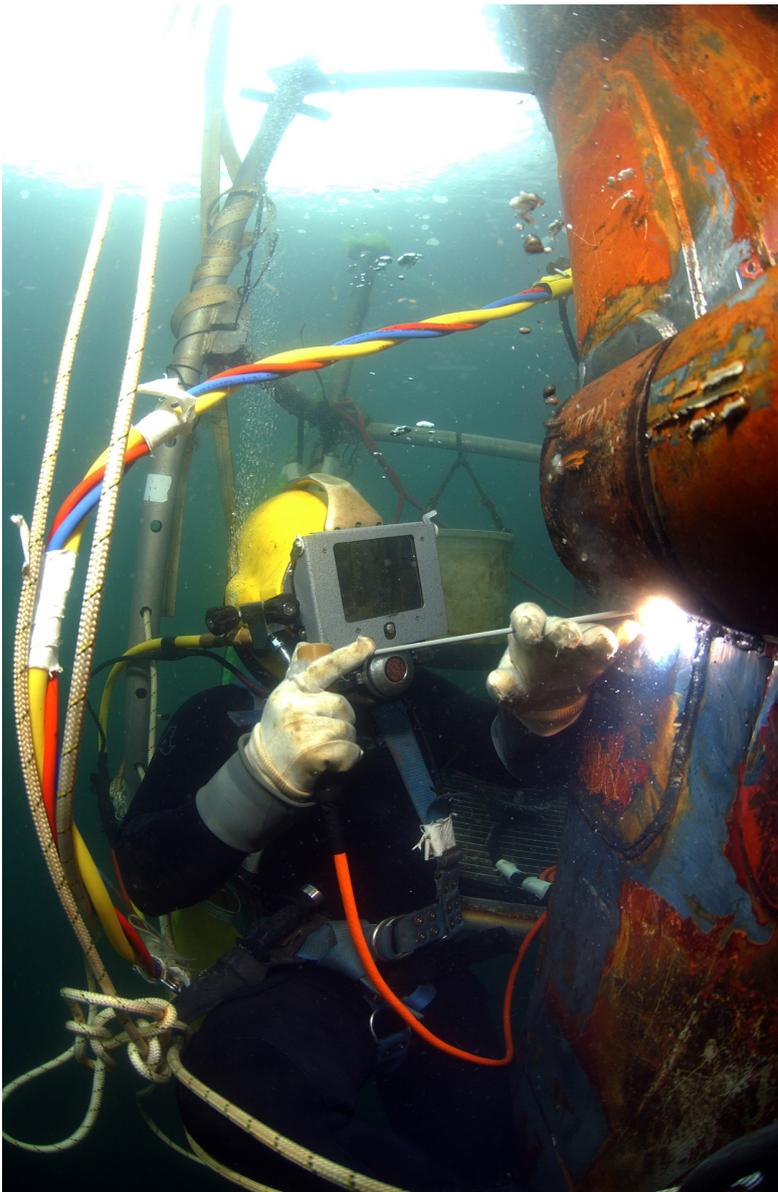


Abbildung 45: Helmtaucher bei Unterwasserarbeiten

Die Helmtaucherausrüstung ist eine als schwere Taucherausrüstung bezeichnete Gerätekombination. Sie wird heute im wesentlichen vom Tauchergerät mit Taucherhelm und dem Taucheranzug sowie weiteren Ausrüstungsteilen gebildet und mit der Luftversorgung von der Wasseroberfläche aus versehen. Helmtauchgeräte mit einem eigenen Atemgasvorrat spielen nur eine untergeordnete Rolle, können aber im Tauchereinsatz für Hilfeleistungsunternehmen durchaus sinnvoll sein.

Die Helmtaucherausrüstung ermöglicht es, schwere Arbeiten auf dem Gewässergrund und Arbeiten in stark kontaminierten Gewässern zu verrichten. Dabei ist die Standfestigkeit des Tauchers regulierbar, sie kann sehr groß gewählt werden. Die Beweglichkeit des Tauchers ist allerdings eingeschränkt.

Unterwasserarbeiten, die durch die Lage des Arbeitsplatzes ohne Grundberührung auszuführen sind, sind sinnvoller Weise von einem Schwimmtaucher auszuführen oder bedürfen einer Vorbereitung, die den „Absturz“ des Tauchers in größere Wassertiefen verhindern. Der „Taucherabsturz“ hat heute allerdings weitgehend durch die Verwendung von umgebungsdruckabhängigen Taucherhelmen an Gefährlichkeit verloren.

5.1.3 Einteilung der Tauchgeräte

Tauchgeräte werden in Schwimmtauchergeräte und Helmtauchergeräte unterschieden. Zu den Schwimmtauchergeräten gehören:

- mit eigenem Atemgasvorrat
 - Drucklufttauchergeräte
 - Mischgastauchergeräte
 - Sauerstofftauchergeräte
- Oberflächenversorgt
 - Drucklufttauchergeräte
 - Mischgastauchergeräte

Zu den Helmtauchergeräten gehören:

- Oberflächenversorgte Helmtauchergeräte
- Helmtauchergeräte mit eigenem Atemgasvorrat

5.2 Die Taucherausrüstung der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen

5.2.1 ABC-Ausrüstung

Die ABC-Ausrüstung ist die Tauchergrundausrüstung. Zu ihr gehören die Tauchermaske, die Schwimmflossen und der Schnorchel. Dient sie einerseits dem rationalen Schwimmen an der Wasseroberfläche unter bequemer Schnorchelatmung bei gleichzeitig guten Voraussetzungen für das Sehen unter Wasser sowie gutem Vortrieb und Stabilisierung, so gehört sie andererseits aber auch vollständig oder teilweise zum Bestand der Schwimmtaucherausrüstung nach GUV R 2101.

Die Tauchermaske



Abbildung 46: Tauchermaske und Schnorchel

Im Tauchdienst der Hilfeleistungsunternehmen werden grundsätzlich zwei Arten von Tauchermasken eingesetzt. Bei unbelasteten Gewässern ist der Einsatz einer Halbmaske möglich. Umschließt die Halbmaske nur Augen und Nase des Tauchers, so schützt die Vollmaske das gesamte Gesicht und wird deshalb auch Vollgesichtsmaske genannt. In sehr kaltem Wasser ist es sinnvoll eine Vollmaske einzusetzen, da diese dem Taucher auch im Gesicht einen höheren Kälteschutz bietet.

Bei der Notwendigkeit einer Kommunikation zwischen Taucher und Wasseroberfläche bzw. weiterem Taucher ist der Einsatz einer Vollmaske sinnvoll. Beim Tauchen in belasteten Gewässern soll eine Vollmaske mit Überdrucksystem benutzt werden, da bei einer Undichtigkeit nur Luft austritt und kein kontaminiertes Wasser in die Maske eindringt.

Masken werden grundsätzlich genutzt, um eine gute Sicht zu gewährleisten, da das menschliche Auge nicht für das Sehen im Wasser geeignet ist (siehe „Licht unter Wasser“). Da Masken im Gegensatz zu Schwimmbrillen mindestens die Nase mit einschließen, kann der Druck im Maskenkörper jederzeit dem Umgebungsdruck angepaßt und eindringendes Wasser ohne aufzutauchen entfernt werden. Um ein möglichst großes Gesichtsfeld zu erreichen und den Auftrieb der Maske und damit ihren dichten Sitz zu gewährleisten, sollte der Maskenkörper nicht zu groß gewählt sein. Die Dichtheit der Maske wird durch die Paßform und den Wasserdruck erreicht. Ein doppelter Dichtrand ist dabei hilfreich.

Einige Masken bieten für Brillenträger die Möglichkeit optische Gläser einzusetzen. Hinsichtlich des Glases ist unbedingt darauf zu achten, dass es sich dabei um Sicherheitsglas handelt. Sicherheitsglas verhindert bei einem Bruch die Bildung von scharfen Kanten, was Schnittverletzungen der Augen verhindern soll. Sicherheitsglas erkennt man durch die Aufschrift „Tempert“ oder „Save Glas“.

Zur Befestigung der Maske dient das Maskenband. Dieses muß in der Länge verstellbar sein, um die Maske bei jedem Taucher individuell sicher fixieren zu können. Das Maskenband bei Halbmasken muß geteilt sein, um ein Verrutschen am Hinterkopf zu verhindern.

Die Schwimmflossen



Abbildung 47: Trainingsflossen

Die Schwimmflossen übertragen die Muskelkraft der Beine mit einem relativ günstigen Nutzeffekt auf den Vortrieb und gewährleisten damit die Vorwärtsbewegung und Stabilisierung des Schwimmtauchers. Mit Schwimmflossen ist es möglich, bei guter Schwimmtechnik über einen längeren Zeitraum durch mittleren Energieaufwand verhältnismäßig schnell zu schwimmen. Die Arme müssen dabei nicht zu Hilfe genommen werden, so dass die Hände für die Erfüllung der Taucheraufgabe frei bleiben.

Größe und Härte des Flossenblattes werden durch den Trainingszustand des Tauchers bestimmt. So ist es anzuraten einem untrainierten Taucher eher Flossen mit kleinem und weichen Flossenblatt zu empfehlen, um die Gefahr von Wadenkrämpfen zu vermeiden. Der trainierte Taucher kann mit einem harten großen Flossenblatt die Kraft seiner Beine besser auf den Vortrieb umsetzen und so z.B. in strömenden Gewässern seine Aufgabe besser erfüllen. Grundsätzlich sollte die Länge der Flossen das Maß von 70 cm nicht überschreiten, um den Taucher bei seiner Aufgabe, gerade in Gewässern mit schlechter Sicht oder bei engen Arbeitsverhältnissen, nicht unnötig zu behindern.

Im Tauchdienst in Hilfeleistungsunternehmen finden wegen der Notwendigkeit des Kälteschutzes vor allem Flossen mit offenem Fußteil und verstellbarem Fersenband ihre Anwendung. Für die Ausbildung und das Konditionstraining in der

Schwimmhalle ohne Kälteschutz ist es sinnvoll Trainingsflossen mit geschlossenem Fußteil zu verwenden.

Der Schnorchel



Abbildung 48: Schnorchel

Durch die Mitnahme eines Schnorchels wird die Sicherheit des Schwimmtauchers erhöht, da es ihm bei leergeatmetem oder defektem Tauchgerät möglich ist, unter Schnorchelatmung an der Wasseroberfläche zu schwimmen, ohne das schwere Tauchgerät aus dem Wasser heben zu müssen. Dazu muß der Schnorchel vor Verlust gesichert und vom Taucher bequem erreichbar bei jedem Tauchgang mitgeführt werden. Außerdem ist er so zu befestigen, dass es beim Abwurf des Gewichtsgürtels nicht zu einem Verfangen desselben am Schnorchel kommen kann. Bei der Anwendung von Vollmasken ist es dazu notwendig eine Halbmaske mitzuführen.

Die Bauausführung des Schnorchels sollte so einfach wie möglich gehalten sein. Ein einfaches gebogenes Rohr mit einem weichen Mundstück ist vollkommen ausreichend.

Der Schnorchel darf nicht länger als 35 cm sein, um den Totraum der Atmung nicht gefährlich zu vergrößern (siehe Anatomie der Atmungsorgane). Der Durchmesser des Schnorchels soll zwischen 18 und 25 mm liegen, um einerseits eine ausreichend große Atemöffnung zu haben und andererseits das Ausblasen des Schnorchels noch möglich ist.

Das Mundstück sollte möglichst weich (Silikon) gehalten sein, um eine Verletzung der Mundschleimhaut und des Zahnfleisches zu vermeiden. Es muß im Mund gut abdichten und Beißwarzen zur sichern Fixierung besitzen.

5.2.2 Tauchergeräte

Im Tauchdienst der Hilfeleistungsunternehmen finden sowohl Schwimmtauchergeräte als auch Helmtauchergeräte ihr Einsatzgebiet. Die Nutzung von Helmtauchergeräten bedarf aber einer speziellen Ausbildung, so dass diese hier nur erwähnt sein sollen.

Schwimmtauchergeräte



Abbildung 49: Sauerstoffkreislaufgerät

Schwimmtauchergeräte werden in Abhängigkeit von der Art des verwendeten Atemgases sowie der Versorgung von der Wasseroberfläche oder der autonomen Verwendung unterschieden. Dabei sind Drucklufttauchergeräte (oberflächenabhängiges oder autonomes DTG) als offene Atemsysteme ausgelegt, d.h. die Luft wird nach der Ausatmung frei ins Wasser abgegeben. Sauerstofftauchergeräte und Mischgastauchergeräte, deren Atemgas sauerstoffangereicherte Inertgase sind, arbeiten als halboffene oder geschlossene Kreislaufgeräte. Mit Sauerstoff angerei-

cherte Drucklufttauchergeräte (NITROX) werden als offene und halboffene Systeme verwendet.

Aus ökonomischen Gründen finden im Tauchdienst von Hilfeleistungsunternehmen vor allem offene, autonome Druckluftgeräte ihre Anwendung. Auch offene autonome NITROX-Geräte, die sich im Aufbau nicht wesentlich von Drucklufttauchergeräten unterscheiden, werden wegen ihrer höheren Dekompressionssicherheit mehr und mehr eingesetzt. Allerdings müssen beim Einsatz von NITROX-Gasen Taucher und Signalmann dafür eine spezielle Ausbildung nachweisen. Das Tauchen mit reinen Sauerstoff ist im Bergungsdienst nicht gestattet.

Drucklufttauchergerät (DTG)

Das Drucklufttauchergerät besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen:

- Druckluftflasche mit Ventil und ggf. mechanischer Reservewarneinrichtung
- Atemgesteuerte Dosiereinrichtung mit optischer Reservewarneinrichtung
- Geeignete Tragevorrichtung für das DTG
- Rettungs- und Tariermittel

Druckluftflasche



Abbildung 50: Druckluftflasche 12 Liter mit Doppelventil (INT), Schutznetz und Standfuß

Druckluftflaschen gibt es in unterschiedlichen Ausführungen in Größe, maximal zulässigen Fülldruck und Material. Im Tauchdienst werden Druckluftflaschen mit den Rauminhalten 4, 6, 7, 8, 10, 12 und 15 Liter, als Einzelgerät und in Kombinati-

on zu mehreren gleich großen Flaschen verwendet. Druckluftflaschen unterliegen den Bestimmungen der Druckbehälterverordnung. Demnach sind folgende Kennzeichnungen am Hals der Druckluftflaschen zu berücksichtigen:

- Farbliche Kennzeichnung
- „Druckluft - TG“ oder „Sauerstoff – TG“
- maximal zulässiger Fülldruck (i.d.R. 200 oder 300 bar)
- TÜV – Prüfung (Monat / Jahr)
- Volumen
- Leergewicht
- Hersteller
- Herstellungsnummer
- Bauartzulassung
- Prüfdruck
- Eigentümer (optional)

Druckluftflaschen aus Stahl werden im Tauchdienst überwiegend benutzt. Aber auch Aluminiumflaschen sind im Gebrauch. Alle Taucherflaschen unterliegen unabhängig ihres Rauminhaltes und Materials einer Prüffrist von zweieinhalb Jahren. Dabei müssen im Wechsel visuelle und Festigkeitsprüfung durchgeführt werden.



Abbildung 51: Doppelventil mit DIN-Anschluß (die INT-Adapter wurden mit Imbus-schlüssel herausgeschraubt)

Zu jeder Druckluftflasche gehört ein Ventil, welches der EN 144 entsprechen muß. Diese Ventile haben ein oder zwei 5/8 Zoll DIN-Anschlüsse. Diese Anschlüsse können je nach Bauart des Ventils einzeln oder gleichzeitig geöffnet werden. Werden mehrere Flaschen gleicher Größe zu einem Flaschenpaket kombiniert, so werden sie mit Überströmarmaturen, sogenannten Ventilbrücken, mit einander verbunden. Beim Tauchen in gedeckten Räumen sollte allerdings jede Flasche mit einem extra Lungenautomat versehen werden.

Mechanische Reservewarkeinrichtung Optional haben Ventile mechanische Reservewarkeinrichtungen. Beim Tauchen ohne Sicht oder wenn der Taucher nicht die Möglichkeit hat, eine optische Reservewarkeinrichtung zu beobachten, sind mechanische Warneinrichtungen vorgeschrieben. Mechanische Reservewarkeinrichtungen sind so konstruiert, dass sie beim Absinken des Flascheninnendrucks auf einen Wert unter 50 bar die betreffende Flasche verschließen. Der dabei ansteigende Atemwiderstand weist den Taucher darauf hin, dass sein Atemluftvorrat zur Neige geht. Durch das Betätigen einer Zugstange oder Zugseils an der Reserveschaltung wird die zurückgehaltene Atemluft freigegeben und der Taucher kann seinen Tauchgang sicher beenden.

Mechanische Warneinrichtungen werden in den Varianten „automatische Reserveschaltung“ und „Reserveschaltungen mit Excenter“ gefertigt.

Automatische Reserveschaltung können nur betätigt werden, wenn der Flascheninnendruck unter 50 bar abgesunken ist. Bei einem unbeabsichtigtem Öffnen der Reserve springt die Schaltung in ihre ursprüngliche Lage zurück, solange der Flaschendruck noch über 50 bar liegt. Ist der Flaschendruck bei 50 bar, beginnt die Reserveschaltung das Ventil zu verschließen. Der Taucher muß das Zugseil für einige Atemzüge gezogen halten, da sich in diesem Grenzbereich in den Atempausen der Druck immer wieder soweit aufbaut, dass die Reserve wieder in ihre Ausgangslage zurückspringt.

Die Reserveschaltung mit Excenter muß nur einmal betätigt werden, um sie zu öffnen. Allerdings besteht die Gefahr, dass bei unbeabsichtigtem Öffnen der Reserve der Luftvorrat zu Ende geht, ohne dass es der Taucher bemerkt. Beim Füllen der Flasche muß darauf geachtet werden, dass die Reserveschaltung offen ist, da sonst die Flasche nicht gefüllt wird.

Lungenautomat (Atemgesteuerter Dosiereinrichtung)

Der Lungenautomat sperrt den Weg der Druckluft bei geöffnetem Flaschenventil und gewährleistet deren Abgabe unter dem tiefenabhängigen Einatemdruck des Tauchers.



Abbildung 52: Vollständiger Lungenautomat mit *Erster Stufe*, zwei *Zweiten Stufen* (Octopussystem), *Inflatorschlauch* für Tariermittel und *Konsole* mit *UW-Manometer* und *Tiefenmesser*

Der Lungenautomat besteht aus zwei Druckminderern, die über einen Mitteldruckschlauch in Verbindung stehen und den Flaschendruck in zwei Stufen dem Umgebungsdruck anpassen.

Der Druckminderer der ersten Stufe wird mit einem Handrad am Ventil der Flasche angeschlossen. Er mindert den Flaschendruck über ein Membran- oder Kolben-Feder-System auf einen Mitteldruck, der ca. 10 bar (je nach Hersteller und Bauart) über dem Umgebungsdruck liegt. Dieser Druck wird über den Mitteldruckschlauch zum Druckminderer der zweiten Stufe geführt, der ihn über ein

Membran-Hebel-System auf atembaren Druck mindert. Am Gehäuse der zweiten Stufe ist ein Mundstück und ein Blasenabweiser angebracht oder es ist in einer Vollmaske oder einem Helm integriert.

Nach dem Öffnen des Flaschenventils gelangt die Luft durch das offene Ventil der ersten Stufe in den Mitteldruckraum und belastet dabei über eine Membrane oder einen Kolben eine Stellfeder, die bei einem Überdruck von ca. 10 bar im Mitteldruckraum nicht mehr in der Lage ist, das Ventil offen zu halten. Strömt die Luft durch den Mitteldruckschlauch zum Ventil der zweiten Stufe ab, so ist die Voraussetzung für das Schließen des Ventils der ersten Stufe nicht mehr gegeben und das Ventil öffnet wieder und gibt die Luft aus der Flasche frei. Bei kolbengesteuerten Druckminderern unterscheidet man je nachdem, ob der Mitteldruck an beiden Seiten des Kolbens oder nur an einer Seite wirkt, kompensierte und unkompensierte erste Stufen. Kompensierte erste Stufen weisen einen höhern Atemkomfort auf. Das Ventil der ersten Stufe ist so konstruiert, dass es gegen den Luftstrom öffnet. Es wird als up-stream-Ventil bezeichnet. Durch die Entspannung des Gases mit der hohen Druckdifferenz kommt es durch den Joule-Tomson-Effekt zu einer extrem starken Abkühlung in der ersten Stufe. Bei kolbengesteuerten, nicht verkapselten (membrangeschützten) Lungenautomaten oder bei der Anwesenheit von Wasser im Gehäuse der ersten Stufe kann dies zur Vereisung des Lungenautomaten führen.

Das Ventil der zweiten Stufe wird durch den, bei der Einatmung entstehenden, Unterdruck im Atemraum geöffnet. Der Unterdruck im Atemraum verursacht ein Absenken der Membrane, wodurch über den Hebel in der zweiten Stufe die Kraft der Schließfeder überwunden wird und der anstehende Druck im Mitteldruckschlauch das Ventil öffnet. Der nun einsetzende Luftstrom hält an, bis der Taucher das Einatmen abschließt. Dadurch steigt der Druck im Atemraum bis auf den Umgebungsdruck an und bringt die Membran in Neutralstellung, wodurch das Ventil der zweiten Stufe geschlossen wird. Das Ventil der zweiten Stufe öffnet mit dem Luftstrom und wird deshalb als down-stream-Ventil bezeichnet. Diese Anordnung der Ventile erspart die Verwendung eines Sicherheitsventils im Mitteldruckbereich.

Am Gehäuse der ersten Stufe des Lungenautomaten befinden sich in der Regel ein oder zwei Anschlüsse, die mit dem Hochdruckteil der ersten Stufe in Verbindung stehen. Diese meist mit „HP“ gekennzeichnete Anschlüsse stehen für die optische Reservewarneinrichtung, dem UW-Manometer zur Verfügung.

Optische Reservewarneinrichtung Es gibt mechanische und elektronische UW-Manometer. Während elektronische Manometer den im Hochdruckschlauch anstehenden Druck sensorisch ermitteln, basieren mechanische Manometer auf dem Prinzip der Rohrfeder (Bourdonrohr).

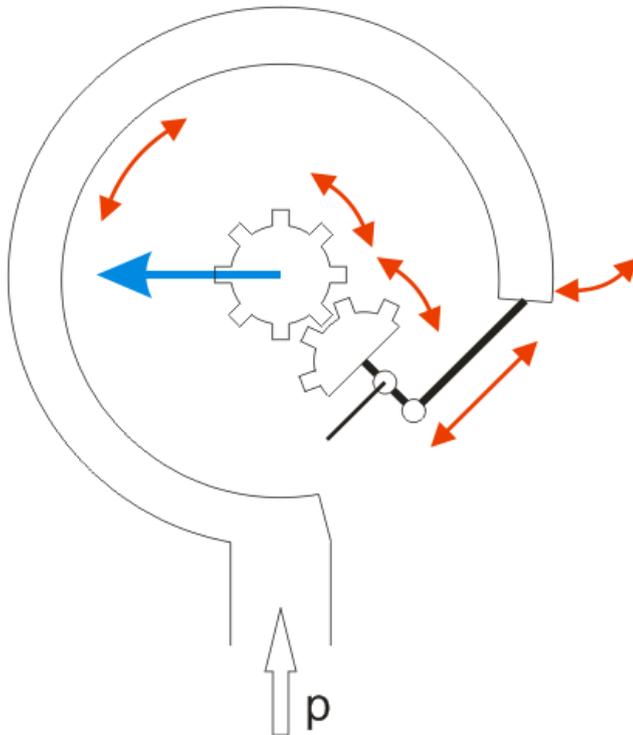


Abbildung 53: Wirkschema eines UW-Manometers mit Rohrfeder-Prinzip

In einem Bourdonrohr wirkt der anstehende Druck auf zwei unterschiedlich große Flächen (Innen- und Außenfläche). Da $p = F/A$ gilt, entsteht bei den unterschiedlich großen Flächen an der gebogenen Rohrfeder eine Kraftdifferenz zwischen Außen- und Innenseite des Rohres, wodurch es sich in Richtung der größeren Kraft (nach außen) verbiegt. Diese Bewegung wird über eine Zeigermechanik auf eine Skala übertragen und kann vom Taucher abgelesen werden.

Die Skala des UW-Manometers muß 20 % mehr anzeigen können, als der für das Manometer zulässige Arbeitsdruck ist. Der Reservebereich muß sich deutlich von der restlichen Skala abheben, so dass der Taucher auf einen Blick erkennen kann, wie sich der Atemgasvorrat der Reserve annähert.

Elektronische UW-Manometer messen den Flaschendruck sensorisch. Der Sensor befindet sich entweder als Funksensor an der ersten Stufe des Lungenautomaten oder der Druck wird ebenfalls über einen Schlauch zum elektronischen Manometer geführt. Elektronische UW-Manometer zeigen den aktuellen Flaschendruck

i.d.R. digital an, warnen zusätzlich zur blinkenden Anzeige auch noch über einen Piepton, der aber bei hoher Aktivität in und auf dem Wasser während eines Einsatzes leicht überhört werden kann. Der gravierendste Nachteil elektronischer Reservewarkeinrichtungen ist ihre Abhängigkeit von einer Energiequelle. Der größte Vorteil dieser Geräte liegt (je nach Ausführung) darin, die restliche Aufenthaltsdauer des Tauchers überschlägig berechnen zu können.

Am Anschluß muß das UW-Manometer eine Drossel aufweisen, die bei einem Defekt des Schlauches oder des Manometers die abströmende Luft auf 40 l / min begrenzt.

Tragevorrichtungen

Um das Drucklufttauchgerät sicher am Taucher zu befestigen ist eine Tragevorrichtung notwendig. Diese nimmt die Druckluftflasche mit Hilfe einer Trageschale und Spannringen auf und wird mit Schultergurten und einem Bauchgurt am Taucher befestigt. Abhängig von den Einsatzbedingungen und der Gerätekonfiguration kann es sinnvoll sein, auch einen Schrittgurt zu verwenden.

Rettungs- und Tariermittel



Abbildung 54: Jacket

Um den Taucher beim Schwimmen unter Wasser im hydrostatischen Gleichgewicht zu halten, bei einem Notfall an die Wasseroberfläche zu bringen oder an der Wasseroberfläche als Schwimmhilfe zu dienen werden Rettungs- und Tariermittel verwendet und vorgeschrieben. Folgende Ausrüstungsgegenstände können zu diesem Zweck eingesetzt werden:

- Rettungsweste
- Jacket
- Trockentauchanzug aus Neopren

Rettungsweste Die Rettungsweste wird vom Taucher um den Hals getragen. Die Befestigung erfolgt mit einem Bauchgurt und einem Schrittgurt sicher am Taucher. Sie kann nur in Verbindung mit einer extra Tragevorrichtung für die Taucherflasche verwendet werden. Als einziges Mittel ist die Rettungsweste in der Lage einen bewußtlosen Taucher jederzeit ertrinkungssicher mit dem Kopf über Wasser zu halten. Die Rettungsweste kann auch ohne Tauchgerät als Schwimmhilfe verwendet werden.

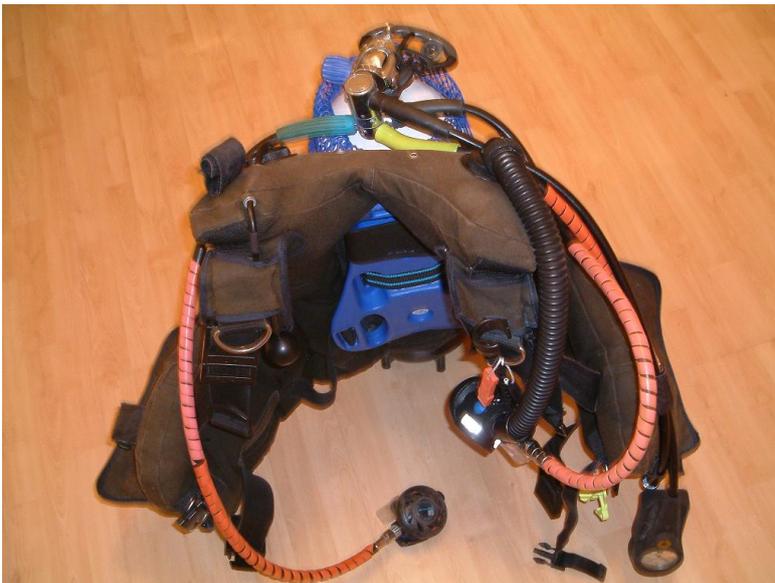


Abbildung 55: Vollständiges Drucklufttauchgerät mit Druckluftbehälter, Lungenautomat (hier Octopussystem), optischer Reserwarneinrichtung und Jacket (Kombination aus Rettungs- und Tariermittel und Tragevorrichtung)

Jacket Jackets sind eine moderne Kombination aus Tragevorrichtung und Rettungs- und Tariermittel. Mit ihnen ist es möglich das DTG vollständig vorzubereiten, bevor es der Taucher für den Einsatz anlegt. Der wesentliche Nachteil dieses Ausrüstungsteils liegt darin, dass es den Taucher nicht sicher mit dem Gesicht über Wasser hält, wenn er nicht mehr selber schwimmen kann. Dies ist konstruktionsbedingt, da sich bei den Jackets die Luftkammern vor allem seitlich befinden. Dieser Umstand bedingt auch, dass bei überbleiten Tauchern die Atmung eingeschränkt wird, was zur schnellen Ermüdung der Atemmuskulatur führt. Durch diese Ermüdung wird die Atmung flacher und es kommt zum Esoufflement.

Mindestanforderungen An Rettungswesten und Jackets werden Mindestanforderungen gestellt.

Damit ein Taucher zum Schwimmen an der Wasseroberfläche einen ausreichenden Auftrieb erfährt ist ein Mindestvolumen erforderlich. Das wirksame Auftriebsvolumen muß mindestens 15 Liter betragen. Wegen die starken Belastungen denen Rettungs- und Tariermittel ausgesetzt sind, muß das Material eine hohe Beständigkeit gegenüber biologischen, chemischen und Strahlungseinflüssen aufweisen. Signalfarbe erleichtert das auffinden abgetriebener Taucher. Um den Taucher ins hydrostatische Gleichgewicht zu bringen oder an der Wasseroberfläche zu halten sind Möglichkeit vorgesehen, um Volumen aufzufüllen oder verringern. Über den Inflator läßt sich Luft aus der Druckluftflasche kontrolliert einfüllen und ablassen. Der Inflator ist auch als Mundaufblasvorrichtung ausgelegt. Einige Rettungs- und Tariermittel verfügen über extra Druckbehälter, sogenannte Westenflaschen. Damit ist es möglich in Abhängigkeit von Flaschengröße und Fülldruck ein gewisses Volumen aufzufüllen. Falls es dem Taucher nicht gelingt den Aufstieg zu kontrollieren, muß er einen Schnellstopp durchführen können. Dazu ist ein Schnellablaß notwendig. Der Schnellablaß ist auch als Überdruckventil ausgelegt, um einen Defekt des Rettungs- und Tariermittels durch einen zu hohen Innendruck zu verhindern. Die Bebänderung soll für einen festen, sicheren Sitz sorgen. Bei Jackets ist es wichtig, dass die Schultergurte mit Schnellverschlüssen versehen sind. Schnellverschlüsse erlauben ein problemloses Trennen des Tauchers vom Gerät, was in Notsituationen von entscheidender Bedeutung sein kann.

Werden Rettungswesten in Verbindung mit Tragevorrichtungen verwendet, ist der Gewichtsgurt über sämtlicher Bebänderung anzulegen, um einen sicheren Abwurf zu gewährleisten.

Rettungs- und Tariermittel dienen nicht als Hebemittel für zusätzliche Ausrüstungsgegenstände (z.B. Lampen). Ein negativer Auftrieb durch zusätzliche Ausrüstungsgegenstände sollte immer durch eine Reduzierung des Gewichts am Gewichtsgurt ausgeglichen werden. Für schwere Werkzeuge und Materialien (z.B.

Stahlrossen), die über längere Strecken vom Taucher unter Wasser transportiert werden müssen, sollten extra Auftriebsmittel verwendet werden, da ein unnötiges Füllen des Auftriebsmittels nicht nur die Bewegungsfreiheit, sondern gerade bei Jackets, auch die Atmung einschränkt und so zur CO_2 -Vergiftung (Essoufflement) führen kann.

5.2.3 Kälteschutzbekleidung

Zur Kälteschutzbekleidung gehören Taucheranzüge verschiedenster Ausführung und die Unterzeihkleidung für Tauchertrockenanzüge. Mit der Bezeichnung Kälteschutzbekleidung wird auf die wichtigste Aufgabe dieser Ausrüstungsteile hingewiesen, die allerdings noch andere funktionelle Anforderungen erfüllen müssen.

Taucheranzüge werden nach der Art des Funktionsprinzips des Kälteschutzes, den sie bieten, unterschieden.

Taucheranzüge werden im Bergungsdienst vor allem als Tauchertrockenanzug mit Konstantvolumen getaucht. In der Industrie und im Offshore-Tauchen finden auch Anzüge mit Wasserheizung ihre Anwendung, die dem Taucher einen extrem langen Aufenthalt ermöglichen. Helmtaucheranzüge mit Kupferhelm gehören eher der Historie an. Tauchernaßanzüge sind im Bereich der Schwimmtaucheranzüge angesiedelt.

Taucheranzüge schützen den Taucher nicht nur vor Kälte, sondern auch vor mechanischen, chemischen und biologischen Einflüssen.

Tauchernaßanzüge

Der Tauchernaßanzug ist preiswerteste Variante des Kälteschutzes. Er besteht aus aufgeschäumtem Gummi mit abgeschlossenen, gasgefüllten Poren, der als Neopren bezeichnet wird. Zur Erhöhung der Festigkeit des 4 mm bis 7 mm dicken Materials ist die Oberfläche innen und außen mit einem Kunstfasergewebe kaschiert. Die Kaschierung erleichtert das An- und Ausziehen des Anzugs und ermöglicht die Verwendung von Signalfarben.

Unter der Voraussetzung, dass der Naßanzug dem Taucher genau paßt, wird auf der Körperoberfläche ein dünner Wasserfilm gehalten, der sich durch die Körpertemperatur schnell erwärmt. Die gasgefüllten Poren verhindern je nach Materialstärke und Tauchtiefe (Gesetz von Boyle-Mariotte: Verringerung des Gasvolu-

mens bei zunehmenden Druck) in mehr oder weniger großem Maße die Abkühlung dieser Wasserschicht.

Durch erhöhte Aktivität des Tauchers findet eine Pumpwirkung statt, die je nach Paßform des Naßanzugs zu einem Austausch des warmen Wassers und damit zu einer schnelleren Auskühlung führt. Dicht abschließende Manschetten an Armen, Beinen und am Halsansatz des Anzuges, sowie der Einsatz von gasdichten Reißverschlüssen verringert diesen Wasseraustausch im Anzug um ein Wesentliches. Tauchernaßanzüge in solchen Ausführungen werden auch als Halbtrockenanzüge bezeichnet.

Tauchernaßanzüge gibt es in verschiedensten Ausführungen. Die einfachste Variante ist eine Kombination aus einer Hose mit Trägern, die bis unter die Achseln reicht (sogenannter Long-John) mit einer Jacke mit angesetzter Kopfhaube. Die Hose des Anzuges reicht bis unter die Achseln des Trägers, wodurch dessen Körperstamm durch die doppelte Isolierschicht geschützt wird.

Die Ausführung des Tauchernaßanzuges als Overall mit angesetzter Kopfhaube in Kombination mit einer Weste läßt sich nicht nur leichter Handhaben, sondern ermöglicht im Gegensatz zur einfachen Hose-Jacke-Variante, das Weglassen der Weste bei warmen Wasser und so eine noch höhere Bewegungsfreiheit des Tauchers.

Ergänzt werden Tauchernaßanzüge durch Handschuhe und Taucherstiefel aus Neopren. Je nach Aufgabe kann man zwischen Dreifinger- und Fünffingerhandschuhen wählen, wobei Dreifingerhandschuhe besser vor Auskühlung schützen, Fünffingerhandschuhe hingegen das Arbeiten erleichtern.

Tauchernaßanzüge gewährleisten im Vergleich zu Tauchertrockenanzügen die beste Beweglichkeit des Tauchers. Der Schutz vor Auskühlung ist dagegen nur befriedigend. Niedrige Wassertemperaturen können eine Tauchzeitbegrenzung erfordern.

Tauchertrockenanzug

Der Tauchertrockenanzug isoliert den Körper des Tauchers nicht nur vor der Kälte, sondern schließt ihn hermetisch vom Wasser ab. Er ermöglicht es, den äußeren Bedingungen angepaßt, Dienstbekleidung oder spezielle Unterzieher zur Kälteisolierung zu verwenden. Kopf und Hände des Tauchers sind in der Regel frei, so dass Tauchertrockenanzüge durch Kopfhäuben und Handschuhe aus Neopren ergänzt werden. Bei Einsatz von Trockenhandschuhen und Vollmasken oder Helmen ist

der Taucher vollkommen hermetisch abgeschlossen, wodurch Tauchgänge in kontaminierten Gewässern möglich sind.

Bei Tauchertrockenanzügen unterscheidet man Anzüge aus gummierten Gewebe (Membran) und Anzüge aus Zellkautschuk (Neopren). Nachteilig wirkt sich, gerade bei Membrananzügen die Volumenverminderung im Anzugsinneren mit zunehmender Tauchtiefe aus. Sie schränkt bei anfänglich sehr guter Bewegungsfreiheit des Tauchers diese zunehmend ein und verursacht in der Nähe von Anzugsfalten Barotraumen der Haut. Der Volumenverlust kann zwar durch das Einströmen von Luft über ein Ventil am Anzug ausgeglichen werden, dabei verteilt sich die Luft aber nicht gleichmäßig im Anzug, sondern bildet im oberen Teil eine Blase.

Neopren bildet keine Falten, so dass die Gefahr von Barotraumen der Haut in Trockenanzügen aus diesem Material nicht gegeben ist. Ein weiterer Vorteil dieser Anzüge ist auch ihr Eigenauftrieb, so dass bei ihrer Verwendung unter bestimmten Voraussetzungen kein zusätzliches Auftriebsmittel (Rettungs- und Tariermittel) notwendig ist.

Eigenschaften	Anzugart	
	Membran	Neopren
Anschaffungspreis	+	-
Reinigung	+	-
Reparaturen	+	-
Eigenauftrieb	-	+
Isolation	-	+
Bewegungsfreiheit	+	-
Eigengewicht	+	-
Robustheit	+	-
Faltenbildung	-	+

Vergleich Membran- und Neoprenanzüge

Besondere Bedeutung kommt bei Tauchertrockenanzügen dem Reißverschluß zu. Mit dessen Hilfe wird das Eindringen von Wasser verhindert und ein konstantes Luftvolumen im Anzug gehalten. Ein Defekt des Reißverschlusses stellt den Verlust aller positiven Eigenschaften des Trockenanzuges dar, so dass unbedingt darauf geachtet werden muß, dass Knickstellen vermieden werden. Knickstellen treten auf, wenn der Reißverschluß für das Einsteigen des Tauchers zu klein gewählt ist, an Körperknickstellen (z.B. am Bauch) und bei der Verwendung von harten und scharfkantigen Ausrüstungsgegenständen (z.B. Gewichtsgurt), die über den

Reißverschluß geführt werden. Für ein geringes Knick- und Verschmutzungsrisiko ist die Führung des Reißverschlusses quer über den Rücken optimal.

Bilder Reisverschlußführung

Um eine gute Gängigkeit des Reißverschlusses zu erreichen, sollte dieser vor jedem Tauchgang mit einem speziellem Pflegewachs behandelt werden. Auf gar keinen Fall darf Fett oder Silikon dafür verwendet werden, da diese Mittel Schmutz anziehen und damit den Reißverschluß undicht werden lassen.

Unterziehbekleidung für Tauchertrockenanzüge

Die Qualität der Unterziehbekleidung ist gerade bei Membrananzügen für die Wärmeisolation sehr wichtig. Hierbei sollte bereits das Grundmaterial des Unterziehers gute Isolationseigenschaften haben. Geringes Volumen, bei guter Isolation ist Voraussetzung für eine hohe Bewegungsfreiheit des Tauchers bei geringem Einsatz von Bleigewichten. Material aus künstlichen Hohlfasern ist besonders geeignet, da es im Gegensatz zu Wolle nicht fusselt und dadurch das Auslaßventil des Anzugs nicht beeinträchtigt wird.

Eigenschaften	Unterziehmaterial	
	Wolle	Künstliche Hohlfaser
Anschaffungspreis	+	-
gute Wärmeisolation des Grundmaterials	+	+
geringes Volumen bei guter Isolation (wenig Blei)	-	+
wenig Isolationsverlust bei defektem Anzug	-	+
geringe Volumenänderung unter Druck	-	+
geringe Wasseraufnahme	-	+
Winddicht und regenabweisend	-	+
feuchtigkeitsdiffundierend (trockene Haut)	+	+
nicht fusselnd (Schutz des Auslaßventils)	-	+

waschbar und schnell - +
trocknend

Vergleich Taucherunterziehbekleidung aus Wolle und künstlicher Hohlfaser

Eine Kombination der Taucherunterziehbekleidung mit Unterwäsche aus Polypropylen (Ski-Unterwäsche) hat sich als günstig erwiesen, da die Unterwäsche die Feuchtigkeit, die gerade beim Ankleiden des Tauchers entsteht, sofort vom Körper wegtransportiert und damit der Auskühlung entgegenwirkt.

5.2.4 Gewichtssysteme

Im Tauchdienst haben sich heute verschiedene Systeme für das Beschweren des Tauchers durchgesetzt. Angefangen vom einfachen Gewichtsgurt über im Rettungs- und Tariermittel integrierte bis hin zu geschirrtartigen Konstruktionen.

Zusätzliches Gewicht soll Schwimmtauchern helfen, den anfänglich hohen Auftrieb des Tauchanzuges auszugleichen. Es darf nur so viel sein, dass sich der Taucher im ungünstigsten Falle (volles Gerät, zusätzliche Ausrüstung, defektes Auftriebsmittel, defekter Lungenautomat) noch über Wasser halten kann. Es ist deshalb für den Schwimmtaucher unerlässlich, das Gewicht an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen (siehe auch „Richtiges Austarieren“). Schwimmtaucher sind immer bestrebt, das Zusatzgewicht so zu platzieren, dass sich in waagerechter Lage der Schwerpunkt möglichst tief befindet. Dadurch wird eine stabile Schwimmlage erreicht.

Für Arbeiten im Bergungstauchereinsatz, bei denen der Taucher keine ständigen Positionswechsel (wie z.B. bei Suchaufgaben) durchführen muß, sondern einen begrenzten Bewegungsspielraum hat, kann der Gewichtsgurt so gewählt werden, dass der Taucher eine hohe Standfestigkeit erhält.

Das Gewichtssystem muß aus Material bestehen, welches chemischen und biologischen Belastungen stand hält und auch bei großer Kälte noch beweglich ist und nicht bricht. Der Verschluß zum Abwerfen des Gewichtes muß mit einer Hand bedient werden können. Selbiges gilt auch für Bleitaschen, die in Jackets oder Tragegeschirren integriert sind. Der Gewichtsgurt muß grundsätzlich immer über dem Gurtzeug des Tauchgerätes und unterhalb der Signalleine getragen werden. Nur so ist ein schnelles Abwerfen in Havariesituationen möglich.

5.2.5 Führungs-, Sicherheits- und Orientierungsmittel

Die Führungs-, Sicherheits- und Orientierungsmittel gewährleisten oder erleichtern die Führung der Taucher, dienen der Sicherheit und ermöglichen auch bei ungünstigen Sichtbedingungen eine ausreichende Orientierung unter Wasser. Zu den Führungs-, Sicherheits- und Orientierungsmitteln gehören folgende Ausrüstungsgegenstände:

- Signal- und Verbindungsleinen
- Unterwassersprechgeräte
- Grundtaue
- Tauchermesser
- Taucheruhren
- Tiefenmesser
- Dekompressionsrechner (Tauchcomputer)
- Taucherkompass
- Taucherrettungsgeschirre

Signalleinen

Signalleinen sind Leinen, die der Führung und der Sicherung des Tauchers dienen und eine Verbindung zwischen Signalmann und Taucher zur Signalgebung gewährleisten. Signalleinen sind geflochten, haben einen Durchmesser von 10 bis 14 mm und eine Zugfestigkeit von nicht weniger als 2000 N. Sie sind schwimmfähig und gut erkennbar eingefärbt (z.B. zink-gelb oder orange-rot). Ihre Länge darf 50 m nicht überschreiten. Mehrere Leinen dürfen nicht miteinander gekoppelt werden.

Die Signalleine muß so angelegt werden, dass eine zur Rettung ausreichende Zugkraft sicher übertragen werden kann und die Leine sich nicht zuzieht. Dies wird z.B. durch einen Palstek oder durch Haltegurtsysteme (Rettungsgeschirre) erreicht.

Signalleine dürfen nicht am Gewichtssystem oder am Tauchgerät befestigt werden, da diese im Gefahrfall nicht mehr abgeworfen werden können.

Neben dem Einzeltaucher dürfen auch zwei oder max. drei Taucher gleichzeitig an einer Signalleine geführt werden. Bei mehreren Tauchern sind diese untereinander

mit Verbindungsleinen zu verbinden. Bei einem Tauchtrupp mit drei Tauchern muß der mittlere Taucher die Signalleine führen. Beim Tauchen unter Eis muß jeder Taucher über eine Signalleine mit einem Signalmann verbunden sein.

Verbindungsleinen

Verbindungsleinen dienen der Verbindung zwischen zwei Tauchern. Sie werden auch als Handleinen oder Buddy-Leine bezeichnet.

Werden mehrere – maximal bis zu 3 – Taucher gleichzeitig als Tauchtrupp eingesetzt (z.B. bei Suchsystemen), kann auf die Signalleine für jeden Taucher verzichtet werden, wenn ein Taucher über die Signalleine mit dem Signalmann und mit den weiteren Tauchern über je eine Handleine verbunden ist.

Verbindungsleinen sind schwimmfähig, haben einen Durchmesser von mindestens 6 mm und eine Seil-Höchstzugkraft von nicht weniger als 1000 N. Ihre Nutzlänge darf 1,5 m nicht überschreiten. Handschlaufen an den Seilenden sind zulässig. Auf keinen Fall ist eine Befestigung am Gewichtssystem oder dem Tauchgerät gestattet.

Laufleinen

Laufleinen sind Leinen, die der Orientierung des Tauchers dienen und die hauptsächlich zur Durchführung von Sucharbeiten verwendet werden. Laufleinen haben einen Durchmesser von mindestens 8 mm und eine Seil-Höchstzugkraft von nicht weniger als 2000 N. Ihre Länge darf 40 m nicht überschreiten.

Grundtaue

Grundtaue sind Leinen, die der Orientierung des Tauchers zwischen Oberfläche und Arbeitsplatz unter Wasser dienen. Sie haben einen Durchmesser von 24 bis 28 mm und sollten eine Mindestzugfähigkeit von 2000 N aufweisen.

Bietet sich keine Möglichkeit das Grundtau direkt am Arbeitsplatz des Tauchers zu befestigen, so sollte es mit einem mindestens 20 kg schweren Grundgewicht versehen sein.

Taucherrettungsgeschirre

Statt der Sicherung des Tauchers durch die Signalleine mit Palstek können auch Haltegurtsysteme (Rettungsgeschirre) verwendet werden, die direkt über dem Tauchanzug getragen werden und bei denen ein Schraubkarabiner als Verbindung Gurt/Leine dient.

Unterwassersprechgeräte

Das geeignetste Mittel zur Führung von Tauchern während eines Tauchereinsatzes sind Unterwassersprechgeräte. Bei Bestehen einer Sprechrichtung zum Taucher kann auf die Leinenzugzeichen verzichtet werden. Ihre Anwendung stellt einige Anforderungen an die Taucherausrüstung. Die wichtigste davon ist, dass die Ausrüstung es ermöglichen muß, frei, d.h. ohne Mundstück zu atmen und zu artikulieren. Dies wird durch den Einsatz von Vollmasken und Helmen erreicht. Für Tauchgeräte, die durch ihre Wirkungsweise als abhängig von der Wasseroberfläche klassifiziert werden, eignet sich wegen der großen Stabilität der Verbindungen am besten Tauchertelefone mit Telefonkabel. Telefonleinen sind Signalleinen, in die Telefonkabel zugentlastet eingeflochten sind. Telefonleinen brauchen nicht schwimmfähig zu sein. Für autonome Taucher kann diese Verbindungsart auch genutzt werden, zumal über Kabel auch direkte Videoübertragungen möglich sind. Sinnvoll sind für autonome Taucher aber vor allem drahtunabhängige Unterwassersprechgeräte. Hierbei erfolgt die Übertragung im Wasser innerhalb des Ultraschallfrequenzbereiches. Bei drahtlosen Sprechrichtungen ist eine gesonderte Signalleine weiterhin erforderlich.

In Gewässern mit besonderen Gefahren und Erschwernissen sollte nur mit einer betriebsbereiten Sprechrichtung getaucht werden. Solche Einsatzbedingungen können z.B. sein:

- Gezeiten
- Strömung
- Schiffsverkehr
- Wassertemperatur
- Gesundheitsgefährdung durch das Gewässer
- Witterung

Besondere Gefahren und Erschwernisse stellen z.B. dar:

- starke Strömung (Strömung von mehr als 1,5 m/s)
- Einsätze in oder unter Wracks oder Bauwerken
- Ansaugöffnungen von Saugrohrleitungen
- Unterspülungen
- einsturz gefährdete Wände

Tauchermesser

Tauchermesser sind Rettungsmittel und können außerdem als leichte Werkzeuge verwendet werden. Sie dienen zum Schneiden, Sägen, Hebeln oder Schlagen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muß die Klinge aus rostfreiem Stahl sowohl eine Schneide als auch eine Säge haben. Mit der Säge kann auch dickeres Tauwerk einfach durchtrennt werden. Die Klinge muß, damit sie nicht abbrechen kann, in gleicher Dicke in den Griff übergehen und sollte am Ende des Griffs eine Schlagplatte aufweisen.

Die Messerscheide muß das Tauchermesser sicher vor Verlust schützen und von ihrer Bauart her verhindern, dass der Taucher sich selbst verletzt oder Ausrüstungsteile beschädigt wenn er das Messer entnimmt oder zurück steckt.

Tauchermesser sind verlustsicher und so an der Ausrüstung zu befestigen, dass sie für den Taucher in jeder Lage und schnell erreichbar sind. Tauchermesser dürfen nicht am Gewichtssystem befestigt werden.

Taucheruhren

Taucheruhren sind für die Kontrolle und Einhaltung der vorgegebenen bzw. geplanten Tauchzeiten, der Aufstiegsgeschwindigkeiten und der Dekompressionszeiten erforderlich. Sie müssen den gültigen DIN bzw. EN (z.B. DIN 8306 „Taucheruhren“) entsprechen.

Mindestanforderungen:

- Druckfestigkeit 200 m
- Rastender Tauchzeitring, nur gegen den Uhrzeigersinn verstellbar (analoge Uhren)
- Kratzfestes Glas
- Gute Ablesbarkeit

- Leuchtziffernblatt (analoge Uhren)
- Beleuchtung (digitale Uhren)
- Verstellbares oder elastisches (auch bei niedrigen Temperaturen) Armband

Der Tauchzeitring an analogen Taucheruhren muß rastend sein, damit ein versehentliches Verstellen erschwert ist. Kommt es doch dazu, dass der Ring versehentlich verstellt wird, so darf sich dieser nur gegen den Uhrzeigersinn verstellen lassen, um die Tauchzeit nicht ungewollt zu verlängern und damit die Dekompressionsvorschrift zu verfälschen.

Tiefenmesser

Tiefenmesser werden für die Kontrolle und Einhaltung der Tauchtiefen, der Aufstiegsgeschwindigkeiten und der Dekompressionstiefen benötigt. Es gibt sie in mechanischer und elektronischer Ausführung.

Mechanische Tiefenmesser arbeiten i.d.R. nach dem Prinzip der Rohrfeder (Bourdonrohr) oder als Membrantiefenmesser. Bei den Rohrfedermessern wirkt der Umgebungsdruck, wie bei mechanischen UW-Manometern, über das ölgefüllte Gehäuse auf die unterschiedlich großen Innen- und Außenfläche der gebogenen Rohrfeder. Hier wirkt der Druck von außen auf das Rohr, welches an einer Seite fest gelagert ist und am „freien“ Ende die Bewegung über eine Mechanik auf einen Zeiger überträgt.

Membrantiefenmesser haben ein luftgefülltes Gehäuse, die dem der Druck auf eine bewegliche Membran wirkt, deren Durchbiegung wiederum über eine Mechanik auf einen Zeiger übertragen wird. Die Forderung an die mechanischen Tiefenmesser bezieht sich vor allem auf die gute Ablesbarkeit im Bereich der Dekompressionsstufen, aber auch in größeren Tiefen soll ihre Skala noch genügend gespreizt sein. Die maximal erreichte Tiefe muß gespeichert werden. Dies erfolgt mit einem Schleppzeiger, der an der maximalen Tiefe stehen bleibt und vor einem Tauchgang auf die Null-Marke zurückgestellt werden muß.

Elektronische Tiefenmesser ermitteln über einen Drucksensor die Tiefe an Hand des entsprechenden Umgebungsdrucks. Sie zeigen die aktuelle und maximale Tiefe digital an und sind in der Regel mit einer Uhr kombiniert.

Dekompressionsrechner (Tauchcomputer)

Dekompressionsrechner oder auch Tauchcomputer sind eine Einheit aus Taucheruhr, Tiefenmesser und Dekompressionstabelle. Aus den aufgenommenen Werten Zeit und Tiefe errechnet der Tauchcomputer, abhängig vom Modell, für verschiedenen schnelle Gewebe deren Aufsättigung mit Stickstoff. Mit Hilfe hinterlegter Dekompressionstabellen ermittelt er die entsprechenden Austauschvorschriften in Abhängigkeit vom durchgeführten Tauchgang.

Einige Modelle beziehen nicht nur Zeit und Tiefe in ihre Berechnungen ein sondern berücksichtigen auch Wassertemperatur, Luftdruck, Druck (-veränderung) im DTG und die Temperatur des Atemgases. Logbuchfunktion und Tauchgangsplaner sowie die Möglichkeit, die gespeicherten Tauchgangsdaten auf einen PC zu überspielen und dauerhaft zu speichern, ergänzen das Funktionsspektrum der Tauchcomputer.

Tauchcomputer können zusätzlich zu Taucheruhr, Tiefenmesser und Tabellen verwendet werden, jedoch haben grundsätzlich Tabellen Vorrang. Warnungen der Geräte sind zu berücksichtigen.

Taucherkompass

Taucherkompass sind unentbehrliche Hilfsmittel für die Richtungsorientierung autonomer Taucher. Der Forderung nach Funktionstüchtigkeit unter teilweise recht hohen Außendruck kommen Taucherkompass durch eine Füllung mit Öl nach.

Diese Ölfüllung verhindert nicht nur, dass der Kompaß zusammengedrückt wird, sie kompensiert auch die Bewegung der Kompaßrose und erleichtert so die Ablesbarkeit. Die Lagerung der mit 360° eingeteilten Kompaßrose sollte möglichst so ausgeführt sein, dass sie ein verkantungsfreies Arbeiten ermöglicht. Dieser Forderung kommen Kugelkompass am besten nach, die aber wegen ihrer Größe für den Tauchdienst nicht geeignet sind.

Von der Bauform her kommen im Tauchdienst vor allem Peilkompass zum Einsatz. Peilkompass haben die Möglichkeit an einer um 180° versetzten Skala, die seitlich ablesbar ist, ein Ziel genau anzupeilen und darauf zu zuschwimmen oder nur nach dem Kompaß zu tauchen, in dem er mit gestreckten Armen in Schwimmrichtung gehalten und ständig abgelesen wird.

Für die Verwendung bei Dunkelheit muß die Kompaßrose nachleuchtend sein. Ein rastender Stelling ermöglicht auch bei umfangreicheren Kursen oder bei nur sporadischem Einsatz des Kompasses ein sicheres Marken der Peilung.

In der Nähe des Kompasses dürfen keine magnetischen, magnetisierbaren oder stromführende Ausrüstungsteile verwendet werden, da hierdurch der Kompaß abgelenkt wird.

5.2.6 Atemluftkompressor

Atemluftkompressoren dienen der Erzeugen hochkomprimierter öl- und geruchsfreier Atemluft entsprechend der DIN EN 12 021 „Druckluft für Atemschutzgeräte“. Es gibt sie in stationärer und transportabler Ausführung.

Stationäre Anlagen sind in der Regel mit elektrischen Antrieb (Drehstrom) ausgestattet und weisen eine hohe Luftlieferleistung auf, wohingegen transportable Geräte, aufgrund ihrer Bauart, geringere Luftlieferleistungen haben. Dafür können transportable Geräte aber auch mit Lichtstrom und netzunabhängig mit Benzin- oder Dieselaggregaten betrieben werden.

Die Anlagen bestehen aus der Antriebs-, Verdichter- und Filtereinheit, Die Baugruppen befinden sich auf einer Grundplatte, die durch Schwingungsdämpfer elastisch an einem Rohrrahmen befestigt sind. Die Kühlung der Verdichteranlage wird über ein Kühlerrad sichergestellt, welches Frischluft über die Verdichtereinheit führt. Die Zwischenkühlung der komprimierten Luft erfolgt nach jeder Kompressionsstufe.

Die Kompressoren verdichten die angesaugte Umgebungsluft in drei (die meisten transportablen Geräte) oder vier Stufen. Über einen Ansaugfilter gelangt die Luft in den Zylinder der ersten Stufe. Nach der Kompression erfolgt die Rückkühlung und anschließend die weitere Verdichtung in der zweiten Stufe. Danach wird die Luft erneut gekühlt und ggf. zwischengefiltert, hier verliert die Luft den größten Teil ihres Kondensats und ölige Verunreinigungen. In der dritten Stufe erhält die Luft den Enddruck, wird noch einmal gefiltert, um die restlichen Verschmutzungen und schädliche Kohlenwasserstoffe zu entfernen, und noch einmal gekühlt. Daraufhin wird die Luft nachgetrocknet und gelangt über eine Füllarmatur in die Druckluftbehälter. Bei vierstufigen Kompressoren ist ein weiterer Zylinder und eine dazugehörige Kühlung zwischengeschaltet. Jede Stufe ist mit einem Sicherheitsventil ausgestattet. Rückschlagventile verhindern den Rückstrom der komprimierten Luft in vorgeschaltete Baugruppen.

Die Ausstattung der Anlagen mit zwei Füllarmaturen ist zweckmäßig, um ein rationales wechselseitiges Füllen zu ermöglichen. Stationäre Anlagen können mit einem Zwischenpuffer versehen werden.

Bei Beschaffung von Atemluftkompressoren ist darauf zu achten, dass für diese eine Bauartzulassung vorliegt. Ansonsten müssen sie vor der Inbetriebnahme einer Prüfung durch einen Sachverständigen (z.B. TÜV) zugeführt werden.

Die vom Kompressor gelieferte Atemluft ist mindestens jährlich auf Reinheit prüfen zu lassen und die Filter sind nach Maßgabe der Betriebsanleitung des Herstellers auszuwechseln. Bewegliche Leitungen (Schläuche und Gelenkrohre) sind nach Erfordernis, mindestens jedoch in Abständen von sechs Monaten von einem Sachkundigen prüfen zu lassen. Die Ergebnisse sämtlicher Prüfungen sind schriftlich festzuhalten.

5.2.7 Taucherhilfsgeräte

Taucherhilfsgeräte werden entsprechend den Bedingungen einzelner Tauchgänge eingesetzt und ermöglichen bzw. erleichtern die Erfüllung spezifischer Taucheraufgaben oder dienen der Erhöhung der Sicherheit des Tauchers unter den gegebenen Verhältnissen. Für Taucher in Hilfeleistungsunternehmen kommen folgende Taucherhilfsgeräte in Betracht:

- Taucherleiter;
- Unterkielleine;
- Unterwasser-Beleuchtungsmittel;
- Unterwasser-Ortungsgeräte;
- Tauchergrundrolle;
- Taucherschutzschild;
- Werkzeuge für Unterwasserarbeiten;
- Unterwasser-Videogerät;
- Unterwasser-Brennschneidgerät.

Taucherleiter

Eine Taucherleiter dient dem Ein- und Ausstieg von Tauchern ins bzw. aus dem Wasser, sofern nicht vom flachen Ufer aus getaucht wird. Vor allem beim Tauchen von Booten oder schwimmenden Geräten ist der Einsatz einer Taucherleiter zweckmäßig.

Die Taucherleiter muß aus Metall gefertigt sein. Sie sollte mindestens 1,8 Meter in das Wasser ragen, 20 cm Sprossenabstand haben und eine Breite von ca. 50 cm aufweisen.

Unterkielleine

Die Unterkielleine dient der Orientierung an Schiffsböden und sichert gleichzeitig den Helmtaucher vor einen Absturz bei Taucherarbeiten. Für Unterkielleinen ist Tauwerk von 2 cm bis 3 cm Durchmesser mit einer Mindestzugfestigkeit von 2000 N zu verwenden.

Unterwasser-Beleuchtungsmittel

Unterwasser-Beleuchtungsmittel dienen der Ausleuchtung des Unterwasser-Arbeitsplatzes oder zur Orientierung während des Tauchens bei Nacht oder in gedeckten Räumen. Die Benutzung von Unterwasser-Beleuchtungsmitteln in verschmutzten Gewässern führt lediglich in begrenztem Umfang zu einer diffusen Helligkeit, ohne die Sichtweite wesentlich zu verändern.

Als Unterwasserbeleuchtungsmittel werden Scheinwerfer mit Stromversorgung von der Wasseroberfläche aus oder Handlampen verwendet.

Unterwasser-Ortungsgeräte

Unterwasser-Ortungsgeräte für Taucher sind auf Ultraschallbasis arbeitende Sende-Empfänger-Geräte mit optischer oder akustischer Anzeige. Abgegebene Sendeimpulse werden beim Auftreffen auf Hindernisse reflektiert, vom Gerät wieder empfangen und für den Taucher sichtbar oder hörbar gemacht.

Geräte, die die Entfernung zum Objekt in Metern anzeigen, können von der Wasseroberfläche aus auch zum Loten der Tiefe verwendet werden. Dabei ist unbedingt auf eine senkrechte Verwendung zu achten.

Tauchergrundrolle und Taucherschutzschild

Mit einer Tauchergrundrolle können die Signal- oder Telefonleine und vor allem der Luftzuführungsschlauch auf dem Gewässergrund beim Tauchen in starker Strömung umgelenkt werden. Ihre Aufgabe ist es, ein strömungsbedingtes ungewolltes Auftreiben des Tauchers zur Wasseroberfläche zu verhindern.

Das Taucherschutzschild dient dem Schutz des Tauchers vor der Strömung und Treibgut in strömenden Gewässern.

Werkzeuge für Unterwasserarbeiten

Zu den Taucherhilfsgeräten werden auch alle für Unterwasserarbeiten geeigneten und verwendeten Werkzeuge gezählt.

Die Palette der Werkzeugarten für Unterwasserarbeiten ist recht umfangreich. Am meisten arbeiten Taucher mit einfachen Werkzeugen für die Metall- und Holzbearbeitung. Es gibt auch speziell für den Unterwassereinsatz ausgelegte Geräte und Maschinen mit Druckluft-, Hydraulik- oder Elektroantrieb.

Alle Werkzeuge für die UW-Arbeit sind vor Verlust mit Leinen zu sichern.

Hebesäcke

wird noch bearbeitet

Unterwasser-Brennschneidgerät

<http://www.diamondbacktactical.com/images/prodimages/PCTACMOD1.jpg>
BROCO Prime-Cut

wird noch bearbeitet

5.2.8 Taucherdruckkammern

Taucherdruckkammern sind Druckbehälter, die

- dem Transport oder der Behandlung erkrankter Taucher;
- zu Trainingsabstiegen von Tauchern;

- der stufenweisen Dekompression der Taucher während eines Tauchganges dienen.

Die Einmann-Taucherdruckkammer

wird noch bearbeitet

Die stationäre Taucherdruckkammer

wird noch bearbeitet

Kapitel 6

Tauchpraxis

Für die Gesamtheit der Handlungen eines Tauchers vom Einsteigen in das Wasser bis zum Auftauchen gilt die in der Unfallverhütungsvorschrift GUV-R 2101 gebrauchte Bezeichnung "Tauchgang".

Da sich alle wesentlichen physiologischen Besonderheiten, die mit einem Tauchgang einhergehen, auch bei einer Druckbe- und -entlastung in der Taucherdruckkammer zeigen, ist der Druckkammerabstieg ebenfalls als ein Tauchgang anzusehen, wenn auch als eine besondere Art des Tauchganges.

6.1 Der Tauchgang und seine Phasen

6.1.1 Begriffsbestimmung

Ein Tauchgang ist ein zeitlich begrenzter, einmaliger Aufenthalt unter Wasser. Wiederholungstauchgänge sind Tauchgänge, die in kürzeren Abständen als 12 Stunden aufeinander folgen.

Für das Tauchen während eines Taucheinsatzes kommen alle Aufgaben zur Durchführung eines Unterwasser-Einsatzauftrages, die Taucherausbildung und Übungstauchgänge in Betracht.

Zu einem Taucheinsatz zählen alle mit dem Tauchgang in Verbindung stehenden Aufgaben, wie

- Vorbereitung,
- Durchführung,
- Nachbereitung und
- Sicherstellung des Taucheinsatzes.

Für jeden Taucheinsatz muß ein Einsatzauftrag klar formuliert und gegebenenfalls schriftlich fixiert werden. Der Taucheinsatzführer, sein Stellvertreter sowie das für die Durchführung von Tauchgängen und für die medizinische Sicherstellung einzusetzenden Personal sind festzulegen. Ein Notfallplan ist zu erstellen und bekannt zu geben. Der Taucheinsatzführer (Leiter des Taucheinsatzes, Taucheinsatzleiter) ist ein nach den Regeln der GUV-R 2101 ausgebildeter Taucher, der für die Durchführung von Tauchgängen verantwortlich ist. Als Taucheinsatzführer sollte nach Möglichkeit immer ein erfahrener Taucher herangezogen werden.

Als erfahren kann ein Taucher gewertet werden, wenn er mindestens 100 Tauchgänge mit einer Mindesttauchzeit von 60 Stunden unter Einsatzbedingungen im Freigewässer nachweisen kann.

Ein Tauchgang ist nur bei der Verwendung eines Tauchgerätes als Tauchgang im Sinne der GUV-R 2101 anzusehen. Das sportliche Freitauchen und das Schwimmen oder Tauchen unter alleiniger Nutzung des Schnorchels gelten deshalb nicht als Tauchgänge.

Das Abtauchen, der Aufenthalt in der Tiefe und das Austauchen sind die Phasen des Tauchganges.

Der Anfang eines Tauchganges wird durch das Atmen aus dem Tauchergerät unmittelbar vor dem Abtauchen charakterisiert. Ein Tauchgang beginnt also bei der Nutzung von Schwimmtauchgeräten mit dem Atmen aus dem Gerät bei gleichzeitigem Abtauchen und beim Tauchen mit Helmtaucherausrüstung mit dem Schließen des Helmes.

Als beendet gilt der Tauchgang mit dem Atmen – frei aus der Atmosphäre – unmittelbar nach dem Auftauchen des Schwimmtauchers bzw. nach dem Öffnen des Helmes bei Helmtauchern.

6.1.2 Arten von Tauchgängen

Die Tauchgänge lassen sich zunächst nach der Art der genutzten Tauchgeräte einteilen in:

- Schwimmtauchgänge mit verschiedenen Typen von Schwimmtauchgeräten wie Druckluftgerät oder NITROX-Gerät;
- Helmtauchgänge mit dem schlauchversorgten Helmtauchgerät oder dem Helmtauchgerät mit eigenem Atemgasvorrat (autonomer Helmtaucher).

Schwimmtauchgeräte gestatten es, die damit ausgerüsteten Taucher auch als Grundtaucher arbeiten zu lassen. Schlauchversorgte Helmtauchgeräte gestatten in der Regel nur Grundtauchgänge.

In Abhängigkeit von der Tauchtiefe lassen sich unterscheiden:

- Tauchgänge in geringe Tiefen bis 10,5 m Tauchtiefe;
- Tauchgänge in mittlere Tiefen von 10,5 bis 20 m Tauchtiefe;
- Tauchgänge in große Tiefen von 20 m bis 30 m Tauchtiefe (Ausnahme).

Für Taucheinsätze mit Tauchtiefen von mehr als 30 m gelten die Bestimmungen der Unfallverhütungsvorschrift (UVV) „Taucherarbeiten“ (BGV C 23).

Ausgehend von der Anzahl der absteigenden Taucher wird eingeteilt in:

- Gruppenabstiege,
- Truppabstiege und
- Einzelabstiege.

Dabei sind Gruppenabstiege die vom Tauchgruppenführer geleiteten Tauchgänge einer Tauchgruppe zur gemeinsamen Erfüllung einer Aufgabe. Der Tauchgruppenführer kann dabei den Taucheinsatz von der Wasseroberfläche aus leiten oder als Führungstaucher unter Wasser handeln.

Truppabstiege sind Tauchgänge von Teilen der Tauchgruppe unter der Führung eines Tauchtruppführers, welcher dem Leiter des Taucheinsatzes unterstellt ist. Truppabstiege können an unterschiedlichen Einsatzorten gleichzeitig, aber immer im Rahmen eines zentral vorbereiteten, durchgeführten und sichergestellten Taucheinsatzes erfolgen.

Einzelabstiege, sind Abstiege einzelner Taucher, die entweder in der Tauchgruppe oder in einem Tauchtrupp organisiert, geführt und sichergestellt werden.

Dabei besteht ein Tauchtrupp aus mindestens zwei bis maximal vier Tauchern (ein bis max. drei Einsatztaucher und ein Sicherungstaucher) und einem Signalmann. Eine Tauchgruppe besteht aus zwei oder mehreren Tauchtrupps zur Durchführung größerer Taucheinsätze.

Abhängig davon, ob Tauchtiefe, Tauchzeit und Art des genutzten Atemgases das Austauchen aus geringen Tiefen, ohne Beachtung von Dekompressionsvorschriften möglich machen oder das Austauchen aus mittleren und großen Tiefen nach strikter Einhaltung von Maximaltauchzeiten (Nullzeiten) ohne Dekompressionspausen oder das Austauchen entsprechend den gegebenen Bedingungen mit stufenweiser Dekompression erfordern unterscheidet man Tauchgänge nach ihrem Austauschverfahren:

- Tauchen in geringen Tiefen,
- Nullzeittauchgänge,
- Dekompressionstauchgänge.

Letztere sind grundsätzlich zu vermeiden!

Beim Austauchen darf die maximale Aufstiegsgeschwindigkeit 10 m/min nicht überschreiten. Beim Austauchen mit Haltezeiten sind die in den Dekompressionstabellen enthaltenen Vorgaben einzuhalten.

6.1.3 Die Phasen eines Tauchgangs

Abtauchen, Aufenthalt in der Tauchtiefe und Austauchen kennzeichnen nicht nur unterschiedliche Handlungen der Taucher, sondern sind gerade dadurch charakterisiert, daß ihre jeweiligen Besonderheiten den menschlichen Organismus unterschiedlich beeinflussen.

Aus hydrostatischen Gesichtspunkt betrachtet, werden die Phasen des Tauchganges auch in

- Kompressionsphase,
- Isopressionsphase und
- Dekompressionsphase eingeteilt.

Das Abtauchen (Kompressionsphase)

Das Abtauchen ist das Verlassen der Wasseroberfläche, um die für die Erfüllung der Tauchaufgabe erforderliche Tauchtiefe aufzusuchen. Es wird im wesentlichen durch die Zunahme des auf den Taucher wirkenden hydrostatischen Drucks charakterisiert.

Beim Abtauchen ist eine möglichst große Abtauchgeschwindigkeit anzustreben. Die Abtauchgeschwindigkeit darf allerdings nur so hoch sein, wie es der Druckausgleich in den luftgefüllten Hohlräumen des Körpers zuläßt.

Wie besonders bei großen Tauchtiefen erkennbar, haben lange Abtauchzeiten zeitaufwendigere Austauschzeiten zur Folge. Während der Einstieg für Schwimmtaucher beliebig sein kann, sollte er durch Helmtaucher, außer wenn vom flachen Ufer aus getaucht wird, immer über eine Taucherleiter geschehen.

Unmittelbar unter der Wasseroberfläche sind Sitz und Funktionstüchtigkeit der Taucherausrüstung zu überprüfen. Schwimmtaucher müssen so austariert sein, daß sie mit leerer Tarierhilfe im hydrostatischen Gleichgewicht sind. Der Signalmann kontrolliert die Dichtheit der Ausrüstung.

Abhängig von der jeweiligen Aufgabe, von den konkreten örtlichen Gegebenheiten und vom Tauchgerätetyp ergeben sich für das Abtauchen folgende Methoden :

Abtauchen am Grundtau

Das Abtauchen am Grundtau gilt als die Abtauchmethode mit der größten Sicherheit für den Taucher und ist die einfachste Methode den Einsatzort sicher zu erreichen. Besonders bei Tauchgängen in mittlere Tauchtiefen, unter schlechten Sichtverhältnissen oder bei Strömung sollte sie bevorzugt angewendet werden.

Beim Setzen des Grundtaus ist immer zu versuchen, so nahe wie möglich an das Arbeitsobjekt zu gelangen, um dem Taucher das Auffinden des Arbeitsplatzes bzw. später des Grundtaus zu erleichtern. Diesem Zweck dient auch eine Laufleine, die als Orientierungshilfe Grundtau und Arbeitsplatz miteinander verbindet.

Das Grundtau muß so angebracht sein, daß es durch den Taucher von der Taucherleiter aus direkt oder über eine Verbindungsleine erreicht werden kann.

Abtauchen vom flachen Ufer aus über dem Gewässergrund

Das Abtauchen vom flachen Ufer aus über dem Gewässergrund ist unter günstigen Geländebedingungen eine vorteilhafte Abtauchmethode für Tauchgänge zur Lösung von Taucheraufgaben in der Nähe des Ufers.

In unbekanntem Gewässern, besonders in Seen, die aus Kies-, Lehm- bzw. Tongruben oder Tagebauen entstanden sind, besteht durch steil abfallende Böschungen unterhalb der Wasseroberfläche immer die Gefahr des Abrutschens. Derartigen lebensbedrohlichen Situationen begegnet man am sichersten mit einer Laufleine und durch eine besonders konzentrierte Arbeit des Signalmanns. Selbstverständlich ist das Anbringen einer Laufleine auch bei dieser Abtauchmethode dann günstig, wenn mehrere Tauchgänge zum gleichen Unterwasserobjekt nötig sind.

Abtauchen, frei im Wasser

Das Abtauchen, frei im Wasser, sollte nur von Schwimmtauchern praktiziert werden. Im Allgemeinen ermöglicht es diese Methode, nach relativ kurzer Vorbereitungszeit mit der Unterwasserarbeit zu beginnen, da der Taucher mit einem Boot schnell zur Abstiegsstelle gebracht werden kann.

Weil es nahezu unmöglich ist, beim Abtauchen in Tauchtiefen über 5 m ausreichend richtungsorientiert zu handeln, müssen Taucherkompass oder Grundtaue (Ankerleine) als Orientierungsmittel vorhanden sein.

Grundsätzlich ist bei dieser Abtauchmethode nach dem Erreichen der vorgesehenen Tauchtiefe oder des Grundes eine umfassende Orientierung notwendig.

Der Aufenthalt in der Tauchtiefe (Isopressionsphase)

Der Aufenthalt in der Tauchtiefe ist die effektive Arbeitsphase eines Tauchganges unter meist gleich bleibender Druckbelastung. Er beginnt mit dem Erreichen der vorgesehenen Tauchtiefe und endet mit dem Beginn des Austauchens. Der Charakter dieser Phase des Tauchganges wird besonders von der zu lösenden Taucheraufgabe und von der Tauchtiefe bestimmt.

Da das Tauchen als eine große physische Belastung die menschliche Leistungsfähigkeit beim Arbeiten unter Wasser schneller sinken läßt als unter atmosphärischen Bedingungen und weil mit der Zunahme von Tauchtiefe und Tauchzeit das Austauchen immer zeitaufwendiger wird, gilt allgemein, daß mit größer werdender Aufenthaltszeit unter Wasser die Effektivität des Tauchganges abnimmt. Dieser Effektivität wegen und im Interesse der Erhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Taucher werden die Tauchgänge in Abhängigkeit von Tauchtiefe, Aufenthaltszeit unter Wasser und Art des genutzten Atemgases, hinsichtlich der maximal zulässigen Tauchtiefe und ihrer Dauer begrenzt.

Bei der zeitlichen Begrenzung ist nicht die für den Tauchgang erforderliche Gesamtzeit das Hauptkriterium, sondern die Grundzeit.

Die Grundzeit eines Tauchganges ist die Summe von Abtauchzeit und Aufenthaltszeit in der Tauchtiefe. Sie wird vom Verlassen der Wasseroberfläche bis zum Beginn des Austauchens gemessen.

Es wird empfohlen die tiefen- und atemgasabhängige höchstzulässige Grundzeit aller Tauchgänge eines Tages (also nicht die eines einzelnen Tauchganges) beim Tauchen mit Luft als Atemgas wie folgt zu begrenzen:

bis Meter Tauchtiefe	empfohlene Grundzeit	Tages-	maximaler Grenzwert
5	6h		6h
10	5h		6h
15	4h		5h
20	3h		4h
30	2,3h		3h
40	1,75h		2,3 h
50	0h		1,75 h
60	0h		1h

Die maximale Tagesgrundzeit ist die höchstzulässige Grundzeit aller Tauchgänge eines Tages. Zu seiner Ermittlung sind die Grundzeiten aller Tauchgänge zu addieren. Mit dem Erreichen der maximalen Tagesgrundzeit muß der Taucher sofort das Austauchen beginnen. Ein erneuter Einsatz darf erst am nächsten Tag, frühestens jedoch nach 12 Stunden Ruhe und Erholung erfolgen.

Beim Tauchen mit sauerstoffangereichertem Atemgas (NITROX) können in Abhängigkeit des Gemisches höhere Tagesgrundzeiten angesetzt werden.

Die Aufstellung der maximalen Tagesgrundzeiten enthält sowohl für Luft als auch für sauerstoffangereicherte Atemgase jeweils zwei tiefenabhängige maximale Tagesgrundzeiten, d. h. neben den Normalwerten sind noch Grenzwerte aufgeführt. Tauchgänge, deren Tagesgrundzeiten größer als die Normalwerte sind, bedürfen zusätzlicher Maßnahmen der medizinischen Sicherstellung und können dann noch durchgeführt werden, wenn ihre Grundzeiten die Grenzwerte nicht überschreiten.

Die zusätzlichen Maßnahmen der medizinischen Sicherstellung sind:

- medizinische Sicherstellung durch einen Arzt;
- ärztliche Untersuchung der Taucher einen Tag vor und einen Tag nach dem Taucheinsatz;
- zweistündige Ruhe nach dem Taucheinsatz;
- Herstellen der Bereitschaft zur Durchführung von Havarie-, Heil- und prophylaktischen Rekompansionen unter der Leitung eines Arztes.

Die Begrenzung der Tauchtiefe ist unterschiedlich für das Tauchen mit Luft und das Tauchen mit sauerstoffangereichertem Atemgas.

Taucher in Hilfeleistungsunternehmen sind nach ihrer Tauchergrundausbildung nur für Tauchgänge bis 20 m Tauchtiefe zugelassen. Taucher, die für Tauchgänge

mit größeren Tauchtiefen vorgesehen sind, müssen dafür eine zusätzliche Befähigung erwerben, welche im Taucherdienstbuch eingetragen sein muß. Für das Tauchen mit sauerstoffangereichertem Atemgas (NITROX) muß sowohl der eingesetzte Taucher, als auch dessen Signalmann ausgebildet sein.

Das Austauchen (Dekompressionsphase)

Das Austauchen ist das Aufsteigen aus der Arbeitstiefe und wird mit dem Auftauchen an der Wasseroberfläche abgeschlossen. Hinsichtlich der Druckverhältnisse ist für diese Phase des Tauchganges die Abnahme des auf den Taucher wirkenden hydrostatischen Drucks charakteristisch.

Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten und damit auch in den Geweben des menschlichen Organismus entsprechend dem Henryschen Gesetz bestimmt das Austauchen. Nicht das bloße Aufsteigen zur Wasseroberfläche, sondern die damit verbundene Dekompression ist für diese Phase des Tauchganges wesentlich.

Durch die Wirkung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten und durch die Berücksichtigung ihrer jeweiligen Einwirkungsdauer geschieht das Austauchen nach verschiedenen Austauschverfahren. Abhängig von der Art des genutzten Atemgases (Luft atmosphärischer Zusammensetzung oder sauerstoffangereichertes Atemgas (NITROX)), von der Tauchtiefe (bei mehreren unterschiedlichen Tauchtiefen wird von der größten Tiefe ausgegangen) und von der Grundzeit, muß das Austauchen nach verschiedenen Austauschverfahren erfolgen. Die Austauschverfahren regelt der Anhang 1 der GUV-R 2101.

Austauchen aus geringer Tiefe

Die Tabelle 1 im Anhang der GUV-R 2101 beinhaltet die Aufenthaltszeiten bei geringen Tauchtiefen. So ist bis zu einer Tiefe von 7,5 m ein unbegrenzter Aufenthalt im Rahmen der Tagesgrundzeit möglich. Selbst bis 9 m ist dies mit einer Einschränkung von einer Stunde bei Wiederholungstauchgängen innerhalb von 4 Stunden möglich. Grundsätzlich sind bei Tauchtiefen von weniger als 10 m, unter Einhaltung der vorgeschriebenen Aufstiegs geschwindigkeit von 10 m/min, Tauchgänge ohne Haltezeiten möglich.

Maximale Aufenthaltszeit (min) unter Wasser bei Tauchtiefen bis 10,5 m (Tabelle 1, Anhang 1, GUV-R 2101) Tauchtiefe (m) Oberflächenintervall (h)

	12 m	6 m	4 m
7,5 h	360	360	360
9,0 h	360	330	300

10,5 h

270

250

240

Austauchen aus Tiefen über 10 m ohne Haltezeiten (Nullzeittauchgänge)

Bei Tauchgängen mit Luft als Atemgas in Tauchtiefen größer als 10,5 m ist die Dauer des Unterwasseraufenthalts - die Grundzeit - für die Festlegung des Austauschverfahrens von ausschlaggebender Bedeutung. Der Umstand, daß die Sättigung des Organismus mit Inertgas in Abhängigkeit von der Zeit erfolgt und dabei mit abnehmendem Druckgefälle immer langwieriger wird, ermöglicht die Anwendung eines Austauschverfahrens ohne Dekompressionspausen auch aus Tauchtiefen, die größer als 10,5 m sind. Wesentlich ist dabei, daß das Tauchen beendet wird, ehe der Organismus mehr Stickstoff aufgenommen hat, als bei stufenloser Druckentlastung kompensiert werden kann. Da das gegebene Druckgefälle zwischen dem inerten Gas und dem menschlichen Körper den Grad der Gassättigung beeinflußt, nehmen die verfügbaren Grundzeiten mit wachsender Tauchtiefe ab.

Die Anwendung dieses Austauschverfahrens ist entsprechend der Bestimmungen der GUV-R 2101 aus Tauchtiefen von 10 m bis 30 m zulässig. Die Begrenzung der Tauchtiefe geschah dabei im Interesse der Sicherheit der Taucher in Hilfeleistungsunternehmen, denn nach der allgemein gültigen Dekompressionstabelle der UVV „Taucherarbeiten“ (BGV C 23) ist das Austauchen ohne Dekompressionspause aus Tauchtiefen bis 50 m möglich.

Das Nullzeittauchen ist das Austauchen ohne Dekompressionspausen aus 10 m bis 30 m Tauchtiefe nach begrenzter Tauchzeit beim Einhalten der maximalen Aufstiegsgeschwindigkeit von 10 m/min.

Bei Tauchgängen mit Luft als Atemgas kann es folgendermaßen angewendet werden:

- von 10 m...12 m nach einer Grundzeit von max. 165 min
- von 12 m...15 m nach einer Grundzeit von max. 80 min
- von 15 m...18 m nach einer Grundzeit von max. 50 min
- von 18 m...21 m nach einer Grundzeit von max. 35 min
- von 21 m...24 m nach einer Grundzeit von max. 25 min
- von 24 m...27 m nach einer Grundzeit von max. 20 min
- von 27 m...30 m nach einer Grundzeit von max. 15 min

Austauchen aus Tiefen über 10 m mit Haltezeiten (Dekompressionstauchgänge)

Liegen beim Tauchen mit Luft als Atemgas in Tauchtiefen größer als 10 m die Grundzeiten so hoch, daß die dabei vom Taucher aufgenommene Stickstoffmenge bei plötzlicher Druckentlastung zu gesundheitlichen Schäden führen würde, so ist der Tauchgang grundsätzlich mit Dekompressionspausen abzuschließen. Mit diesem Austauschverfahren wird das Partialdruckgefälle des Stickstoffs innerhalb des Organismus in jeder Phase der Dekompression in erträglichen Grenzen gehalten. Es gelingt dadurch, Gesundheitsschäden infolge zu schnellen Freisetzens physikalisch gelöster Gase zu vermeiden.

Beim Austauschverfahren mit Haltezeiten wird der Taucher etappenweise aus dem Überdruckmilieu in atmosphärische Druckverhältnisse übergeführt. Jeder Drucksenkung folgt eine Dekompressionspause, in der sich das Druckgefälle des inerten Gases in einem bestimmten Maße ausgleichen kann. Die Dekompressionsstufen und die Länge der Dekompressionspausen sind abhängig von der jeweiligen Tauchtiefe und der Grundzeit des Tauchganges. Sie müssen einer Dekompressionstabelle (GUV-R 2101, Anhang 1, Tabelle 2) entnommen werden.

Das Austauschverfahren mit Haltezeiten ist das Austauchen mit stufenweiser Dekompression bei Tauchgängen mit Luft als Atemgas aus Tauchtiefen größer als 10 m und Grundzeiten, die eine Druckentlastung ohne Dekompressionspausen nicht mehr zulassen. Es wird immer nach einer Dekompressionstabelle durchgeführt.

Im Tauchdienst der Hilfeleistungsorganisationen gibt es:

- die Luftdekompression mit Luft als Atemgas.

Nach der UVV „Taucharbeiten“ (BVG C23) wird diese ergänzt durch:

- die Sauerstoffdekompression, die durch die Atmung von Sauerstoff in kürzerer Zeit abgeschlossen werden kann als die Luftdekompression;
- die kombinierte Wasser-Druckkammer-Dekompression zur Verkürzung des Unterwasseraufenthalts der Taucher.

Alle Austauschverfahren müssen nach Höhenlage (atmosphärischer Druck) und, bei Wiederholungstauchgängen, nach der Vorsättigung der Gewebe mit Stickstoff korrigiert werden (GUV-R 2101, Anhang 1, Tabellen 3 und 4).

6.2 Führung eines Tauchganges

Ein Teil der Führungstätigkeit während eines Taucheinsatzes ist die Führung der Tauchgänge.

6.2.1 Die Führungstätigkeit während des Tauchganges

Der entscheidendste Abschnitt des Taucheinsatzes, der eigentliche Tauchgang, ist auch vom Standpunkt der Führungstätigkeit aus der wichtigste. Gleichzeitig aber ist er führungsmäßig der am schwersten zu realisierende Abschnitt bei der Erfüllung der Taucheraufgabe. Die Ursachen dafür sind insbesondere in der Tatsache zu suchen, daß der Leiter des Taucheinsatzes bei der gewöhnlich notwendigen Führung von Land oder einem Taucherfahrzeug aus die Situation unter Wasser nur schwer einzuschätzen vermag, während die Taucher seiner Sicht entzogen sind. Darüber hinaus ist die Verständigungsmöglichkeit der Taucher untereinander und mit dem Leiter des Taucheinsatzes meist schlecht. Ist eine Verbindung zwischen dem Leiter des Taucheinsatzes und den Tauchern vorhanden, so wird sie im Allgemeinen durch einen Signalwechsel über Dritte ermöglicht, selten besteht wegen fehlender technischer Voraussetzungen eine Sprechverbindung. Ein Informationsaustausch ist also in den meisten Fällen erschwert. Es kommt hinzu, daß Meldungen über das gesundheitliche Befinden und über die Schädigungen der Taucher infolge Havarie oder Unfall ebenfalls nicht immer sofort zum Leiter des Taucheinsatzes gegeben werden können und deshalb zusätzliche Probleme bei der Gewährleistung der größtmöglichen Sicherheit der Taucher aufwerfen.

Die Führung von Tauchern unter Wasser bzw. die Führungstätigkeit während der Tauchgänge setzt ein sehr großes Verantwortungsbewußtsein und einen hohen Ausbildungsstand des Leiters des Taucheinsatzes und der anderen an einem Taucheinsatz beteiligten Angehörigen des Tauchdienstes voraus.

Zur Führungstätigkeit während der Tauchgänge gehört nicht nur die Führung der Taucher, sondern auch die Führung aller sicherstellenden Kräfte, die sich an Land bzw. an Bord befinden (also außerhalb des Wassers).

Die Führung der sicherstellenden Kräfte besteht im wesentlichen in der Durchsetzung aller Aufgaben und in der Kontrolle, wie diese Aufgaben gelöst werden, die sich aus den Pflichten der zugeordneten Funktionen der Angehörigen des Tauchdienstes und aus den bei der Einweisung erteilten Anweisungen ergeben. Eine besondere Aufmerksamkeit ist hinsichtlich der Führung der sicherstellenden Kräfte darauf zu verwenden, daß im Zuge eventuell notwendig werdender Entschlußpräzisierungen auch die Angehörigen dieses Personalbestandes die konkretisierten

Aufgaben rechtzeitig erhalten. Diesbezügliche Fehler, die bei komplizierten Situationen durch eine nahezu ausschließliche Konzentration auf die Führung der Taucher unterlaufen, können zu schwerwiegenden Folgen führen.

Die Führung der Taucher unter Wasser erfordert die Hauptaufmerksamkeit eines Leiters des Taucheinsatzes. Sie hat

- von Land bzw.
- von Bord eines Taucherfahrzeuges aus oder
- während eines Tauchganges des Taucheinsatzleiters selbst von der jeweiligen Position aus zu erfolgen.

Am günstigsten - und deshalb stets angestrebt - ist die direkte Führung der Taucher durch den Verantwortlichen des Einsatzes. Sie läßt sich aber in den meisten Fällen nicht verwirklichen und muß dann als eine Führung über Signalleute, Führungstaucher oder Tauchtruppführer erfolgen. Diese Personen sind durch die Zuordnung einer entsprechenden Taucheinsatzfunktion vor Beginn des jeweiligen Tauchganges festgelegt und durch die Aufgabenstellung während der Einweisung zu dieser Tätigkeit verpflichtet worden.

Die Führungstätigkeit eines Leiters des Taucheinsatzes hat sich also während der Tauchgänge auf die Taucher und alle sicherstellenden Kräfte zu erstrecken. Die Führung der Taucher muß dabei entweder direkt oder über die mit der Zuordnung der Taucheinsatzfunktionen dazu beauftragten Personen erfolgen.

6.2.2 Mittel und Methoden zur Führung der Taucher

Um der Forderung nach ununterbrochener, straffer und wendiger Führung nachzukommen, bedarf es immer einer sorgfältigen Planung und Organisation der Verbindungen zu den Tauchern. Abhängig von der Art der Aufgabe, vom erforderlichen oder möglichen Grad der Sicherung der Taucher und von den gegebenen materiellen Möglichkeiten, kann die Führung der Taucher durch den Leiter des Taucheinsatzes wie folgt verwirklicht werden:

- Führung über Unterwasser-Sprechgeräte;
- Führung über Signal- und Verbindungsleinen;
- Führung mit Handzeichensignalen.

Führung über Unterwasser-Sprechgeräte

Unterwasser-Sprechgeräte ermöglichen einen umfassenden Informationsaustausch zwischen Taucheinsatzleiter und Taucher und bei entsprechender Schaltung auch zwischen den einzelnen Tauchern. Die Verbindungen können als Netz mit einer Hauptsprechstelle beim Leiter des Taucheinsatzes und Nebensprechstellen bei den Tauchern organisiert werden. Die Hauptsprechstelle wird von einem Signalmann besetzt oder durch den Leiter des Taucheinsatzes selbst bedient. Die Anwendung von Unterwasser-Sprechgeräten setzt die Möglichkeit für die Taucher voraus, unter Wasser in einer Atmosphäre sprechen und damit die Sprache artikulieren zu können. Während die Helmtaucherausrüstung diesem Erfordernis in jedem Falle nachkommt, ist für Schwimmtaucher die Nutzung von Vollmasken notwendig.

Unterwasser-Sprechgeräte gibt es als drahtgebundene Geräte mit Telefonkabeln als Übertragungskanal und in drahtloser Ausführung, bei der als übertragendes Medium das Wasser ausgenutzt wird.

Die drahtgebundenen Tauchertelefone eignen sich vor allem beim Tauchen mit Helmtauchgeräten. Telefonleinen sind Signalleinen, in die Telefonkabel zugentlastet eingeflochten sind. Im Gegensatz zu Signalleinen brauchen Telefonleinen nicht schwimmfähig zu sein. Über die drahtgebundene Kommunikation lassen sich auch Videoaufnahmen an die Wasseroberfläche senden.

Die existierenden Modifikationen drahtgebundener Unterwassertelefone für Schwimmtaucher haben alle den Mangel, daß sie den bestimmenden Vorzug des Schwimmtauchens, die Autonomie, die relative Unabhängigkeit der Taucher vom Land bzw. von der Wasseroberfläche, zunichte machen. Dieser Umstand führte letztlich zur Entwicklung drahtloser Unterwasser-Sprechgeräte. Der heutige Stand der Technik ermöglicht es, solche Geräte klein und von geringer Masse zu fertigen. Die Verständigung ist bei diesen im Ultraschallfrequenzbereich arbeitenden Führungsmitteln in stehenden Gewässern gut. Weniger zufriedenstellend arbeiten diese Geräte beim Einsatz in strömendem Wasser mit Verschmutzungen, wie sie in Flüssen anzutreffen sind.

Führung über Signal- und Verbindungsleinen

Werden die Taucher über Signal- und Verbindungsleinen geführt, so ist das die am meisten stabile Verbindung, die gleichzeitig auch die größte Sicherheit für die Taucher bietet.

Der Informationsweg ist bei Einzelabstiegen der vom Signalmann über eine Signalleine zum Taucher und umgekehrt. Bei Trupp- und Gruppenabstiegen läuft die Signalgebung vom Signalmann über die Signalleine zum Führungstaucher und von diesem über Verbindungsleinen zu den Tauchern bzw. in umgekehrter Richtung. Da sich bei der Verwendung von Signal- und Verbindungsleinen nur eine begrenzte Anzahl von Zeichen übermitteln lassen, ist die Kommunikation sehr eingeschränkt.

Im Tauchdienst gelten folgende Leinenzugzeichen (GUV-R 2101, Anhang 5):

	Zeichen vom Taucher gegeben	Zeichen vom Signalmann gegeben
X	Notsignal Ich bin in Not!	Notsignal Sofort austauchen!
XX		Nach links!
XXX		Nach rechts!
XXXX	Ich tauche aus!	Austauchen!
XXXXX	Alles in Ordnung!	Alles in Ordnung?

Werden für die Lösung einer Taucheraufgabe außer den Sicherheits- und Richtungssignalen weitere Zeichen benötigt, so müssen diese als Arbeitssignale zusätzlich vereinbart werden.

Der Signalmann hat über die Signalleine ständig Führung zwischen Führungstaucher bzw. Taucher zu halten. Die Signalleine darf dabei nie über scharfe Kanten gezogen werden. Sie muß immer die kürzeste Strecke zwischen Signalmann und Taucher durchlaufen, darf aber den Taucher bei seiner Tätigkeit nicht behindern.

Jedes Signal ist durch ein Ankündigungszeichen („Anrütteln“) anzukündigen. Die Signalübermittlung darf erst erfolgen, wenn der Empfänger seine Bereitschaft zur Entgegennahme des Signals durch Quittieren („Zurückrütteln“) der Signalankündigung angezeigt hat. Ein Signal gilt erst dann als richtig übermittelt, wenn es durch eine richtige und vollständige Wiederholung der Gegenstelle quittiert wurde.

Führung mit Handzeichensignalen

Zwischen mehreren Tauchern können, bei ausreichend guten Sichtverhältnissen neben der Kommunikation über Leinensignale, auch Handzeichen als Verständigungsmittel genutzt werden.

Wie bei den Leinensignalen, so ist auch bei den Handzeichen der Umfang der austauschbaren Informationen recht eingeschränkt. Die Bedeutung der Zeichen muß

vor dem Tauchgang verabredet werden. Zur Gewährleistung eines ausreichenden Informationsaustausches und zur Sicherheit muß jeder Taucher, unabhängig von den zusätzlichen Vereinbarungen, ein Mindestanzahl von Handzeichen (Pflichtzeichen) beherrschen.

Auch beim Informationsaustausch mittels Handzeichen darf der Übermittelnde ein Signal erst dann als vom Empfänger richtig verstanden betrachten, wenn es richtig wiederholt wurde.

6.3 Tauchen mit Schwimmtauchausrüstung (Drucklufttauchgerät)

6.3.1 Einsatzmöglichkeiten für Schwimmtaucher

Das Tauchen mit unabhängigen Druckluft-Schwimmtauchgeräten bei Tauchtiefen bis zu 30 Metern hat besonders im Tauchdienst zur Erfüllung von Such- und Bergungsaufgaben unter Wasser an Bedeutung gewonnen. Hauptkennzeichen des Schwimmtauchers ist die Mitführung des gesamten Atemgasvorrats in seinem Drucklufttauchgerät und seine hohe Beweglichkeit. Der freischwimmende mit Schwimmtauchausrüstung versehene Taucher ist weitgehend in der Lage, alle Aufgaben für Taucher in Hilfeleistungsunternehmen zu erfüllen.

Vorteile des Schwimmtauchers gegenüber dem Helmtaucher

Hohe Beweglichkeit Schwimmtaucher können von der Wasseroberfläche völlig unabhängig eingesetzt werden, besitzen dadurch eine hohe Beweglichkeit und erhalten einen weiten Aktionsradius, um Such- und Bergungsaufgaben unter Wasser und im Uferbereich zu erfüllen.

Geringer Personalbedarf und Materialaufwand Der Einsatz von Schwimmtauchern ist ohne größeren Personalbedarf und Materialaufwand möglich.

Schnelle Einsatzbereitschaft Durch geringes Gewicht der vollständigen Schwimmtauchausrüstung, fehlendes Bedienungspersonal, Beweglichkeit auch an Land, schnelles Anlegen der Ausrüstung und die autonome Luftversorgung ist der Schwimmtaucher im hohen Grade schnell einsatzbereit. Die genannten Vorteile ermöglichen dem Schwimmtaucher, im völlig autonomen und mobilen Einsatz.

Nachteile des Schwimmtauchers

Begrenzte Tauchzeit Drucklufttauchgeräte werden mit Atemgas gefüllt, dadurch sind Schwimmtaucher von der von ihnen unmittelbar mitgeführten Atemluftmenge abhängig. Der Inhalt der Druckluftflaschen ist begrenzt und somit auch die Tauchzeit. Der Einsatz von transportablen Atemluftverdichtern ist bei längeren Einsätzen nötig.

Erhöhte Unfallgefahr Beim Tauchen mit der Schwimmtauchausrüstung ergibt sich durch den autonomen Einsatz eine erhöhte Unfallgefahr. Schwimmtaucher können in Havariesituationen und bei Gefahren schwerer erreichbar sein.

Aufgaben der Schwimmtaucher

- Erkundung von Gewässern und Wasserbauten.
- Sicherstellung von Arbeiten anderer Einheiten am Wasser.
- Deichsicherung mittels Folien. Nach dem Aufbringen von Folien auf durchweichte Deiche werden diese von Schwimmtauchern mittels Sandsäcken gesichert. Im weiteren Verlauf der Deichsicherung besteht die Aufgabe des Schwimmtauchers darin die Folienabdeckung zu kontrollieren.
- Such- und Bergungsaufgaben.
- Beseitigen von Hindernissen in Gewässern. Nachdem Hindernisse im Gewässer entdeckt worden sind, besteht die Aufgabe des Schwimmtauchers darin, Hindernisse zu kennzeichnen, Hindernisse kleinerer Art zu räumen und größerer Art zur Räumung vorzubereiten (Anschlagen) oder diese zu sprengen.
- Bergen. Nach dem Suchen wird vom Schwimmtaucher die Lage des zu bergenden Gegenstandes angezeigt und die Bergung vorbereitet.

6.3.2 Tauchzeitberechnung für Schwimmtaucher

Der Luftverbrauch der Taucher ist unterschiedlich. Dennoch lassen sich Richtwerte festlegen, die für die Berechnung eines notwendigen Luftvorrats für einen Tauchgang bzw. einer maximal möglichen Tauchzeit als Grundlage dienen. So gelten für den durchschnittlichen Luftverbrauch eines Tauchers folgende Richtwerte:

- 10 l/min als Luftverbrauch bei leichten Arbeiten ohne große Ortsveränderung des Tauchers;
- 20 l/min als Luftverbrauch bei leichten Sucharbeiten ohne Strömung;
- 30 l/min als Luftverbrauch bei mittelschwerer Arbeit - das trifft zu für das Tauchen ohne große körperliche Anstrengung;
- 50 l/min als Luftverbrauch bei schwerer Arbeit - zutreffend bei zusätzlich großer physischer Belastung während des Tauchganges.

Außerdem sind erfahrene Taucher in der Lage, unter Berücksichtigung aller zutreffenden Faktoren, andere (persönliche) Werte für den durchschnittlichen Luftverbrauch zu verwenden und damit recht genaue Tauchzeiten zu ermitteln.

Die maximale Tauchzeit ist das Verhältnis des mitgeführten Luftvorrats zum tiefenabhängigen Luftverbrauch des Tauchers.

$$Tauchzeit = \frac{Luftvorrat}{Luftverbrauch}$$

Der Luftvorrat ist dabei das Produkt aus

- der Anzahl der Druckflaschen,
- dem Volumen eines Druckbehälters und
- dem Fülldruck (Gesetz von Boyle-Mariotte),

vermindert um die zurückgehaltene Reserve (50 bar multipliziert mit dem Flaschenvolumen).

$$Luftvorrat = n \cdot V_{DTG} \cdot (p_{füll} - p_{res})$$

Der Luftverbrauch wird durch die Multiplikation des in der Tauchtiefe herrschenden Drucks mit dem durchschnittlichen Luftverbrauch (Atemminutenvolumen) des Tauchers ermittelt.

$$Luftverbrauch = AMV \cdot p_{abs}$$

Daraus ergibt sich folgende Gleichung:

$$t_T = \frac{n \cdot V_{\text{DTG}} \cdot (p_{\text{füll}} - p_{\text{res}})}{AMV \cdot p_{\text{abs}}}$$

Die Dimensionsgleichung ergibt die Tauchzeit in Minuten:

$$t_T = \frac{1 \cdot [l] \cdot ([bar] - [bar])}{[\frac{l}{min}] \cdot [bar]}$$

- t_T - Tauchzeit in *min*;
- n - Anzahl der Druckflaschen (dimensionslos);
- V_{DTG} - Volumen einer der Druckflaschen in *l*;
- $p_{\text{füll}}$ - Fülldruck in *bar*;
- p_{res} - Luftreserve in *bar* (50 bar nach EN 250);
- p_{abs} - absoluter Druck in der Tauchtiefe in *bar*;
- AMV - Atemminutenvolumen (Luftverbrauch pro Minute) in $\frac{l}{min}$.

Die ermittelte maximale Tauchzeit ist für die Tauchpraxis hinreichend genau, da allein schon physiologisch bedingte Abweichungen beim durchschnittlichen Luftverbrauch keine absolute Genauigkeit erwarten lassen.

Beispiel : Gesucht wird die Tauchzeit für schwere Arbeit in 18 m Tauchtiefe mit einem 10-Liter-Doppelgerät, welches mit 180 bar gefüllt ist.

Gegeben:

$$n = 2;$$

$$V_{\text{DTG}} = 10 \text{ l};$$

$$p_{\text{füll}}$$

= 180 bar;

Tauchtiefe = 18 m;

AMV = 50 l/min (schwere Arbeit)

Gesucht:

t_T

in Minuten

Ausgehend von der Formel

$$t_T = \frac{n \cdot V_{DTG} \cdot (p_{\text{füll}} - p_{\text{pres}})}{AMV \cdot p_{\text{abs}}}$$

ist es vor dem Einsetzen der Zahlenwerte notwendig die Tauchtiefe in den absoluten Druck umzurechnen:

18 m Tauchtiefe entsprechen 2,8 bar.

Somit ergibt sich: $t_T = \frac{2 \cdot 10l \cdot (180bar - 50bar)}{50l/min \cdot 2,8bar}$

$$t_T = \frac{2600bar \cdot min}{140bar}$$

$t_T = 18,57min$ Das Ergebnis wird in der Regel auf volle Minuten abgerundet, so daß die maximale Tauchzeit 18 min beträgt.

6.3.3 Durchsicht und Funktionskontrolle der Taucherausrüstung

Die Sicherheit der Taucher und die ordnungsgemäße Erfüllung der Aufgabe unter Wasser hängen weitgehend von der richtigen Funktion des Tauchergerätes ab; deshalb sind Überprüfung, Durchsicht und Funktionskontrolle des Tauchergerätes und der gesamten Taucherausrüstung vor dem Einsatz von besonderer Bedeutung.

Durchsicht und Funktionskontrolle des Drucklufttauchgeräts vor dem Tauchereinsatz

Vor dem Einsatz sind zu überprüfen:

- Optische Unversehrtheit (z.B. Anstrich und Korrosionsschutz (außen), Ventil),
- Lungenautomat. Der Lungenautomat wird an das Tauchergerät angeschraubt, danach sind
 1. die Druckluftventile zu öffnen,
 2. die Reservewarneinrichtung zu öffnen (ziehen),
 3. der Fülldruck des gesamten Tauchergeräts zu überprüfen,
 4. die Funktion des Lungenautomaten zu überprüfen, (4 bis 5 kräftige Atemzüge, Ein- und Ausatmen). Wichtig: Bei Minusgraden ist Funktionsprüfung des Lungenautomaten unmittelbar beim Tauchgang unter Wasser vorzunehmen, da es sonst zum Einfrieren des Lungenautomaten kommen kann.
 5. Reservewarneinrichtung zu schließen,
 6. Gurtzeug zu ordnen,
 7. Druckluftventile zu schließen,
- Vollständigkeit, Befestigung und Dichtheit der Teile des Drucklufttauchgeräts, dabei handelt es sich um
 - Regler (Lungenautomat),
 - Zwischenstücke,
 - Schellen,
 - Gurtzeug mit Schnellverschlüssen,
 - Reservewarneinrichtung,
 - Unterwassermanometer,
 - Rettungs- und Tariermittel.

Überprüfung der übrigen Taucherausrüstung vor dem Tauchereinsatz

ABC-Geräte

- Flossen auf Risse prüfen (besondere Beachtung sollten hier die Fersenbänder haben);
- Schnorchel prüfen auf richtige Befestigung des Mundstücks am Schnorchelrohr, abnorme Länge, Unversehrtheit des Mundstücks und Verschmutzung des Innenraums;
- Tauchermaske auf Sitz der Maske (Dichtheit durch Ansaugen ans Gesicht), Anschluß und Sitz des Maskenglases und Befestigung des Maskenbandes prüfen.

Taucheranzüge

- Beschädigungen, Gängigkeit der Reißverschlüsse,
- Prüfen auf Dichtheit und Funktion der Ventile (Trockenanzüge).

Rettungs- und Tariermittel

- Funktion der Ventile und Dichtheit prüfen;
- Bebänderung und Schnallen prüfen;
- Unversehrtheit prüfen (auch Rettungsgeschirr und Karabiner bei dessen Verwendung).

Tauchermesser

- Befestigung des Tauchermessers (Schnallen) prüfen;
- Schärfe und Zustand des Tauchermessers prüfen.

Gewichtsgürtel

- Befestigung/Funktion des Verschlusses prüfen;
- Vollzähligkeit Verteilung und Befestigung der Gewichte prüfen;
- auf Unversehrtheit prüfen.

Signalleinen und Arbeitsgerät, Hilfsgeräte und Uhren, Kompass und Tiefenmesser

- Zubehör (Leinen, Arbeitsgerät etc.) auf Unversehrtheit und Funktion prüfen;

- Arbeitgeräte und Werkzeuge müssen den entsprechenden Vorschriften entsprechen.

Nach dem Anlegen der gesamten Taucherausrüstung und des Drucklufttauchgeräts werden der ordnungsgemäße Sitz, die Funktion und die Vollzähligkeit vom Taucher selbst und von seinem Signalmann überprüft.

Überprüfung des Drucklufttauchergeräts und der übrigen Taucherausrüstung nach dem Tauchereinsatz

- DTG auf Geräteablage ablegen oder stellen (ohne entsprechende Befestigung werden Geräte immer hingelegt);
- Gerät auf Beschädigungen überprüfen;
- Ventile schließen;
- Lungenautomat druckentlasten;
- Lungenautomat vom Tauchgerät trennen;
- ggf. Jacket vom Gerät trennen und entwässern;
- alle Teile mit klarem Wasser abspülen (Achtung: nicht die Luftdusche am Lungenautomat drücken!)
- übrige Ausrüstung auf Beschädigungen prüfen und mit klarem Wasser abspülen;
- Taucheranzüge und Unterziehbekleidung zum Trocknen aufhängen;
- Flaschen füllen.

6.3.4 Anlegen der Schwimmtaucherausrüstung

Die richtig angelegte Ausrüstung trägt zur Sicherheit des Tauchers bei, engt ihn nicht in seiner Bewegung ein und verhindert das unvorhergesehene Auftauchen, ohne die Aufgabe erfüllt zu haben.

Reihenfolge des Anlegens der Schwimmtaucherausrüstung

Die gesamte Ausrüstung des Schwimmtauchers liegt in geordneter Reihenfolge nach der Überprüfung bereit.

Anlegen des Taucheranzuges

Um eine Beschädigung des Taucheranzuges zu vermeiden, ist beim Anlegen auf möglichst kurze Fingernägel achten. Nur mit mehreren Fingern oder der gesamten Hand ins Anzugmaterial fassen.

- Tauchernaßanzug

Da es verschiedene Typen von Tauchernaßanzügen (Halbtrockenanzüge) gibt, wird hier als Beispiel das Anlegen eines mehrteiligen Tauchernaßanzuges beschrieben.

1. Anziehen der Hose (Long-John) und schließen der Reißverschlüsse (außer Beine). Bei engen Anzügen erleichtert das Verwenden von Strumpfhosen oder Plastiktüten das Anziehen. Den Anzug immer nur stückweise nach oben ziehen und keine Wülste bilden.
 2. Anziehen der Taucherstiefel (Füßlinge). Die Taucherstiefel werden danach unter die Beinenden der Hose gesteckt und deren Reißverschlüsse geschlossen. Ggf. können unter die Taucherstiefel noch extra Tauchersocken (sog. Hotsocks) gezogen werden, wodurch der Kälteschutz der Füße wesentlich verbessert wird.
 3. Anziehen der Jacke (bzw. Weste bei Overalls) und Schließen der Reißverschlüsse.
 4. Aufziehen der Kopfhaube. Hierbei ist darauf zu achten, daß alle Haare unter der Haube liegen.
- Tauchertrockenanzug
 1. Anlegen der Unterziehbekleidung.
 2. Einsteigen in den Anzug.
 3. Einführen der Arme. Das Durchschlüpfen der Manschetten wird durch die Verwendung von Talkumpuder erleichtert. Sauberes anlegen der Armmanschetten.
 4. Kopf durch die Halsmanschette ziehen und diese sauber am Hals anlegen. Gummimanschetten glatt am Hals anlegen. Bei Neoprenmanschetten wird meist erst durch deren Einschlagen die Dichtheit erreicht. Halsmanschetten dürfen nicht zu eng sein und müssen möglichst so am Hals angelegt werden, daß sie nicht

auf die Carotis (Halsschlagader) drücken, um eine Vagusreizung und damit ein Angst- und Panikgefühl zu vermeiden.

5. Schließen des Anzuges. Beim Schließen des Anzuges muß unbedingt darauf geachtet werden, daß die Unterziehbekleidung nicht eingeklemmt wird, wodurch die Dichtheit nicht gegeben wäre.
6. Aufziehen der Kopfhaube. Hierbei ist darauf zu achten, daß alle Haare unter der Haube liegen.

Anlegen des Tauchermessers

Das Tauchermesser wird, sofern keine Befestigung an Ausrüstungsteilen erfolgt, i.d.R. am Unterschenkel befestigt. Hierbei ist die Befestigung auf der Innenseite des Unterschenkels sinnvoll, um die Gefahr des Hängenbleibens des Tauchers zu vermindern und zu verhindern, daß sich beim Abwurf des Gewichtsgurtes dieser im Messer verfängt.

Anlegen des Schnorchels

Um eine schnelle Verfügbarkeit des Schnorchels zu gewährleisten, sollte dieser ständig an der Maske getragen werden. Vorzugsweise an der linken Seite, da von rechts der Lungenautomat kommt und so eine Behinderung vermieden wird.

Der Schnorchel kann aber auch am Unterschenkel getragen und in die Befestigung des Tauchermessers eingesteckt werden. Die Krümmung zeigt hierbei nach oben. Bei der Benutzung des Schnorchels muß dann allerdings damit gerechnet werden, daß das Messer nicht mehr fest sitzt, was zu einer Behinderung beim Schwimmen führen kann.

Anlegen des Drucklufttauchgeräts

Wird eine Rettungs- und Tarierweste und/oder ein Haltegurtsystem verwendet, muß diese(s) vor dem Aufnehmen des Gerätes angelegt werden.

- Anlegen ohne Hilfe

Beim Anlegen ohne Hilfe werden 2 Methoden unterschieden:

1. Methode: Das Tauchergerät steht erhöht, das Gurtzeug wird geordnet, und das Gerät wird ohne jegliche Hilfe sitzend, hockend oder stehend von hinten angelegt.

2. Methode Das Tauchergerät liegt mit geordnetem Gurtzeug auf der Geräteablage am Boden. Der Taucher steht frontal davor, legt die Tragegurte über die Oberar-

me, erfaßt das Gerät an der (den) Flasche(n) und hebt es über den Kopf auf den Rücken.

Diese Methode darf auf gar keinen Fall angewendet werden, wenn sich der Taucher auf einem Wasserfahrzeug befindet. Durch eine Schlingerbewegung des Bootes kann der Taucher, wenn er das Gerät über dem Kopf hält, das Gleichgewicht verlieren und sich oder andere schwer verletzen.

- Anlegen mit Hilfe

Beim Anlegen des Gerätes mit Hilfe steht ein Helfer hinter dem Taucher, hebt das Gerät hoch und hilft dem Taucher in die Schultergurte. Hat der Taucher das Gerät sicher auf dem Rücken, wird der Bauchgurt geschlossen und die Schläuche geordnet.

Falls notwendig werden Inflatorschläuche angeschlossen und ein Funktionstest des entsprechenden Ventils durchgeführt.

Anlegen des Gewichtsgürtels

Der Gewichtsgürtel wird unterhalb der Flaschenboden des Geräts, im Schwerpunkt des Tauchers über das gesamte Gurtzeug angelegt. Ist das freie Ende des Gurtes länger als 30 cm, darf es nicht verknotet, sondern sollte eingekürzt werden.

Der Gewichtsgürtel muß über dem Gurtzeug angelegt sein und sich bei Gefahr sofort lösen und abwerfen lassen. Der Schnellverschluß muß sich ohne Schwierigkeiten mit einer Hand lösen lassen.

Bei der Verwendung eines Jackets als Trierhilfe kann der Gewichtsgürtel auch vor dem Aufnehmen des Gerätes angelegt werden.

Anlegen der Signalleine

Die Signalleine muß so angelegt werden, daß eine zur Rettung ausreichende Zugkraft sicher übertragen werden kann und die Leine sich nicht zuzieht. Dies wird durch einen Palstek erreicht oder durch Haltegurtsysteme (Rettungsgeschirre), die direkt über dem Tauchanzug getragen werden und bei denen ein Schraubkarabiner als Verbindung Gurt/Leine dient. Die Signalleine mit dem Palstek ist um den Körper des Tauchers zu legen. Es ist nicht statthaft diese am Oberarm, am Gurtzeug des Gerätes oder an sonstig Teilen der Taucherausrüstung zu befestigen.

Anlegen der Flossen

1. Flossen werden vor dem Anlegen mit Wasser gefüllt. Danach werden sie ruckartig angelegt.
2. Das Flossenblatt vor dem Wegrutschen sichern, durch den Taucher selbst oder durch einen zweiten Mann (Fuß auf Flossenblatt setzen).
3. Fersenband so festmachen, daß die Flossen eng anliegen, damit sie bei Schwimmbewegungen die Kraft sicher übertragen und nicht verloren gehen.

Anlegen der Tauchermaske

1. Maskenband an den Hinterkopf anlegen und festgehalten.
2. Den Maskenkörper nach vorn vor das Gesicht ziehen und anlegen. Dichtlippen der Maske dürfen nicht umgeknickt sein.
3. Haare aus der Maske streichen.
4. Maske unter die Kopfhaube an Gesicht und Stirn anlegen.

Anlegen der Handschuhe

Bei kaltem Wasser und kalter Witterung werden Handschuhe angelegt. Bei Trockenhandschuhen ist auf einen richtigen Verschuß zu achten. Im Wasser muß hier die Dichtheit geprüft werden. Handschuhe zuletzt anlegen!

Das richtige Austarieren des Schwimmtauchers

Der Auftrieb im Wasser wird als eine aufwärts wirkende Kraft verstanden (genau, siehe Abschnitt „Prinzip des Archimedes“). Die Aufhebung dieser Kraft ist die Aufgabe des Tauchers beim Austarieren. Er muß mit Hilfe der Ausrüstung, die er beim Tauchen mit sich führt, sein hydrostatisches Gleichgewicht herstellen. Dies geschieht unter Berücksichtigung der Art des Taucheranzugs, der Art des Tauchergeräts und der anatomischen Beschaffenheit des Tauchers.

In der Regel ist der Mensch in der Lage die Zustände Schwimmen, hydrostatisches Gleichgewicht und Sinken allein durch den Füllungsgrad seiner Lunge zu erreichen. Da es aber nicht möglich ist die Lunge soweit zu entleeren, daß der Auftrieb des Taucheranzuges überwunden wird, benötigt der Taucher zusätzliches Gewicht, um die Wasseroberfläche verlassen zu können.

Mit zunehmendem Umgebungsdruck wird das Volumen des Taucheranzuges vermindert (siehe Gesetz von Boyle-Mariotte und Ausrüstung), wodurch der Auftrieb des Tauchers abnimmt bis er beginnt durch sein Gewicht zu sinken. Diesen negativen Auftrieb kann der Taucher am Anfang durch tieferes Einatmen ausgleichen. Mit weiter zunehmender Tiefe ersetzt er das fehlende Volumen für den Auftrieb durch das Befüllen seiner Tarierhilfe (Trockenanzug, Weste oder Jacket).

Austarieren mit dem Tauchernaßanzug

Grundsätzlich soll der Schwimmtaucher so austariert sein, daß er sich mit leerer Tarierhilfe, vollem DTG, ohne sich des Gewichtsgürtels entledigt zu haben und ohne Schnorchel mit leichten Schwimmbewegungen an der Wasseroberfläche halten kann.

Dies erreicht der Taucher dadurch, daß er, nur mit Taucheranzug, ABC-Gerät und Gewichtsgurt ausgerüstet, sich im ausgeatmeten Zustand ohne Schwimmbewegungen unter der Wasseroberfläche halten kann, ohne dabei aufzutreiben oder abzusinken.

Bei diesem Versuch wählt der Taucher eine Bleimenge, die ca. 10 % seines Körpergewichtes entspricht und taucht auf ca. 2 - 3 Meter ab, wobei er tief ausatmet. Treibt er beim Verharren in der Tiefe auf, so muß er versuchen vermehrt auszuatmen, d.h. das Volumen seiner Lunge weiter zu verkleinern. Hilft dies nicht, so muß er die Bleimenge erhöhen. Sinkt er aber bei diesem Versuch ab, so muß er die Bleimenge reduzieren.

Austarieren mit dem Trockentauchanzug

Trockentaucher müssen vor diesem Versuch ihren Anzug mit vollkommen geöffnetem Abbläbventil entlüften. Nach dem Austarieren kann dann das Abbläbventil ca. drei Umdrehungen zu gedreht werden. Dadurch sind Anzugauftrieb, Bleimenge und Abbläbventil gut eingestellt. Eventuelle Abweichungen kann der Taucher dann schnell durch kurze Korrektur des Abbläbventils ausgleichen.

6.3.5 Grundfertigkeiten des Schwimmtauchers

Ein Schwimmtaucher kann nur dann unter Wasser seine Aufgaben erfüllen, wenn er notwendige Grundfertigkeiten beherrscht. Dazu zählen vor allem die Fortbewegung im Wasser, das Abtauchen, die richtige Nutzung der ABC-Geräte, das Herstellen des Druckausgleichs in Maske und Mittelohr, das Orientieren und Ver-

halten unter Wasser und die Beherrschung der Methoden zur Rettung von Tauchern nach Havarien sowie die Ausführung von Taucherarbeiten.

Fortbewegung im Wasser

Für die Fortbewegung unter Wasser hat sich der Schwimmstil „Kraulen“ mit Flossen bewährt. Der Kraulstil mit den Schwimfflossen garantiert eine schnelle und wendige Bewegung unter Wasser und an der Wasseroberfläche. Die Arme und Hände müssen Arbeiten verrichten, Werkzeuge und Mittel transportieren und in Gewässern mit schlechter Sicht den Gewässergrund abtasten.

Beim Trainieren des Kraulstils an der Wasseroberfläche liegt der Schwimmtaucher gestreckt im Wasser und darf in keiner Phase des Bewegungsablaufs mit den Beinen die Wasseroberfläche durchbrechen. Eine seitliche Vorwärtsbewegung ist gut möglich. Bei der Bewegung der Beine ist das Hüftgelenk der Drehpunkt. Die Beine bleiben während des gesamten Bewegungsablaufs locker gestreckt, und lediglich beim Abwärtsschlag, der den Hauptvortrieb liefert und mit großer Kraft ausgeführt wird, biegt sich das Knie leicht durch und streckt sich am Ende der Abwärtsbewegung wieder (Peitschenschlag). Die gesamte Beinarbeit besteht im wechselseitigen, gleichmäßigen Auf- und Abwärtsschlagen der Beine in einer zur Körperachse parallel verlaufenden Ebene, wobei der größte Abstand zwischen den Fußspitzen in den Senkrechten zwischen 40 cm und 60 cm beträgt. Der Körper bewegt sich in einem leichten Delphinstil, wobei die Arme in der Regel vor dem Körperliegen oder den Kraulstiel unterstützen. Der Körper des Tauchers muß eine solche Lage einnehmen, daß bei entsprechender Sicht ständig ein relativ weites Beobachtungsfeld gegeben ist.

Schwimmen mit der vollständigen Ausrüstung an der Wasseroberfläche

Zur Erfüllung von Taucheraufgaben kann es notwendig sein, daß sich der Schwimmtaucher mit vollständiger Ausrüstung an der Wasseroberfläche zu seinem Einsatzort oder nach Erfüllung seines Auftrags mit leergeatmetem Gerät zur Ausstiegsstelle zurückschwimmen muß.

Beim Schwimmen an der Wasseroberfläche entsteht durch das Herausheben des Kopfes und eines Teils des Gerätes aus dem Wasser ein Auftriebsverlust. Dadurch kann nur mit großer Anstrengung geschwommen werden. Die Trierhilfe kann hier zwar zur Hilfe genommen werden, schränkt aber, gerade bei der Verwendung von Jackets, die Atmung und damit die Leistungsfähigkeit des Tauchers ein. Mit

Hilfe des Schnorchels, der an der Tauchermaske befestigt ist, kann sich der Taucher mit Gerät und Kopf unter der Wasseroberfläche halten und sich schwimmend vorwärts bewegen. Das Schwimmen mit Hilfe der Schnorchelatmung ist ständig zu trainieren (anfangs ohne Ausrüstung). Das Mitführen des Schnorchels ist für alle Schwimmtaucher bei der Ausbildung und bei Einsätzen Pflicht!

Ein Verzicht auf das Mitführen des Schnorchels kann nur erfolgen, wenn die Einstiegsstelle gleich die Arbeitsstelle ist. Das Weglassen von Ausrüstungsteilen muß vom Leiter des Tauchereinsatzes angeordnet werden.

Abtauchen des Schwimmtauchers

Begibt sich der Schwimmtaucher durch entsprechende Bewegungen unter die Wasseroberfläche, spricht man vom Abtauchen. Das Abtauchen kann vom Tau (Grundtau), aus der Schwimmlage oder vom Ufer aus erfolgen.

Je perfekter die Abtauchbewegungen beherrscht werden, desto tiefer und schneller wird man ohne große Kraftanstrengung abtauchen können.

Fußwerts Abtauchen (Abtauchen durch Absinken)

Unabhängig ob vom Ufer, der Taucherleiter oder frei im Wasser abgetaucht wird, stellt das senkrechte fußwertige Abtauchen die günstigste Methode dar, um die Wasseroberfläche zu verlassen. Der Körper hat hierbei die Möglichkeit sich besser an den zunehmenden Umgebungsdruck zu anpassen, wodurch der Druckausgleich im Mittelohr wesentlich einfacher herzustellen ist.

Durch Entlüften der Tarierhilfe und tiefes Ausatmen verliert der Taucher an Auftrieb und sinkt unter die Wasseroberfläche ab. Nimmt die Geschwindigkeit des Absinkens zu, kann der Taucher dies durch Einatmen abstoppen und sich in die Schwimmlage mit Blick zum Gewässergrund begeben.

Abtauchen durch Hüftschwung und Armzug

Diese Methode ermöglicht es dem Taucher direkt aus der Schwimmbewegung abzutauchen. Mit vorgestreckten Armen wird im Hüftgelenk kräftig abgeknickt. Dadurch kommt der Oberkörper unter die Wasseroberfläche. Danach werden die dicht nebeneinander liegenden Füße aus dem Wasser gestreckt. In diesem Moment nimmt der Körper eine gestreckte senkrechte Haltung ein. Die aus dem Wasser ragenden Füße liefern keinen Auftrieb mehr und drücken somit den Körper unter die Wasseroberfläche. Die Arme werden im Halbkreis bis zur Hüfte durchgezogen.

Mit den Beinen wird der Flossenschlag begonnen, wenn sich Füße und Flossen völlig unter Wasser befinden.

Abtauchen am Grundtau

Bei Arbeiten in strömenden Gewässern, in denen ein freies Abtauchen nicht oder nur schwer möglich ist, oder in Gewässern mit schlechter Sicht taucht der Schwimmer an einem Grundtau ab. Das Grundtau dient hierbei zum Halten des Tauchers und zur Orientierung. Es ist möglich, entweder mit den Füßen oder den Händen voran abzutauchen. Bei senkrechten Abstiegen wird das Abtauchen am Grundtau mit den Füßen nach unten (siehe auch „Fußwärts Abtauchen“) bevorzugt. Die Hände erfassen dabei das Grundtau, und es wird Hand über Hand abgetaucht.

Herstellen des Druckausgleichs

Herstellen des Druckausgleichs im Mittelohr

Da der Wasserdruck am Trommelfell anliegt, entsteht ein Unterdruck im Mittelohr und somit eine Wölbung des Trommelfells nach Innen. Das führt zu Trommelfellschmerz, der durch den Druckausgleich zu beseitigen ist. Man versteht darunter das Herbeiführen des Druckausgleichs zwischen dem Druck des Wassers und dem Druck im Mittelohr durch das Öffnen der Eustachischen Röhre (siehe Anatomie des Ohres). Das kann durch das Valsalva-Manöver (Nase zuhalten und hineinpresse) oder durch die Bewegung der Kiefermuskulatur (Schlucken) geschehen. Der Druckausgleich muß beiderseits und beim Abtauchen ständig erfolgen, nicht erst dann, wenn ein Druckschmerz vorhanden ist. Ist durch Erkältung der Eingang zur Eustachischen Röhre geschwollen, so gelingt der Druckausgleich schwer oder überhaupt nicht. Der Druckausgleich z.B. bei Erkältung (Schnupfen u. ä.) darf nicht erzwungen werden!

Herstellen des Druckausgleichs in der Tauchermaske

Tauchermasken sind halbstarre Gebilde. Sie können beim Abtauchen ihr Volumen nur bis zu einer sehr schnell erreichten Grenztiefe verkleinern. In der Maske entsteht ein Unterdruck. Der Taucher spürt dies durch schmerzhaftes Anpressen der Maske an Gesicht und Nase. Den Unterdruck gleicht der Taucher aus, indem er beim Abtauchen durch die Nase Luft ausbläst. Beim Auftauchen entweicht durch den entstehenden Überdruck im Maskenraum die Luft selbständig.

Aufenthalt und Verhalten unter Wasser

Ist der Taucher bis zum Grund des Gewässers abgetaucht, oder hat er auf dem Grund sein Ziel erreicht, gibt er das Signal: „Taucher auf Grund –alles wohl!“ (5 x kurz). Daran erkennen der Signalmann und der Tauchereinsatzleiter, daß der Taucher mit der Erfüllung seiner Aufgaben beginnen kann. Bevor der Taucher aber das Signal gibt, muß er den Zustand der Ausrüstung und die körperliche Verfassung selbst kontrollieren. Erst dann wird das Signal gegeben.

Nach der Orientierung begibt sich der Taucher zu seinem Arbeitsplatz oder an die Erfüllung seiner Aufgabe unter Wasser.

Beim Aufenthalt unter Wasser muß folgendes beachtet werden:

- der Taucher muß ständig das Gefühl der Sicherheit haben und darf nicht überhastet handeln;
- Leinen müssen laufend unter Kontrolle gehalten werden;
- die Atmung erfolgt normal, nicht unrationell tief oder schnell atmen, sondern nur so, wie es für die Erfüllung der Aufgabe notwendig ist;
- stellt der Taucher eine Erhöhung seiner Atemfrequenz oder ein tieferes Einatmen bei sich fest, ohne daß eine Notwendigkeit vorliegt, stellt er die Arbeit kurz ein und überprüft die Situation;
- regelmäßige Überprüfung des Luftvorrats mit dem Unterwassermanometer;
- Signale werden regelmäßig ausgetauscht, jedoch keine überflüssige Signalgebung, da sie die Aufgabenerfüllung stört;
- ist der Luftvorrat aufgebraucht, wird die Reserveeinrichtung betätigt, die Arbeit abgebrochen, Leinen werden klar gemacht und es wird aufgetaucht;
- bei Unwohlsein Arbeit kurz unterbrechen, 4- bis 5mal kräftig durchatmen, stellt sich keine Besserung ein, Signal geben und auftauchen;
- regelmäßig Überprüfen der Reserveeinrichtung, sie kann sich durch mechanische Einwirkung selbst lösen.

Auftauchen zur Wasseroberfläche

Nach Erfüllung der Aufgabe unter Wasser taucht der Schwimmtaucher in der Regel sofort wieder auf.

Beim Auftauchen muß die folgende Reihenfolge beachtet werden:

1. Klarmachen der Arbeits- und Signalleinen.
2. Orientierung.
3. Signal: Taucher will auftauchen. (Signal erst dann geben, wenn der Taucher zum Auftauchen bereit ist.)
4. Vom Zeitpunkt des Abhebens vom Grund bis zum Erreichen der Wasseroberfläche ständig atmen, damit der Innendruck der Lunge ständig dem den Taucher umgebenden Druck angepaßt wird und überschüssiger Stickstoff abgeatmet wird.
5. Der Taucher darf die maximale Aufstiegs geschwindigkeit nicht überschreiten (langsamer austauchen, als die von ihm ausgeatmeten auftauchenden Luftblasen aufsteigen).
6. Tauchen zwei oder mehrere Taucher mit Verbindungsleinen, so müssen sich die Taucher vor dem Auftauchen über die Verbindungsleinen oder durch Handzeichen einwandfrei verständigen. Der vor dem Tauchereinsatz festgelegte Führungstaucher entscheidet über das Auftauchen.
7. Beim Auftauchvorgang ist vom Signalmann darauf zu achten, daß die Leine eingezogen wird.
8. Der Blick ist zur Wasseroberfläche zu richten, um eine Havarie mit schwimmenden Gegenständen an der Wasseroberfläche zu vermeiden.

Ausblasen der Tauchermaske

Tauchermasken erreichen durch gute Paßform und den Wasserdruck einen wasserdichten Abschluß. Durch Arbeiten unter Wasser, Bewegungen des Gesichtes, Strömung und Havarien kann es zum Verrutschen oder Verlust der Maske kommen. In jedem Fall muß der Taucher in der Lage sein, ohne überhastete Bewegungen und ohne Panik in aller Ruhe die Maske wieder aufzusetzen, auszublasen und die Arbeit fortzusetzen.

Um aus einer so unbedeutenden Situation nicht Panik entstehen zu lassen, muß das Ausblasen der Maske trainiert werden. Beim Training des Maskeausblasens müssen dem Taucher folgende Punkte klar gemacht werden:

- Es ist besser, wenn der Taucher unter Wasser nur eingeschränkt sehen kann, als wenn er gar nichts sieht. Also soll er nach Möglichkeit immer die Augen öffnen, um die Orientierung zu behalten.
- Die Atemluft kommt aus dem Lungenautomat. Solange das Gerät funktioniert kann auch ohne oder mit gefluteter Maske ruhig weitergeatmet werden. Die Maske muß nicht mit einem Atemzug ausgeblasen sein. Ein Nachatmen ist ohne Schwierigkeiten möglich.
- Es gibt verschiedene Reflexe, die den Menschen vor dem Eindringen von Wasser in die Lunge schützen sollen. Kommt z.B. Wasser an die Nasenscheidewand, so wird der sog. Wasser-Nasen-Reflex ausgelöst. Neben der Senkung der Herzfrequenz, um Sauerstoff zu sparen, verhindert er das Weiteratmen, um kein Wasser anzuatmen. So lebensrettend dieser Reflex für Landlebewesen sein kann, die ins Wasser fallen, so bedrohlich ist er für den ungeübten Taucher, dessen Maske sich mit Wasser füllt. Dadurch, daß die Atmung reflektorisch eingeschränkt ist, der Taucher aber atmen möchte, entsteht eine Luftnot, die zum Panikaufstieg führt, der mit einer lebensbedrohlichen Schädigung der Lunge einhergehen kann.
- Die richtige Technik des Maskeausblasens: Nachdem die mit Wasser vollgelaufene Maske wieder richtig auf dem Gesicht positioniert wurde, legt der Taucher den Kopf in den Nacken. Mit den Fingern einer oder beider Hände drückt er den oberen Maskenrand an die Stirn und hebt mit dem Daumen die Maske am unteren Rand etwas vom Gesicht ab. Gleichzeitig atmet der Taucher durch die Nase aus. Die Luft sammelt sich im oberen Teil der Maske, da sie hier nicht entweichen kann. Sie staut sich an und drückt dabei das Wasser aus dem unteren Rand der Maske heraus. Ist die Maske leer oder muß nachgeatmet werden, muß, bevor der Luftstrom aus der Nase unterbrochen wird, der untere Rand der Maske wieder an das Gesicht gedrückt werden, da sonst erneut Wasser nachläuft.

Das Beherrschen des Sehens und Atmens ohne Maske unter Wasser ist für die sichere Durchführung des Maskeausblasens und damit für die Sicherheit des Tauchers von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund sind ständiges Training und damit eine Gewöhnung an diese Situation besonders wichtig.

Trainings- und Vertiefungsmöglichkeiten:

- Während des Konditionstrainings im Schwimmbad soll der Taucher die Maske auf die Stirn setzen und ohne den Kopf aus dem Wasser zu heben unter Schnorchelatmung eine Mindeststrecke zurücklegen. Beherrscht er eine bestimmte Strecke sicher, kann die Strecke verlängert oder eine Strecke in einer bestimmten Zeit zurücklegen werden.

- Üben der Technik des Maskeausblasens im flachen Wasser stehend und kurz unter der Wasseroberfläche ohne Gerät.
- Anlegen der ABC-Ausrüstung in der Reihenfolge: Flossen, Maske, Schnorchel als Apnoetaucher. Dabei muß die Maske vollständig ausgeblasen sein. Steigern läßt sich die Übung, in dem am Ende auch der Schnorchel ausgeblasen sein muß und der Taucher nach beenden der Übung noch eine Strecke unter Schnorchelatmung schwimmend zurücklegt oder das Anlegen der ABC-Ausrüstung auf einer bestimmten Strecke unter Wasser erfolgen soll.
- Schwimmen oder Erfüllen von Aufgaben unter Wasser ohne Maske (z.B. Ablegen und Anlegen des DTG, Binden von Knoten oder Herstellen von Schekelverbindungen).

Orientierung unter Wasser

Die Sicht unter Wasser beträgt in den mitteleuropäischen Binnengewässern, besonders in den Flüssen, meist weniger als 50 cm und sinkt oft auf wenige Zentimeter ab. Von dieser Feststellung muß ausgegangen werden, wenn Hinweise für die natürliche Orientierung und den Umgang mit technischen Orientierungsmitteln gegeben werden sollen.

Orientierung ohne technische Hilfsmittel

Bei der Erfüllung von Aufgaben unter Wasser im Bergungsdienst ist eine Orientierung ohne technische Hilfsmittel in der Regel nicht nötig. Ein Wissen darum und auch das Üben der Orientierung ohne technische Hilfsmittel können in Havariesituationen von Bedeutung sein.

Eine Orientierung ohne technische Hilfsmittel im freien Gewässer, ohne daß sich der Taucher über dem Grund bewegt, ist kaum möglich. Das zügige Abtauchen zum Grund ist die erste Voraussetzung für eine gute Orientierung.

Der Taucher hat zur Orientierung nach natürlichen Gegebenheiten folgende Anhaltspunkte:

- Strömungsverhältnisse. Um ein fließendes Gewässer zu überwinden, schwimmt der Taucher auf dem Flußgrund gegen den Strom. Dabei muß er die Strömung nur von einer Seite, so wie er abgetaucht ist, erhalten (Einhalten der Gierstellung). Bei schwacher Strömung kann sich der Taucher nach schwebenden Teilchen, aufgeworfenem Sand oder Schlamm richten.

- Beschaffenheit des Grundes. In bekannten Gewässern kann man sich nach der Beschaffenheit des Grundes orientieren. In strömenden Gewässern wird in der Strommitte der Grund sandig und im Uferbereich schlammiger sein. Dabei ist der Zustand des anwerfenden bzw. abwerfenden Stroms zu beachten. Nach dem Bodenbewuchs kann sich der Taucher teilweise orientieren.
- Sichtverhältnisse. In der Regel sind die Sicht- und Lichtverhältnisse in tieferen Bereichen des Stroms schlechter (hell und dunkel) als im Uferbereich.
- Sprungschicht. In stehenden Gewässern bildet sich im Sommer zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser eine Schicht aus, in der sich die Temperatur sprunghaft ändert.
- Bei ausreichenden Sichtverhältnissen kann sich der Taucher an Sonnenstand und markanten Punkten orientieren.

Orientierung mit technischen Hilfsmitteln

Orientierung mit dem Taucherkompaß

Taucherkompass, wie man sie allgemein im Handel erhält, sind für den Einsatz im Bergungstauchen ausreichend geeignet. Allerdings müssen die UW-Kompass einige Mindestanforderungen erfüllen (siehe auch „Taucherkompass“):

- von der Lage unabhängiges (verkantungsfreies) Arbeiten,
- Druckfestigkeit und Dämpfung durch Ölfüllung,
- Peilmöglichkeit mit um 180° versetzter Skale,
- rastenden Stellring,
- nachleuchtende Skale,
- flexibles Armband mit rostfreiem und unmagnetischem Verschuß.

Der Umgang mit diesem Orientierungsmittel hat sich allgemein bewährt und ist auch bei sehr schlechter Sicht möglich. Ein Ziel wird unmittelbar am Wasser-Ufer-Bereich angepeilt, der Kompaß wird eingestellt, in der Regel wird vom Ufer aus abgetaucht und unter Wasser wird nach vorheriger Einstellung der Richtungszahl das Ziel am jenseitigen Ufer erreicht. Die Unterwasserorientierung mit Hilfe eines Kompasses setzt voraus, daß man diesen nie aus dem Handgelenk dreht. Der Körper des Tauchers muß sich nach der vorher eingestellten Kompaßnadel richten.

Die Verwendung des Taucherkompasses ermöglicht auch die Grobsuche in großem Seeraum, was das Beherrschen verschiedener Suchsystem voraussetzt, die ein ständiges Training in der Ausbildung erfordern (siehe auch „Absuchen von Flächen mit Kompassorientierung“).

Orientierung mit der Signalleine

Diese Methode wird besonders beim Suchen und bei Unterwasserarbeiten angewendet. Die Sicherung mit einer Signalleine ist nach der GUV-R 2101 („Tauchen mit Leichttauchgeräten in Hilfeleistungsunternehmen“) vorgeschrieben, so daß dieses Orientierungsmittel in der Regel immer zur Verfügung steht. Sie ist die sicherste Art, sich im Gewässer zu orientieren. Die Signalgebung erfolgt durch den Signalmann am Ufer oder auf dem Boot mit Hilfe einer Signalleine. Diese Art erfordert aber höchste Aufmerksamkeit und intensives Training durch Taucher und Signalmann. Hierbei erfolgt die Signalgebung über Zugsignale vom Signalmann zum Taucher und umgekehrt. Die Signalgebung wird jedoch bei starker Strömung, größeren Tiefen und längeren Strecken ungünstig beeinflusst.

6.3.6 Mögliche Havariesituationen und Funktionsstörungen beim Tauchen mit Schwimmtaucherausrüstung

Es ist schwer, alle möglichen Havariesituationen, in die ein Schwimmtaucher geraten kann, und Funktionsstörungen vorzusehen. Ein gut ausgebildeter Taucher handelt in jedem Fall ohne jegliche Hast und überlegt. Außerdem ist er befähigt, einen zweckmäßigen Entschluß unter Wasser zu fassen.

Lfd.-Nr.	Mögliche Havariesituationen oder Funktionsstörungen	Handlungsweise Taucher	Handlungsweise Signalmann	Handlungsweise Sicherungstaucher
1	Tauchermaske geht verloren	<ul style="list-style-type: none"> • Leine klar machen, • Signalgebung, • austauchen 		
2	Flosse geht verloren	<ul style="list-style-type: none"> • Leine klar machen; • Signalgebung; • austauchen 		
3	Erleiden von Verletzungen	<ul style="list-style-type: none"> • ruhig weiter atmen; • Leine klar machen; • Signalgebung; • austauchen 		

4	Taucherg�r�t gibt plötzlich keine Luft mehr ab (Versagen des Reglers, Luftversorgung erschöpft) Ausatmung versagt.	<ul style="list-style-type: none"> • Ruhe bewahren, • bei geringer Tiefe Signalgebung, Ausatmen; • bei mittleren Tiefen Notsignal geben; • sofort ruhig auftauchen; • beim Auftauchen Luft abatmen; • Gewichtsgürtel abwerfen, wenn Tarrhilfe nicht mehr arbeitet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Meldung an Tauchereinsatzleiter; • Unterstützung des auftauchenden Tauchers; • bei Notsignal Leine schnell einholen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Unfallstelle beobachten; • auf Anweisung zur Hilfe des gefährdeten Tauchers abtauchen.
5	Taucher hat sich festgeklemmt oder in Leinen oder Netzen verfangen.	<ul style="list-style-type: none"> • Ruhe bewahren; • Lage ausmachen; • mit Tauchermesser befreien; • notfalls Sicherungstaucher anfordern 		
6	Beschädigung des Taucheranzugs (besonders in den Trockentaucheranzug dringt Wasser ein).	<ul style="list-style-type: none"> • Leckstelle versuchen zu zuhalten; • Leckstelle möglichst an der tiefsten Stelle halten; • mehr Luft einströmen lassen; • Signalgebung; • sofort austauchen; • Gewichtsgürtel abwerfen, wenn Tarrhilfe nicht mehr arbeitet. 		
7	Beim Tauchen mit zwei Tauchern mit Verbindungsleine fällt ein Gerät aus.	<ul style="list-style-type: none"> • beide Taucher atmen aus einem Gerät; • Gewichtsgürtel abwerfen, wenn Tarrhilfe nicht mehr arbeitet; • sofort auftauchen. 		

8	Beim Eistauchen, Verbindungsleine hat sich gelöst oder ist gerissen.	<ul style="list-style-type: none"> • sofort bis unter die Eisdecke auftauchen; • Sternförmiger Markierung auf der Eisdecke folgen; • Klopfzeichen mit Tauchermesser geben; • versuchen, mit Tauchermesser ein Loch zu schlagen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Notsignal geben; • Eisloch beobachten. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mit längerer Signalleine abtauchen; • Suchen des Tauchers.
9	Regler gibt ununterbrochen Luft ab.	<ul style="list-style-type: none"> • Normal weiteratmen; • Signalgebung; • austauchen. 		
10	Erhöhter Einatemwiderstand	<ul style="list-style-type: none"> • Ruhig weiteratmen; • Reservewarneinrichtung betätigen; • Signalgebung; • austauchen. 		
11	Gurte, Verschlüsse defekt (gerissen).	<ul style="list-style-type: none"> • Gerät festhalten; • Signalgebung; • austauchen. 		
12	Gewichtsgürtel defekt oder verlorengegangen.	<ul style="list-style-type: none"> • versuchen, den Gewichtsgürtel festzuhalten; • ist Gewichtsgürtel verlorengegangen, langsam auftauchen und Wasseroberfläche beobachten; • Tarmittel entlüften; • Luft abatmen. 		

Ein gefährdeter Taucher darf sich *nur im äußersten Notfall* von Tauchergerät und Signalleine trennen.

Kapitel 7

Ausbildungskonzepte

7.1 Ausbildung von Tauchern in Hilfeleistungsunternehmen

Die Ausbildung von Tauchern in Hilfeleistungsunternehmen sollte sich je nach Form der Gliederung einteilen in

- Basisausbildung in der Grundgliederung (Grundorganisationen)
- Allgemeine Ausbildungen und Prüfungen in der übergeordneten Gliederung (Landesverbände)
- Spezialausbildungen und -prüfungen auf Bundesebene (Bundesverband)

Die dabei zu erreichenden Qualifizierungen können sich wie folgt einteilen:

Taucherhelfer	Einsteiger in eine Tauchergruppe	Unterstützt alle Angehörigen der Tauchergruppe bei ihrer Tätigkeit und beginnt die Ausbildung zum Signalmann
---------------	----------------------------------	--

Signalmann	Ausbildung zum Signalmann nach GUV-R 2101 abgeschlossen	Unterstützt und überwacht Taucher seiner Gruppe vor, während und nach dem Tauchgang und kann die Ausbildung zum Taucher Level 1 beginnen
Taucher Level 1	führt einfache Übungen und Einsätze in geringe Tiefen und ohne zusätzliche Gefährdung (z.B. Nacht, Strömung) mit Tauchgeräten aus	befindet sich in der Ausbildung zum Taucher Level 2
Taucher Level 2	führt Übungen und Einsätze mit Tauchgeräten in allen Bereichen der GUV-R 2101 aus	bildet ständig seine Fähigkeiten und Fertigkeiten weiter, um seine Einsatzbereitschaft zu erhalten und sein Einsatzspektrum zu erhöhen. Kann die Ausbildung zum Tauchereinsatzleiter beginnen.
Taucherausbilder	bildet alle Angehörigen seiner Grundorganisation im Rahmen der Basisausbildung aus und wird als Ausbilder und Prüfer für überregionale Ausbildungen eingesetzt	kann die Ausbildung zum Ausbilder der Ausbilder beginnen
Ausbilder der Ausbilder	leitet und überwacht überregionale Ausbildungen und Prüfungen auf der Ebene des Landesverbandes und wird in Kommissionen auf Bundesebene eingesetzt	bildet Ausbilder der Ausbilder aus und prüft diese in Kommissionen

7.2 Ausbildungsformen

Basisausbildung	Standortebene	Theorie- und Praxisausbildung lt. GUV-R 2101 (Physik, Medizin, Praxis, Ausrüstung, Seemannschaft)	Taucherhelfer, signalmann, Taucher L1, Taucher L2
Überregionale Ausbildungen	Landesverbandsebene	Orientierung beim Tauchen, Nachttauchen, Strömungstauden, Prüfung Taucher L1/2, Tauchereinsatzleiter	Signalmann, Taucher L1/2, Tauchereinsatzleiter
Spezialausbildungen	Bundesebene	Ausbildungen und Prüfungen, die nach Art, Umfang und Häufigkeit nicht auf Landesebene zu organisieren sind	Taucher L2, Taucherausbilder, Ausbilder der Ausbilder

7.2.1 Basisausbildung

7.2.2 Überregionale Ausbildungen

Orientierung beim Tauchen

Nachttauchen

Strömungstauchen

Tauchereinsatzleiter

Zentrales Ausbildungslager / Prüfung Taucher Level1/2 und Tauchereinsatzleiter

Folgende Gedanken liegen einem zentralem Ausbildungs- und Prüfungslager zugrunde:

- einheitliche Ausbildung und Prüfung aller Taucher, Signalmänner und Tauchereinsatzleiter
- einheitliche Kenntnis über Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation bei Tauchereinsätzen
- Erreichen einheitlicher Lehrmeinungen und Sicherheitsstanddarts
- Kennenlernen des Personalbestandes aus verschiedenen Tauchergruppen und Erfahrungsaustausch
- dadurch Erreichen der Austauschbarkeit des Personalbestandes bei Großeinsätzen

Bis hin zum Taucherausbilder können Anwärter aller Qualifizierungen eingesetzt und geprüft werden.

Anwärter	Aufgabenkatalog	Anmerkungen
----------	-----------------	-------------

Signalmann	<ul style="list-style-type: none">• helfen dem Taucher beim Vorbereiten des Tauchgangs• Formen der Signan-gebung• führen die Taucher bei den Übungen mit und ohne Kommuni-kation• führen von einzelnen Tauchern und Tauch-trupps• Taucherrettung• helfen dem Taucher beim Nachbereiten des Tauchganges	
Taucher Level 1	<ul style="list-style-type: none">• einfache Suchaufga-ben vom Land und von Steganlagen aus• Knotenkunde an Land und unter Wasser• Anschlagen von Ge-genständen mit Seil-werk• Rettung von Tau-chern	

Taucher Level2	<ul style="list-style-type: none">• Suchsysteme auch bei größeren Tiefen, bei Nacht und vom Boot aus• Arbeiten mit Hebesäcken• Anschlagen von Gegenständen mit Stahlseilen (Schekelarbeiten)• Sägen, Meißeln, Flanscharbeiten• Rettung von Tauchern	
Tauchereinsatzleiter	<ul style="list-style-type: none">• führen die einzelnen Tauchergruppen (Taucher Level1/2) bei den jeweiligen Übungen• Vorbereitung der Übungen• Gefährdungsanalyse• Einweisung des Personalbestandes ihrer Gruppe• Sicherstellungsaufgaben• Organisation der Taucherrettung• Dokumentation	

Taucherausbilder	<ul style="list-style-type: none"> • unterstützen die Lehrgangsführung bei der Vorbereitung, Durchführung und Abrechnung des Lehrganges • bereiten Vorträge vor und halten diese • Schätzen Übungen ein und bewerten diese 	
------------------	---	--

Lehrgangsplan

Tag	Zeit	Aufgabe
Freitag	bis 19 Uhr	Anreise
	19.00-19.30	Quartier machen
	19.30-20.00	Abendessen
	20.00-20.30	Begrüßung durch die Lehrgangsführung, Einweisung in den Lehrgang, Abgabe Taucherbücher/Ausbildungsnachweise
	20.30-21.30	Belehrung GUV-R 2101
	21.30-22.00	Fragen/Antworten Teilnehmer <=> Lehrgangsführung
Sonntag	7.00-7.30	Frühstart (Schwimmen leistungsbezogen, Integration der ABC-Übungen)
	7.30-8.00	Morgentoilette
	8.00-8.30	Frühstück
	8.30-9.00	Einweisung in den Tagesablauf, Spezifizierung der Aufgaben
	9.00-11.30	Übungskomplex 1

	11.30-12.00	Aufklaren der Ausrüstung
	12.00-13.00	Mittagspause
	13.00-14.00	Vortrag
	14.00-17.00	Übungskomplex 2
	17.00-17.30	Aufklaren der Ausrüstung
	17.30-18.30	Abendessen
	18.30-20.30	2 Vorträge
	20.30-21.30	Nachttauchgang Taucher Level2
	21.30-22.00	Aufklaren der Ausrüstung
Sonntag	7.00-7.30	Frühspport (Schwimmen leistungsbezogen, Integration der ABC-Übungen
	7.30-8.00	Morgentoilette
	8.00-8.30	Frühstück
	8.30-9.00	Einweisung in den Tagesablauf, Spezifizierung der Aufgaben
	9.00-12.00	Übungskomplex 3
	12.00-12.30	Aufklaren der Ausrüstung
	12.30-13.30	Mittagspause
	13.30-14.30	Aufklaren der Unterkünfte, Herstellen der Abmarschbereitschaft
	14.30-15.00	Lehrgangsauswertung, Übergabe der Urkunden
15.00	Abreise	

Übungsbeispiele

Taucher	Aufgabenkatalog	Übungskomplex im Zeitplan
Level1	Suche Scheibenwischermethode	1
	Suche Parallel zum Ufer	1
	Sternsuche	1
	Einrichten eines UW-Arbeitsplatzes	2
	Sägen, Meißeln	2
	Knotenbahn	3
	Taucherrettung	3
Level2	Suche vom Boot (Kreis) in Tiefe bis 20m	1
	Arbeiten und Anschlagen mit Stahlseilen	2
	Arbeiten mit Hebesack	2
	Flanscharbeiten	2
	Taucherrettung	2
	Kompaßsuche	Nacht
	Aufbau und Tauchen von Suchsystemen	3

7.2.3 Spezialausbildungen auf Bundesebene

Kapitel 8

Autoren

Edits	User
26	Dirk Huenniger
85	Jörg Rittmeister
2	Pc-world
1	Petflo2000

Kapitel 9

Bildnachweis

In der nachfolgenden Tabelle sind alle Bilder mit ihren Autoren und Lizenzen aufgelistet.

Für die Namen der Lizenzen wurden folgende Abkürzungen verwendet:

- GFDL: Gnu Free Documentation License. Der Text dieser Lizenz ist in einem Kapitel dieses Buches vollständig angegeben.
- cc-by-sa-3.0: Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0 License. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> nachgelesen werden.
- cc-by-sa-2.5: Creative Commons Attribution ShareAlike 2.5 License. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/> nachgelesen werden.
- cc-by-sa-2.0: Creative Commons Attribution ShareAlike 2.0 License. Der Text der englischen Version dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/> nachgelesen werden. Mit dieser Abkürzung sind jedoch auch die Versionen dieser Lizenz für andere Sprachen bezeichnet. Den an diesen Details interessierten Leser verweisen wir auf die Onlineversion dieses Buches.
- cc-by-sa-1.0: Creative Commons Attribution ShareAlike 1.0 License. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/1.0/> nachgelesen werden.
- cc-by-2.0: Creative Commons Attribution 2.0 License. Der Text der englischen Version dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/> nachgelesen werden. Mit

dieser Abkürzung sind jedoch auch die Versionen dieser Lizenz für andere Sprachen bezeichnet. Den an diesen Details interessierten Leser verweisen wir auf die Onlineversion dieses Buches.

- cc-by-2.5: Creative Commons Attribution 2.5 License. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/deed.en> nachgelesen werden.
- GPL: GNU General Public License Version 2. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.txt> nachgelesen werden.
- PD: This image is in the public domain. Dieses Bild ist gemeinfrei.
- ATTR: The copyright holder of this file allows anyone to use it for any purpose, provided that the copyright holder is properly attributed. Redistribution, derivative work, commercial use, and all other use is permitted.

Bild	Autor	Lizenz
1	Mino1997	GFDL
2	Alien65	GFDL
3		GFDL
4	Henrik Sendelbach	cc-by-sa-2.5
5	Otto Lueger	GFDL
6		PD
7	Zubro	GFDL
8	Jörg Rittmeister	GFDL
9	Jörg Rittmeister	GFDL
10	Jörg Rittmeister	GFDL
11	Jörg Rittmeister	GFDL
12	Jörg Rittmeister	GFDL
13	Jörg Rittmeister	GFDL
14	Jörg Rittmeister	GFDL
15	Jörg Rittmeister	GFDL
16		PD
17		PD
18	Jörg Rittmeister	GFDL
19	Jörg Rittmeister	GFDL
20	Jörg Rittmeister	GFDL
21	Jörg Rittmeister	GFDL
22	Jörg Rittmeister	GFDL
23	Jörg Rittmeister	GFDL
24	David Haberthür	cc-by-sa-2.0
25	Jörg Rittmeister	GFDL
26	Jörg Rittmeister	GFDL
27	Patrick J. Lynch, medical illustrator	cc-by-2.5
28	Jörg Rittmeister	GFDL
29	Jörg Rittmeister	GFDL
30	Jörg Rittmeister	GFDL
31	Jörg Rittmeister	GFDL
32	Iain	GFDL
33	Jörg Rittmeister	GFDL
34	Jörg Rittmeister	GFDL
35	Iain	GFDL
36	:en>User:Clinical Cases	cc-by-sa-2.5
37	Myself User:Indolences , User:Masturbius	PD
38	Jörg Rittmeister	GFDL
39	Jörg Rittmeister	GFDL
40	Jörg Rittmeister	GFDL

41	Jörg Rittmeister	GFDL
42	Jörg Rittmeister	GFDL
43	Jayme Pastoric	PD
44	Mark.murphy	PD
45	Andrew McKaskle	PD
46	Retama	GPL
47	Alexander Z.	GFDL
48	Alex , eigenes Foto Original uploader was Alex Anlicker at de.wikipedia	GFDL
49		PD
50	davric	PD
51	davric	PD
52	Alexander Z.	GFDL
53		GFDL
54	Malene Thyssen	GFDL
55	Mark Murphy	GFDL