C. Standard-Helmtauchgeräte

1. Allgemeines

Die in den letzten Jahren in großem Umfange durchgeführten Verbesserungen der Schwimmtauchgeräte, insbesondere der Preßluftatmer, lassen den Einsatz der Standard-Helmtauchgeräte etwas in den Hintergrund treten.

Da auch in der Tieftauchtechnik hauptsächlich Schwimmtauchgeräte auf Mischgasbasis Verwendung finden, ist der Einsatz der Helmtauchgeräte noch weiter zurückgegangen. Wenn aber in diesem Handbuch der Tauchtechnik dennoch ein Kapitel den Helmtauchgeräten gewidmet ist, so hat dies seinen Grund darin, daß vielfach der Einsatz von Helmtauchern unumgänglich erscheint.

Die nahezu unbegrenzte Einsatzzeit, die sprichwörtliche Betriebssicherheit und Robustheit dieser Geräte sind bei manchen Einsätzen immer noch vorteilhaft und lassen dann die Unbeholfenheit und den größeren Personen- und Materialeinsatz unerheblich erscheinen. Vorteile bieten diese Geräte auch bei dem Einsatz in unhygienischen Gewässern.

Es bleibt also abzuwarten, ob und wie der Helmtaucher alter Prägung einmal abgelöst wird.

Erstaunlich ist allerdings, daß beispielsweise bei einem Teil der Tieftauchgeräte, die als Schwimmtauchgeräte gebaut sind, heute schon Taucherhelme mit kleinem Volumen und in moderner Bauweise im Einsatz sind. Der Taucher hat in ihnen eine bessere Kopffreiheit und wird in der Atmung nicht behindert; er hat vor allem geringere Kommunikationsschwierigkeiten und ist besser geschützt.

Es ist anzunehmen, daß dies bereits die ersten Ansätze einer modernen Helm taucherei sind.

2. Theoretische Grundlagen

Im Gegensatz zu den Preßluftatmern und zu den meisten Kreislauftauchgeräten erfordern Standard-Helmtauchgeräte das Zusammenwirken von Taucherhelm und Taucheranzug.

Dabei übernimmt ein Teil des Taucheranzuges die Aufgabe der Gegenlunge und bildet somit gewissermaßen einen Atembeutel.

Gleichzeitig kann dieses veränderliche Volumen aber auch zur Auftriebsregulierung verwendet werden. Die Verhältnisse eines aufrecht im Wasser stehenden Helmtauchers ersieht man aus Bild 1: Der Anzug liegt bis kurz unter dem Helm am Körper des Tauchers fest an und bildet dort oft sehr feste und scharfe Falten.

Während bei dem aufrecht stehenden Taucher vom Kopf bis zur Luftblasenunterkante des Anzuges innen ein gleichmäßiger Druck herrscht, der einer Wassersäule mit der Höhe B_1 oder B_2 entspricht, erhöht sich der Druck von der Luftblasenunterkante entsprechend der zunehmenden Höhe der Wassersäule bis zu einem Druck, der einer Wassersäule von der Höhe H entspricht.

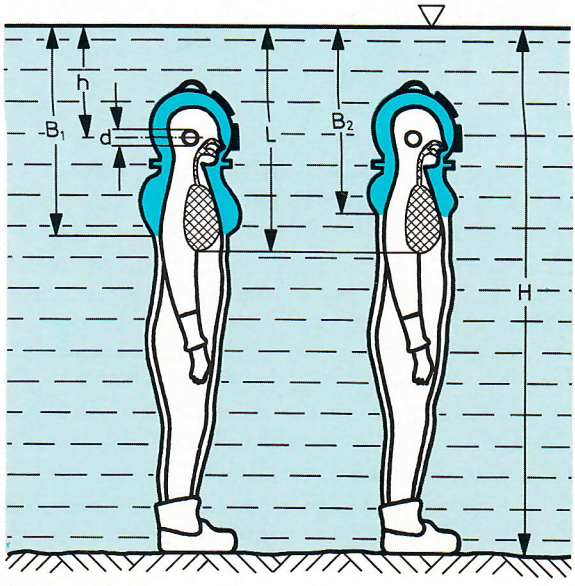


Bild 1 Luftblase im angelegten Helmtaucheranzug in Abhängigkeit von der Luftauslaßventil-einstellung

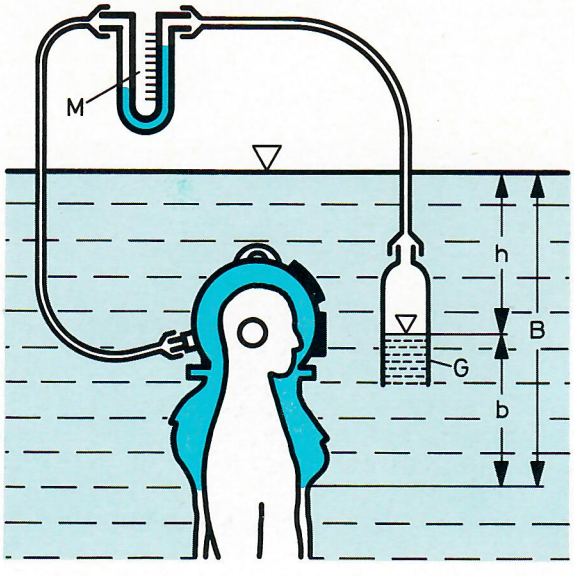


Bild 2 Luftdruckmessung im Helm zur Bestimmung der Wassersäule von der Luftblasenunter-kante bis zum Helmventil

Auf dem Fuß eines Tauchers lastet somit ein Druck, der um die Differenz H-B größer ist als der Druck beispielsweise am Kopf des Tauchers. Bei gleicher Lage der Luftblasenunterkante ist diese Differenz nicht veränderlich, also auch nicht, wenn der Taucher eine größere Tiefe aufsucht.

Die Größe der Luftblase des Taucheranzuges läßt sich regulieren, und zwar durch ein im Abblasedruck veränderliches, meist federbelastetes Helmventil. Außer der Wassersäule mit der Größe h wirkt also auf den Schließteller noch ein bestimmter Federdruck.

Völlig veränderte Verhältnisse ergeben sich, wenn sich der Taucher bückt, wenn er liegt oder gar mit dem Kopf nach unten arbeitet.

Ist der Druck am Helmventil innen geringer als der Außendruck des umgebenden Wassers, so strömt beim Öffnen des Ventiles das Wasser in den Helm ein. Diese Tatsache gebietet bei liegendem und über Kopf arbeitendem Taucher besondere Vorsicht.

Zur Bestimmung der Wassersäule von der Luftblasenunterkante bis zum Helmventil wird entsprechend dem Verfahren nach Bild 2 vorgegangen.

Als Druckmesser M nimmt man zweckmäßigerweise ein Quecksilbermanometer.

Das Gefäß G muß durchsichtig sein und dient zur Egalisierung des Gegendruckes auf die Helmventilhöhe h.

2.1. **Grenztauchtiefen in Abhängigkeit vom elastischen Luftraum**

Bei dem Tauchen mit geschlossenem Anzug muß der Gefahr des Tauchersturzes ganz besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden. Da die elastischen Lufträume bei den verschiedenen Gerätetypen durchaus nicht gleich sind, ergeben sich auch verschiedene zulässige Absturztiefen h_z, deren Überschreiten den Taucher in unmittelbare Gefahr bringt.

Für die Ermittlung der zulässigen Absturztiefe ist folgende Betrachtung notwendig:

Durch Auswiegen des Tauchers im Wasser wird der im Taucheranzug bis zum Helmrand reichende Anteil der veränderlichen Luftmenge V_A in der Taucherausrüstung bestimmt.

Dazu wird bei der ersten Wiegung für kurze Zeit alle Luft aus dem Anzug gelassen und für die zweite Wiegung der Anzug soweit gefüllt, daß der Taucher in der Schwebe ist. Die Differenz in kg gibt dann genau an, wieviel Liter Luft der Taucher in der betreffenden Tiefe benötigt, um sich in der Schwebe zu halten.

Für ein Schlauchtauchgerät mit durchschnittlicher Helmgröße wurden für V_A 41,4 Liter festgestellt.

Da der am Grund arbeitende Taucher stets schwankende Mengen Luft im Anzug hält, die den Arbeits- und Strömungsverhältnissen angepaßt sind, ergeben sich verschiedene Luftmengen für V_A.

Als geringst mögliche bewegliche Luftmenge, bei der noch eine unbehinderte Atmung möglich ist, wurde V_A zu 5 Litern ermittelt.

Werden die Wiegungen unmittelbar unter der Wasseroberfläche durchgeführt, so ergeben sich die in Tabelle 1 zusammengefaßten Werte.

Tabelle 1

Wiegungen unmittelbar unter der Wasseroberfläche

Gerätemodell	bewegliches Anzugluftvolumen [l]			Absolutes Gewicht einschl. 80 kg für den Taucher [kg]	Größtes Volumen aufgeblasen [l]
	schweb.	normal	wenig		
Schlauchtauchgerät Standardhelm	41,5	16	5	173	217
Schlauchloses Tauchgerät DM 40	42,5	17	5	187	233

Neben dem beweglichen Anzugluftvolumen ist noch die starr umschlossene Luftmenge V_H festzustellen, mit der diese in Verbindung steht. Das ist bei dem Schlauchtauchgerät in erster Linie die Helmluft (abzüglich des Kopfvolumens vom Taucher) und bei dem schlauchlosen Helmtauchgerät zusätzlich der Inhalt des Rückengerätes.

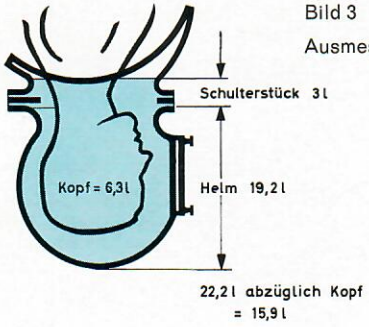


Bild 3
Ausmessen des Helmvolumens V_H mit Wasser

Für einen Standardhelm ergeben sich die in Bild 3 dargestellten Werte. Unter gleichen Helmverhältnissen wurden für schlauchlose Helmtauchgeräte, für Helm mit Schulterstück und Rückenapparat 21,6 Liter festgestellt.

Unter der Anwendung des Mariotteschen Gesetzes läßt sich nun die Gleichung für die zulässige Absturztiefe h_z berechnen.

Es ergibt sich die Formel

(1) $$(V_H + V_A)(h_1 + 10) = V_H (h_2 + 10) \quad ;$$

es gilt weiter $$h_z = h_2 - h_1 \quad ;$$

allgemeiner ausgedrückt, ergibt sich

(2) $$h_z = \frac{V_A}{V_H} (h_1 + 10) \quad [m],$$

für $h_1 = 0$; also bei einem Absturz von der Oberfläche erhält man:

(3) $$h_z = \frac{V_A}{V_H} \cdot 10 \quad [m].$$

Bei dem Absturz von der Oberfläche ergeben sich die in Tabelle 2 zusammengestellten Werte.

Tabelle 2

Absturztiefe h_z bei Absturz aus $h_1 = 0$

Gerätemodell	schwebend [m]	normal [m]	wenig [m]
Schlauchtauchgerät mit Standardhelm	26	10	3
Schlauchloses Tauchgerät mit Standardhelm	20	8	2

Bei dem Absturz aus verschiedenen Tiefen h_1 sind die Verhältnisse insofern verändert, da nicht nur die im Anzug gehaltene Luftmenge und die von starrem

Volumen umgebenen Luftmengen Einfluß auf die zulässige Absturztiefe haben, sondern auch die Aufenthaltstiefe h_1 die Werte für h_z beeinflußt.

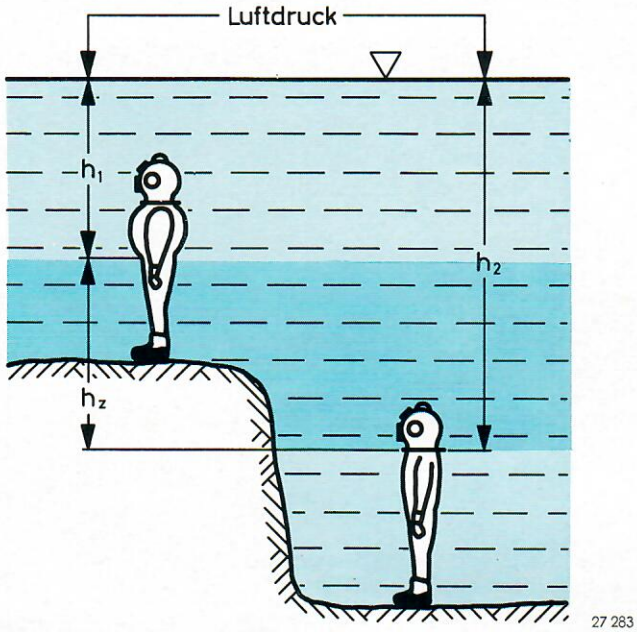


Bild 4 Zulässige Absturztiefe eines Helmtauchers

Es ergeben sich die Werte nach Tabelle 3. Man erkennt, daß h_z direkt proportional mit der Aufenthaltstiefe h_1 wächst.

Tabelle 3

Zulässige Absturztiefe h_z [m] für normal und wenig Luft im Anzug.

Aufenthaltstiefe h_1 [m]	normale Luftmenge		wenig Luft	
	Schlauchtauchgerät [m]	Schlauchloses Tauchgerät [m]	Schlauchtauchgerät [m]	Schlauchloses Tauchgerät [m]
0	10	8	3	2
10	20	16	6	5
20	30	24	9	7
30	40	32	13	9
50	60	47	19	14
100	111	87	35	26

Von entscheidender Bedeutung ist aber die Erkenntnis, daß bei dem Tauchen in seichtem Wasser die Absturzgefahr im Vergleich zu dem Tauchen im tiefen Wasser außerordentlich groß ist, vor allem dann, wenn im Anzug auch noch wenig Luft gehalten wird.

Durch die Verwendung von Taucherluftzuführungsautomaten (siehe Band II) lassen sich aber diese Gefahren weitestgehend ausschalten.

2.2. **Zulässige Tauchtiefe für gefahrloses Hochtreiben**

Bei dem Einsatz von Helmtauchgeräten besteht insbesondere dann die akute Gefahr des Hochtreibens, wenn der Taucher im schwebenden Zustand arbeitet und das Helmventil sehr stark gedrosselt ist. Auch der Strömungsdruck spielt eine erhebliche Rolle, da der Helmtaucher mit seinem Versorgungsschlauch und seiner großflächigen Ausrüstung einen vergleichsweise viel größeren Strömungswiderstand als ein Schwimmtaucher bietet. Die mit dem unbeabsichtigten Hochtreiben verbundenen Gefahren liegen auf der Hand. Kritisch dürften sich Embolien beim Taucher und das Platzen des Taucheranzuges auswirken.

Für jedes Tauchgerätemodell kann man nun eine Mindesttiefe errechnen, bei der wenigstens die Gefahr des Anzugplatzens auszuschließen ist.

Die Überlegungen gehen davon aus, daß das Helmventil völlig festsitzt und während des Hochtreibens keine Luft aus dem Helm und dem Anzug entweichen kann.

Die gefahrlose Grenztiefe h_1 für das Hochtreiben wird dadurch bedingt, daß bei Erreichen der Wasseroberfläche der Druck im Anzug 0,2 atü nicht überschreiten soll. Voraussetzung ist natürlich ein Anzug, der in gutem Zustand ist.

Es ergibt sich die Formel

(4) $$V_1 (h_1 + 10) = V_2 \cdot 12 \quad ;$$

daraus durch Umstellung die gefahrlose Grenztiefe h_1

(5) $$h_1 = \frac{12 \cdot V_2}{V_1} - 10 \quad [m].$$

In den Formeln bedeuten:

V_1 = Volumen der expansionsfähigen Luft in der im Wasser schwebenden Ausrüstung (Helm, Anzug, evtl. Rückenapparat) [l]

V_2 = Volumen der Rüstungsluft nach dem Hochtreiben (Helm, Anzug voll aufgeblasen, evtl. Rückenapparat, abzüglich der Luftverdrängung des Taucherkörpers) [l]

Die Werte für V_1 und V_2 sowie die daraus resultierenden zulässigen Grenztiefen für gefahrloses Hochtreiben in Abhängigkeit von der Anzuggröße sind in der Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4

Zulässige Grenztiefe für gefahrloses Hochtreiben

	V_1 [l]	V_2 [l] Anzug norm.	h_1 [m]	V_2 [l] Anzug groß	h_1 [m]
Schlauchtauch-gerät	70	113	9,4	122	10,8
Schlauchloses Tauchgerät DM 40	75	119	9,0	128	10,5

Aus der vorhergehenden Betrachtung, den Formeln und der Tabelle ist abzuleiten, daß die Grenztiefe h_1 um so größer wird, je größer der Taucheranzug, je kleiner das Rüstungsgewicht wird und je weniger Verdrängung der Körper des Tauchers hat.

Eine wichtige Rolle spielt auch die gute Dehnbarkeit und Reißfestigkeit des Anzugstoffes selbst.

Die Gummiarmmanschetten des Anzuges können die Aufgabe eines Sicherheitsventiles übernehmen; angenähte Handschuhe schließen diesen Effekt aus.

2.3. **Luftbedarf des Helmtauchers**

Bei dem Standard-Helmtauchgerät ist die Luftmenge, die dem Taucher zuzuführen ist, proportional der Arbeitsleistung und der Tauchtiefe.

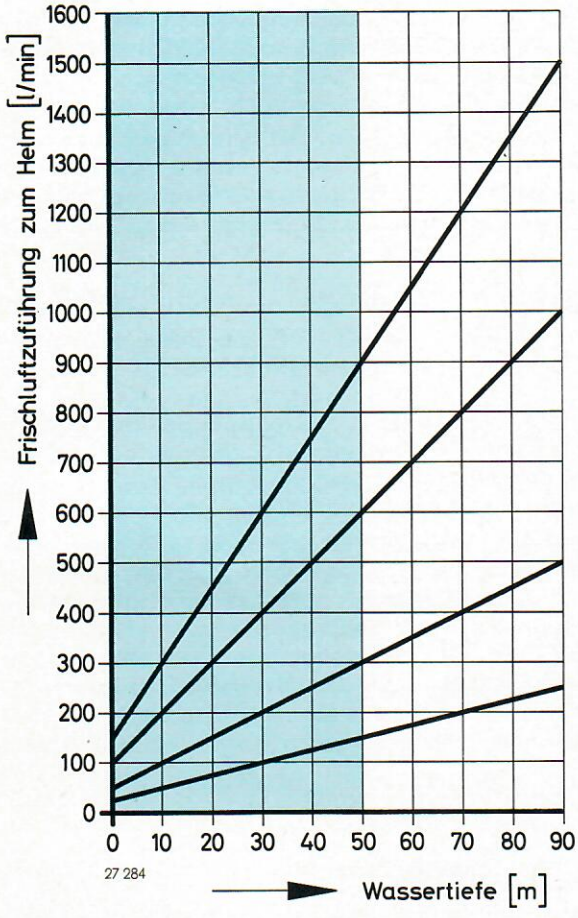
Bevor sich ein Sauerstoffmangel bemerkbar macht, tritt grundsätzlich erst eine Kohlensäureüberladung ein.

Mit steigender Arbeitsleistung steigt die Produktion von Kohlensäure an. Werte sind dem Kapitel G zu entnehmen. Der Kohlensäuregehalt ist, über sehr kurze Zeiträume betrachtet, für die Berechnungen nicht konstant; über den Zustand der Helmluft genügt jedoch eine Mittelwertbetrachtung, die durch den Quotienten $c = b/l$ gegeben ist.

Darin bedeuten c der Kohlensäuregehalt der Helmluft in %, b die vom Taucher ausgeatmete Kohlensäure in l/min und l die zugeführte Frischluftmenge. Eine einfache Überlegung zeigt, daß es nicht möglich ist, den Helm so zu spülen, daß Kohlensäurewerte erhalten werden, die auch nur annähernd den in der freien Atmosphäre vorkommenden Wert erreichen. Im allgemeinen begnügt man sich in der Praxis damit, den Kohlensäurepartialdruck in der Helmluft nicht über 0,02 ata ansteigen zu lassen, wobei selbstverständlich niedrigere Werte anzustreben sind.

Da der Druck der Tauchtiefe bei gleichbleibender CO_2-Produktion direkt proportional in die Berechnung des Kohlensäurepartialdruckes eingeht, sind für zunehmende Tauchtiefen zunehmende Frischluftspülmengen erforderlich.

Das Bild 5 zeigt den Luftbedarf des Helmtauchers während verschiedener Arbeitsleistungen bei einem zulässigen CO_2-Partialdruck im Helm von 0,02 ata.



Schwerstarbeit
b = 3 l/min CO_2
Befreiungsarbeit aus Tauwerk, tiefem Schlick und dergleichen, schwere und schnelle Arbeit bei Gefahr

Schwerarbeit
b = 2 l/min CO_2
Suchen im Schlick, Handhaben schwerer Ketten, Trossen oder Werkzeuge, Dauerarbeit: Sägen, Bohren, Kratzen und dergleichen, starke Strömung

Mittlere bis leichte Arbeit
b = 1 l/min CO_2
Gehen auf festem Boden, Handhabung von Tauwerk oder kleinem Werkzeug, geringe Strömung

Ruhe
b = 0,5 l/min CO_2
Beobachtung, Erholungspausen, Aufstieg, keine Strömung

Bild 5 Helmtaucher-Luftbedarf während verschiedener Arbeitsleistungen bei einem zulässigen CO_2-Partialdruck von 0,02 ata in Abhängigkeit von der Wassertiefe (0—90 m)

Die Auslegung des Diagrammes bis zu einer Tauchtiefe von 90 m besagt nicht, daß es sich hier um normale Arbeitstiefen handelt, vielmehr sollte — in Übereinstimmung mit Kapitel G die maximale Tauchtiefe bei der Verwendung von Luft atmosphärischer Zusammensetzung für normale Arbeiten 50 m nicht überschritten werden. (Teilweise werden auch 60 m als noch bedingt zulässig erachtet.)

3. Versorgungssysteme der Helmtauchgeräte

Die Versorgung des Helm-Anzugraumes mit einem atembaren Gasgemisch kann auf zwei grundsätzlich verschiedene Arten erfolgen. Das bekanntere System ist die Frischluftversorgung über einen Luftzuführungsschlauch. Dabei ist der Taucher natürlich in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt, aber in bezug auf seine Einsatzzeit nur geringen Beschränkungen unterworfen.
Führt der Taucher dagegen das nötige Frischgas in einem Rückengerät selbst mit, kann er notfalls völlig unabhängig von der Oberfläche operieren. Der be-

schränkte Gasvorrat setzt hier jedoch der Einsatzzeit Grenzen; der mögliche Gasmischungsaufbau und die begrenzte Möglichkeit, den CO_2-Partialdruck genügend niedrig zu halten, beschränken die maximale Tauchtiefe.

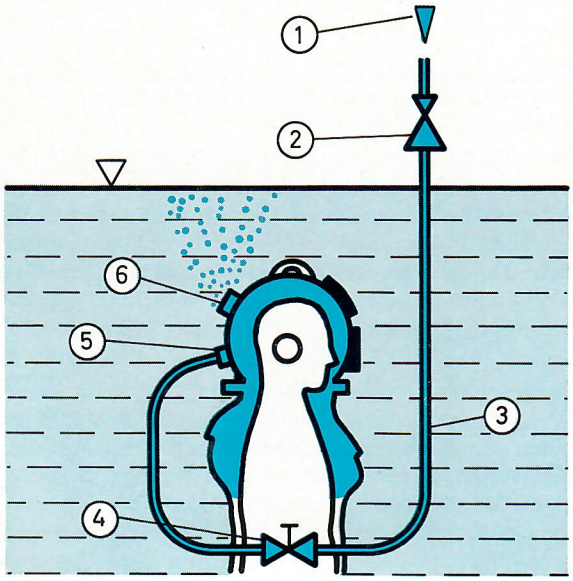
Beide Versorgungssysteme haben Vor- und Nachteile. Tatsache ist, daß die schlauchversorgten Geräte die weitaus größere Verbreitung gegenüber den Geräten mit Rückenapparaten gefunden haben. Möglicherweise gaben hier die kaum zu übertreffende Einfachheit, die Robustheit, die Betriebssicherheit und der äußerst geringe Wartungsaufwand den Ausschlag für das schlauchversorgte Helmtauchgerät.

3.1. **Frischgaszusatz-Versorgungssysteme, manuell, automatisch, unabhängig**

Heutzutage wird die Luftversorgung von Helmtauchern kaum mehr mit Handpumpen vorgenommen; diese dient dann, wenn überhaupt vorhanden, nur noch zur Notversorgung.

Vielmehr steht im Normalfall dem Taucher der Luftvorrat einer Speicher-Batterie oder bei Niederdruckanlagen die von einem Kompressor geförderte Luft direkt zur Verfügung. Entsprechend dem Diagramm nach Bild 5 ist nun die Luftmenge in Abhängigkeit von der Tauchtiefe und der vom Taucher erbrachten Arbeitsleistung zu regeln.

Im einfachsten Fall geschieht dies über ein Regelventil, das der Taucher in Brusthöhe trägt. Der Taucher stellt rein gefühlsmäßig die Luftmenge ein, die er für erforderlich hält. Diese Methode ist mit Sicherheit unwirtschaftlich und teilweise auch unsicher. Der gefürchtete Tauchersturz kann bei diesem Versorgungssystem nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden, da es von der Reaktionsfähigkeit und Möglichkeit des Tauchers abhängt, ob er durch schnelles Öffnen des Ventiles für rechtzeitigen Luftnachschub sorgt. Das Bild 6 zeigt dieses Versorgungssystem.



27 285

Bild 6

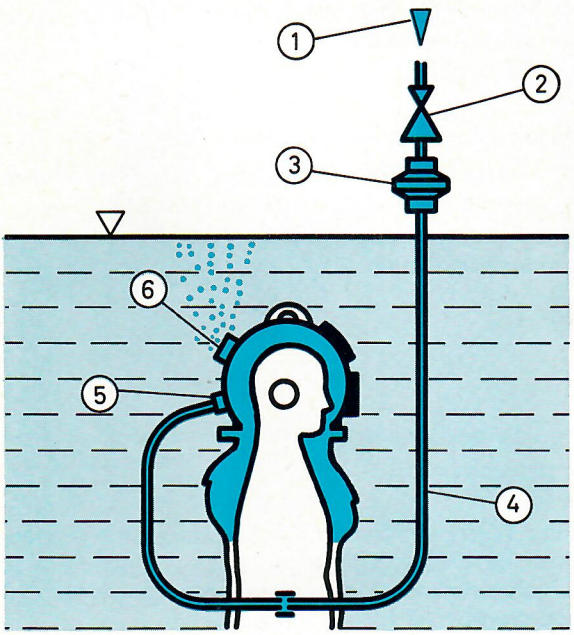
Schlauchversorgtes Helmtauchgerät, Frischgaszusatz manuell geregelt

1 Luftversorgung
2 Druckminderer
3 Luftzuführungsschlauch
4 Regelventil, manuell vom Taucher betätigt
5 Helmanschluß
6 Luftauslaßventil

Wird der manuelle Gaszusatz durch ein automatisches Zuluft-Regelventil ersetzt, werden die nachteiligen Folgen ausnahmslos vermieden. Der Taucherautomat (nähere Beschreibung im Band II unter „Versorgungseinrichtungen") ist dabei über Wasser in die Zuführungsleitung eingebaut. Je nach Arbeitsleistung können genau definierte Frischluftmengen eingestellt und dem Taucher zugeführt werden.

Die erforderliche Tiefenanpassung der zugeführten Gasmenge geschieht zudem automatisch, so daß damit auch zwangsläufig der Tauchersturz vermieden wird. Dieses Versorgungssystem für schlauchversorgte Helmtauchgeräte ist zweifellos, was die Sicherheit betrifft, nicht zu überbieten und gewährleistet darüber hinaus in bezug auf den Gasverbrauch große Wirtschaftlichkeit. Deshalb überrascht auch nicht die Zunahme der Anwendungsfälle dieses Systems. Die prinzipielle Anordnung zeigt das Bild 7.

Eine Unabhängigkeit von der Oberfläche erreicht der Helmtaucher — zumindest theoretisch —, wenn seine Gasversorgung über einen Rückenapparat erfolgt. Diese sogenannten schlauchlosen Helmtaucher führen den erforderlichen Gasvorrat in Hochdruckflaschen mit sich; zum Entfernen der Kohlensäure ist ein Zirkulationssystem eingebaut. Die Gasumwälzung geschieht dabei meistens über einen druckgasgespeisten Injektor; es wurden jedoch auch schon Vorschläge gemacht, die erforderliche Umwälzung über elektrisch betriebene Lüfter vorzunehmen. Das Bild 8 zeigt dieses Versorgungssystem. Um einem gefährlichen Tauchersturz begegnen zu können, muß hier allerdings die Möglichkeit eines zusätzlichen schnellen Gaszusatzes bestehen. Eine gute Lösung findet man durch ein preßluftgefülltes Brustgewicht.



27 286

Bild 7

Schlauchversorgtes Helmtauchgerät, Frischgaszusatz automatisch durch Taucherautomaten geregelt

1 Luftversorgung
2 Druckminderer
3 Taucherautomat
4 Luftzuführungsschlauch
5 Helmanschluß
6 Luftauslaßventil

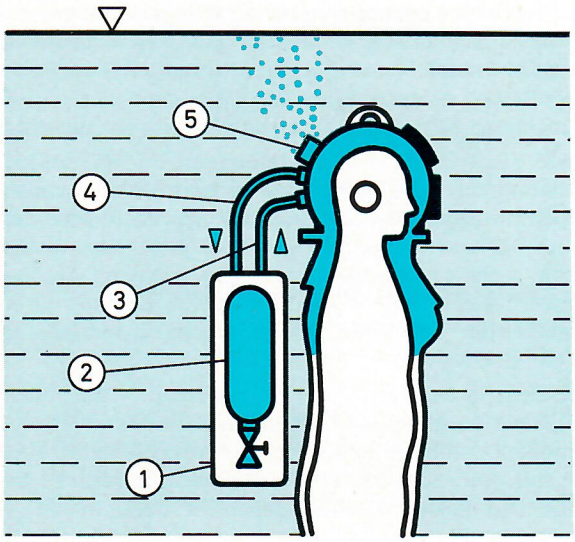


Bild 8

Schlauchloses Helmtauchgerät mit Rückenapparat

1 Rückenapparat
2 Druckgasflaschen
3 Zirkulationsschlauch — Gaszufuhr
4 Zirkulationsschlauch — Gasabfuhr
5 Luftauslaßventil

27 287

4. Standard-Helmtauchgeräte

In diesem Abschnitt werden nur einige Ausführungsarten von Helmtauchgeräten beschrieben; sie stehen stellvertretend für viele Varianten, die jedoch nur das Detail betreffen, im Prinzip aber gleich sind. Das Helmtauchgerät mit automatischem Luftzusatz wird vorrangig behandelt, da es gegenüber dem manuellen Luftzusatz stets bevorzugt werden sollte.

4.1. Standard-Helmtauchgerät mit automatischem Gaszusatz

In der gewerblichen Taucherei wird für schwere und langdauernde Arbeiten auch heute noch vielfach das schlauchversorgte Helmtauchgerät eingesetzt.

Außer der Luftversorgungsanlage mit dem automatischen Luftzufuhrregelventil (siehe Band II) besteht die Standardausrüstung aus:

Taucherhelm mit Schulterstück
Taucheranzug
Brustgewicht
Rückengewicht
Sitzgewicht
Taucherschuhen
Helmschlauch-Luftversorgungsschlauch
Gürtel mit Tauchermesser

Dazu kommen noch regelmäßig Taucherwollzeug und eine komplette Telefoneinrichtung. Das Bild 9 zeigt einen vollständig ausgerüsteten Helmtaucher in Vorder- und Rückansicht. Aufgabenstellung und Ausführungsform für die einzelnen Ausrüstungsgegenstände werden nachfolgend beschrieben.

4.1.1. **Helm mit Schulterstück**

Wohl das wichtigste Bauelement eines schlauchversorgten Helmtauchgerätes ist der Taucherhelm mit Schulterstück. Der Taucherhelm, aus kugelförmig verformtem Kupferblech hergestellt, umschließt Kopf und Hals des Tauchers vollständig und dient als Träger vieler Armaturen.

Mit dem Schulterstück ist der Taucherhelm durch drei Bolzen verbunden. In diese Verbindungslinie ist auch der Anzugkragen mit einbezogen. Bei der Beschreibung der Helmtieftauchgeräte wird auch das Zwölfbolzensystem angesprochen.

Eine gute Sicht für den Taucher wird durch den Einbau von vier Helmfenstern erreicht. Das Vorderfenster hat dabei den größten Durchmesser und ist ausschraubbar.

Die beiden Seitenfenster und das obere Fenster sind gleich groß, aber kleiner als das Vorderfenster. Das obere Fenster ist durch ein Schutzkreuz gegen mechanische Beschädigungen gut geschützt. Als Sichtscheibenmaterial wird mehrschichtiges Sicherheitsglas verwendet, das auch bei einem Bruch nicht undicht wird.

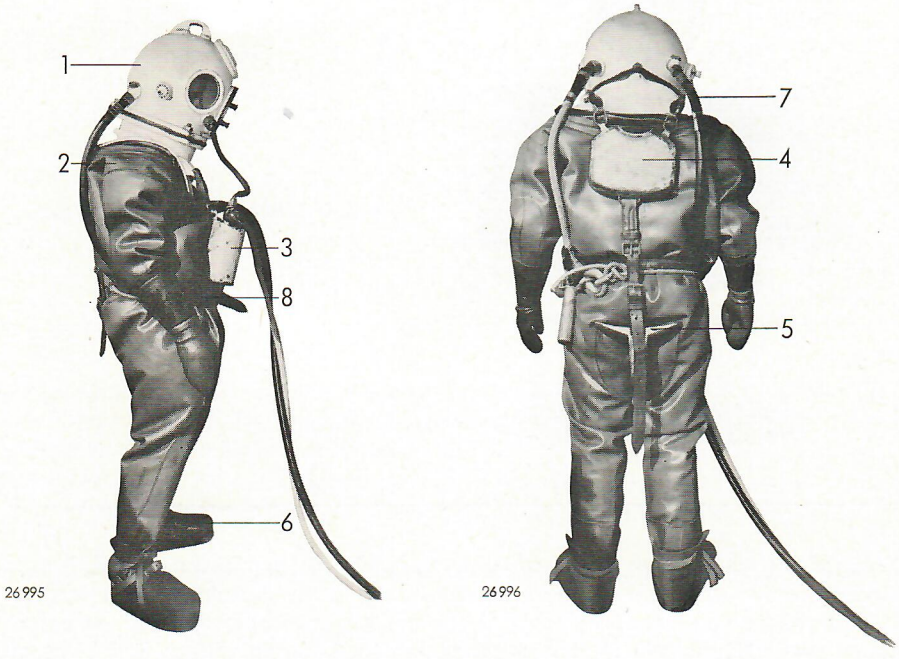
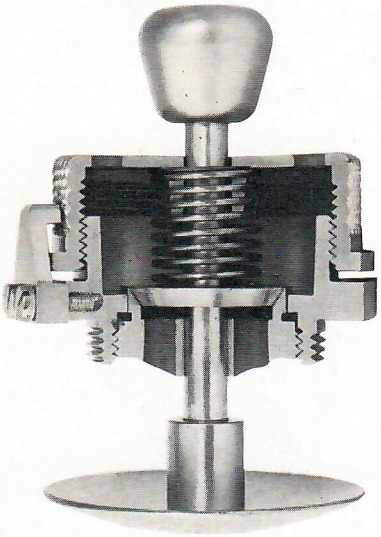


Bild 9 Taucher mit Standard-Helmtaucherausrüstung, schlauchversorgt

1 Taucherhelm mit Schulterstück
2 Taucheranzug
3 Brustgewicht mit Preßluftflaschen und Verbindungsschlauch
4 Rückengewicht
5 Sitzgewicht
6 Taucherschuhe
7 Helmschlauch-Luftversorgungsschlauch
8 Tauchermesser mit Gürtel

Der Anschluß des Luftzuführungsschlauches erfolgt an einem Stutzen, der sich an der geschützten Auskragung der Helmrückseite befindet. In den Stutzen selbst ist ein Rückschlagventil eingebaut, um ein Leerlaufen der Luftblase beim Platzen des Luftzuführungsschlauches zu verhindern. Im Innern des Helmes führt von diesem Anschlußstutzen ein Kanal bis dicht vor das Vorderfenster und bewirkt durch den Frischluftstrom ein Klarhalten der Sichtscheibe. Diese Luftführung bezweckt natürlich auch noch, daß die frische, unverbrauchte Luft direkt vor die Atemorgane des Tauchers kommt.

Ein besonders wichtiges Bauelement des Helmes ist das Luftauslaßventil, das auf der rechten Helmseite so eingebaut ist, daß es der Taucher jederzeit und mühelos mit einer seitlichen Kopfbewegung erreichen kann (Bild 10). Dieses Ventil übernimmt die Aufgabe eines Überdruckventiles und entläßt normalerweise einen ständigen Luftstrom aus dem Helm. Der Anspringdruck ist ver-



27 288

Bild 10 Luftauslaßventil (Halbschnitt)

stellbar und kann durch eine Schraubkappe während des Tauchens leicht verändert werden. Mit Hilfe des Ventiles stellt der Taucher in Abhängigkeit von der Luftzufuhr die von ihm gewünschte Größe der Anzugluftblase ein und verändert damit zwangsläufig sein Auftriebsverhältnis. Das Diagramm nach Bild 11 zeigt die Widerstandskennlinie dieses Überdruckventiles in Abhängigkeit von der durchströmenden Luftmenge bei verschiedenen Schraubkappenstellungen unter Normaldruckbedingungen. Kann der Taucher unter besonders ungünstigen Bedingungen mit dem Kopf sein Helmventil nicht mehr öffnen, so ist dies von außen mit der Hand möglich, indem der Ventilteller über einen birnenförmigen Knopf angelüftet werden kann.

Ein weiterer Lufteinlaßstutzen befindet sich rechts neben dem Vorderfenster, dort wird der Verbindungsschlauch zum Preßluftbrustgewicht angeschlossen.

Auf der linken Helmrückseite ist noch die Eingangsverschraubung für das Telefonkabel in unmittelbarer Nähe der Helmtelefongarnitur angebracht. Nicht zu übersehen und auch von großem Nutzen ist die Firstöse. Sie schützt nicht nur den Helm von oben vor mechanischen Beschädigungen, sondern erlaubt auch ausgezeichnete Hilfestellung bei dem Anbordbringen eines Tauchers.

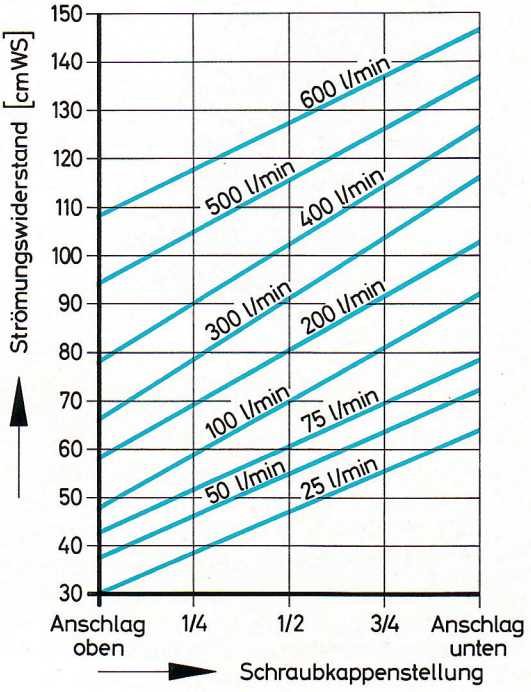


Bild 11

Strömungswiderstand eines Helm-Luftauslaßventils in Abhängigkeit von der Schraubkappenstellung und Luftmenge
Messung bei Normaldruck

Zusätzliche Ausrüstungsteile wie Zeituhr, Tiefenmanometer und Speihahn findet man heute am Taucherhelm kaum noch; sie haben geringen praktischen Nutzen und stellen einen unnötigen Ballast dar.

Von großer Wichtigkeit dagegen ist die richtige Ausstattung der Taucherhelme, die bei dem elektrischen Unterwasserschneiden und -schweißen Verwendung finden.

Langwierige Versuchsmessungen ergaben, daß folgende Maßnahmen zu treffen waren:

a) den Helm innen durch einen entsprechenden Anstrich zu isolieren (Berührungsschutz);
b) eine Außenisolation vorzusehen; dadurch wird das Durchbrennen des Helmes bei Berührung mit der Schneidelektrode vermieden; ebenfalls unterbunden wird ein eventuell möglicher elektrolytischer Abtrag vom Kupferblech;
c) gut isolierende Handschuhe zu verwenden;
d) zum Schutz gegen ultrarote und ultraviolette Strahlung ein abklappbares Blendschutzfenster, das sich ausgezeichnet bewährt hat, anzubringen.

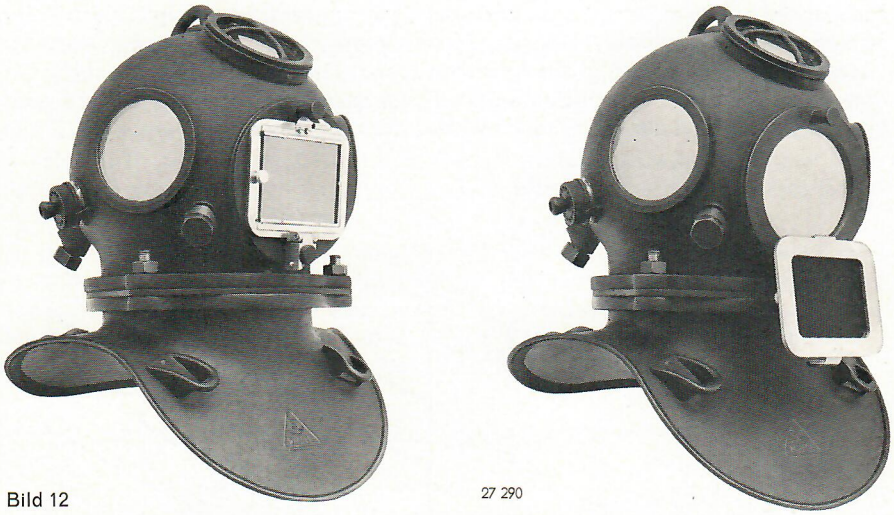


Bild 12 27 290

Vollständig isolierter Taucherhelm mit vorgesetztem und abgeklapptem Blendschutzfenster

Das Bild 12 zeigt einen vollständig isolierten Taucherhelm mit vorgesetztem und abgeklapptem Blendschutzfenster.

Die Form des Schulterstückes ist den Bildern zu entnehmen. Aufgabe dieses Geräteteiles ist es, den Helm in seine gewünschte Position zu bringen, und das Gewicht gleichmäßig auf die Schultern zu verteilen. Ösen an der Vorder- und Rückseite dienen zum Einhängen von Schulter- und Brustgewicht.

Der einfache Dreibolzenflansch besticht durch seinen unkomplizierten Aufbau und seine einwandfreie und problemlose Abdichtung. Nachteilig gegenüber einer Helm-Anzug-Verbindung mit beispielsweise Zwölfbolzenflansch ist lediglich der durch den relativ engen Kragen erschwerte Einstieg des Tauchers in den Anzug.

4.1.2. **Taucheranzug**

Der Helmtaucheranzug bietet nicht nur Schutz gegen Nässe, Kälte und Verletzungen des Tauchers, sondern ist in seinem oberen Teil als Gegenlunge in die Atemtechnik aktiv mit einbezogen. Durch die veränderliche Größe der Luftblase können außerdem die Auftriebsverhältnisse variiert werden. Helmtaucheranzüge sind deshalb vor allen Dingen im Oberteil nicht so eng geschnitten wie beispielsweise Schwimmtaucheranzüge.

Für den Einstieg des Tauchers ist in die Schulterpartie ein hochdehnbarer Kragen aus Gummi eingesetzt; trotzdem werden 3—4 Personen benötigt, um den Taucher anzuziehen.

Die Abdichtung am Handgelenk erfolgt durch sogenannte Gummiarmmanschetten, die es mit verschiedenen Durchmessern gibt. An die Ärmel angearbeitete Handschuhe sind verhältnismäßig selten, die überdruckventilartige Wirkung der Armmanschetten geht dabei verloren.

Als Anzugmaterial wird meistens ein sehr starker Baumwollköper mit Gummizwischenlage verwendet. Alle stark beanspruchten Stellen wie Ellbogen, Schritt, Knie und Füßling sind doppelt.

In Anpassung an die Zwölfbolzenhelme findet man im Ausland verhältnismäßig viele Anzüge mit Zwölfbolzenkragen. Durch die große Öffnung ist der Taucher-einstieg sehr bequem. Die dichte Verbindung mit dem Schulterstück erfordert jedoch erheblich mehr Sorgfalt und Zeit gegenüber dem Dreibolzenkragen; darüber hinaus ist sie auch sehr aufwendig.

4.1.3. **Gewichte**

Das verhältnismäßig große Volumen des Taucherhelmes und das der Luftblase im Oberteil des Anzuges verursachen einen erheblichen Auftrieb, der durch das Gewicht des Taucherhelmes und des Schulterstückes allein nicht ausgeglichen werden kann. Um dem Taucher darüber hinaus noch eine genügende Standfestigkeit am Grund zu verleihen, sind zusätzliche Gewichte erforderlich.

Eine sehr günstige Gewichtsverteilung erreicht man aus der Anordnung nach Bild 13. Hier werden durch das Einfügen eines sogenannten **Sitzgewichtes** vor allem die Beine und deren Gelenke entlastet, wenn der Taucher gebückt arbeitet, da dieses unmittelbar unter der Luftblase wirksam wird. Die **Taucherschuhe** können nun entsprechend leichter werden.

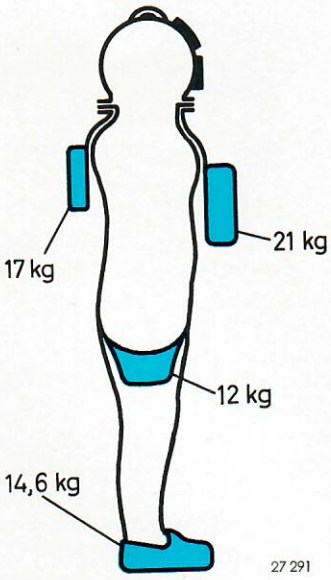


Bild 13

Gewichtsverteilung
bei einem
schlauchversorgten Helmtauchgerät

Besonders hervorzuheben ist das **Brustgewicht** (Bild 14), das in vorteilhafter Weise nicht nur den Gewichtsausgleich zu dem **Rückengewicht** bringt, sondern auch gleichzeitig zwei Preßluftflaschen aufnimmt. Dadurch ist dem Taucher die Möglichkeit gegeben, unabhängig von der Fremdluftzufuhr die Größe seiner Luftblase zu ändern und damit den Auftrieb beliebig zu regulieren. Dies ist besonders bei einer Unterbrechung der Luftzufuhr durch den Luftversorgungsschlauch wichtig. Die Brustgewichtsflaschen speichern bei einem Betriebsdruck von 200 kp/cm² 400 Nl Luft.

Brust- und Rückengewicht werden an den Schulterstückösen durch Karabinerhaken gehalten. Ein Schrittriemen nimmt das Sitzgewicht auf und verbindet gleichzeitig Brust- und Rückengewicht.

Alle Gewichte können schnell von der Taucherausrüstung getrennt werden. Das Sitzgewicht ist so befestigt, daß es vom Taucher alleine abgeworfen werden kann, wobei er erheblichen Auftrieb bekommt. Für den Taucher besteht jedoch keine Gefahr, mit den Beinen nach oben getrieben zu werden, da dies durch das Gewicht der Taucherschuhe verhindert wird.

Bild 14

Brustgewicht und Rückengewicht für ein Standard-Helmtauchgerät

4.1.4. **Taucherschuhe**

Somit ist es nicht falsch, die Taucherschuhe aus den Gewichten zuzuordnen, da sie nicht nur die Aufgaben des Fußschutzes haben, sondern auch zum Gewichtsausgleich dienen. Je nach der Verteilung der Gesamtgewichte sind die Taucherschuhe verschieden ausgeführt. Viele ausländische Produkte haben schwere Bleisohlen, die wiederum mit einer Hartholzsohle als Lauffläche versehen sind. Bei der Verwendung eines Sitzgewichtes kann, wie oben bereits erwähnt, das Schuhgewicht sehr stark reduziert werden; man spricht dann von „leichten" Taucherschuhen. Daß der Taucher, bei gleichem Gesamtgewicht, mit einer solchen Ausrüstung besser auf Grund gehen kann als mit den oft um ca. 12 kg schwereren Normalausführungen, liegt auf der Hand. Dies ist ein weiterer Grund für die Verwendung eines Sitzgewichtes.

Die „leichten" Taucherschuhe werden in einem Stück aus Gußeisen gegossen, haben keine extra Laufsohle und sind mit einer doppelten Lederberiemung gut am Fuß des Tauchers festzuschnallen.

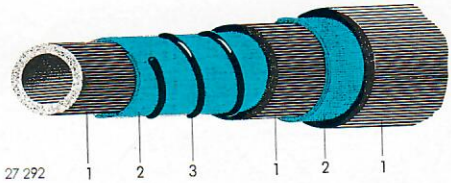
4.1.5. **Helmschlauch-Luftversorgungsschlauch**

Als „Nabelschnur" von der Wasseroberfläche zu dem Taucher stellt der Luftversorgungsschlauch ein äußerst wichtiges Bauelement dar. Von seiner Funktionstüchtigkeit kann unmittelbar das Leben des Tauchers abhängen.

Das Bild 15 zeigt den Aufbau eines Luftversorgungsschlauches. Wichtigste Festigkeitsträger, die ein Platzen vermeiden, sind die doppelten Leineneinlagen; eine eingebettete Stahldrahtwendel verhindert wirkungsvoll das Abquetschen und Abknicken.

Bild 15
Aufbau eines Luftversorgungsschlauches

1 Gummilagen
2 Leinenlagen
3 Stahldrahtwendel



Je nach Arbeitsaufgabe werden Schläuche mit Untertrieb oder Auftrieb oder aber eine Kombination beider Sorten verwendet. Starke Strömung verlangt dagegen den Einsatz von schweren Schläuchen. Mit Hilfe von entsprechenden Kupplungsstücken können die normalerweise 15 m langen Schläuche zu größeren Längen zusammengesetzt werden.

Vielfach befindet sich zwischen dem Helm und dem eigentlichen Versorgungsschlauch ein sogenanntes Helmschlauchstück mit Winkeltülle. Dieser kurze Schlauch wird mittels einer Öse und eines kurzen Seilstückes am Taucher befestigt; außerdem zeichnet sich der Schlauch noch dadurch aus, daß er auf einer Länge von ca. 15 cm hinter den Kupplungsstücken keine Drahteinlage aufweist und dort im Notfalle vom Taucher leicht durchgeschnitten werden kann.

4.1.6. **Tauchermesser mit Gürtel**

Tauchermesser werden vom Taucher als Universalwerkzeug verwendet. Sie dienen zum Schneiden, Sägen, Stoßen und als Brecheisen. Die Klinge, aus nichtrostendem Stahl gefertigt, ist entsprechend kräftig ausgeführt. Ein Teil der Schneide wird mit Wellenschliff versehen, um vor allen Dingen Tauwerk gut schneiden zu können. Bei Nichtgebrauch wird das Messer in einer rohrförmigen Scheide getragen, die der Taucher an einem Ledergürtel um die Hüfte trägt.

4.2. **Standard-Helmtauchgerät mit manueller Luftversorgung**

Standard-Helmtauchgeräte mit manueller Regelung der Frischluftversorgung werden vornehmlich im englischen Einflußbereich und in den USA verwendet. Während die Ausrüstung des Tauchers die grundsätzlich glei-

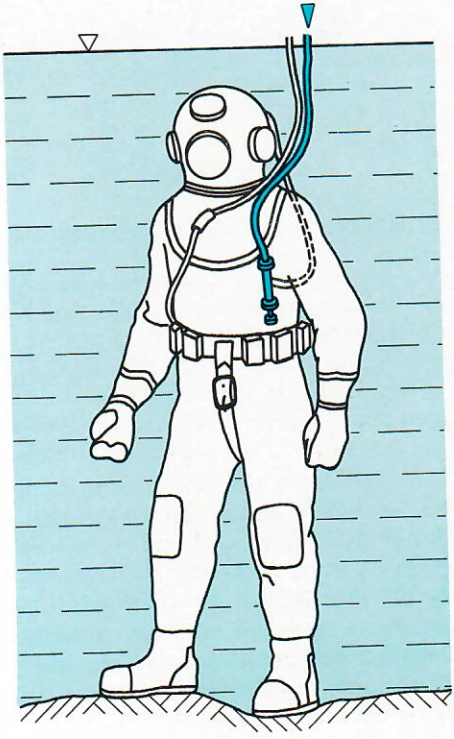


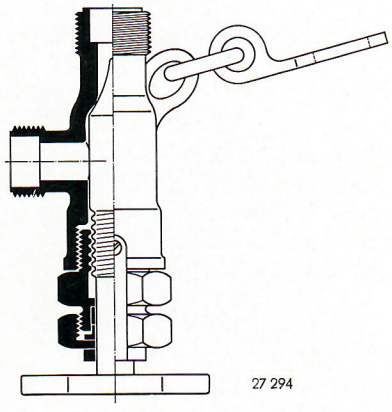
Bild 16 Anordnung des Zuluftregelventiles an einem Standard-Helmtauchgerät

chen Merkmale haben kann wie das unter 4.1 beschriebene Gerät, ist für die Regelung der Luftversorgung anstelle des Taucherautomaten ein handreguliertes Spindelventil in die Frischgaszuleitung eingesetzt. Das Ventil ist auf der linken Brust des Tauchers angeordnet, so daß es mit der rechten Hand leicht erreicht und betätigt werden kann (siehe Bild 16).

Von dem Ventil führt ein kurzer Schlauch zu dem Helmeinlaßstutzen.

Um eine gute Regulierbarkeit des Luftstromes zu erhalten, ist das Ventil als Nadelventil ausgeführt.

Die Konstruktionsmerkmale sind dem Bild 17 zu entnehmen. Der Druck im Luftzuführungsschlauch wird über einen an der Versorgungsschalttafel installierten Druckminderer so eingestellt, daß er etwa 6—7 kp/cm² über dem Umgebungsdruck des Tauchers liegt.



In der Austauchphase erfolgt aus Sicherheitsgründen eine Reduzierung auf ca. 3—4 kp/cm² über dem Umgebungswasserdruck. Über den entscheidenden Nachteil dieses Versorgungssystems wurde bereits im Abschnitt 3.1 berichtet.

Bild 17

Zuluft-Regelventil für Standard-Helmtauchgeräte (Halbschnitt)

5. Standard-Helmtieftauchgeräte

Vor der Einführung der leichten Mischgas-Schwimmtauchgeräte wurden nahezu alle Tieftaucharbeiten mit schlauchversorgten Standard-Helmtauchgeräten durchgeführt. Um den CO_2-Partialdruck bei diesem Versorgungsverfahren genügend niedrig zu halten, war es erforderlich, den Frischgaszufluß (Sauerstoff-Helium-Mischungen) auf ein unerträgliches Maß zu steigern. Aus diesem Grunde führte man zur Gaseinsparung Umwälzsysteme ein. In den USA wurde der Helium-Sauerstoff-Helm aus dem Standardhelm entwickelt.

Die Umwälzeinrichtung mit dem Behälter für die Aufnahme des CO_2-Absorptionsmaterials ist auf der Helmrückseite angebracht. Das Zusatzsystem zeigt das Bild 18. Wie ersichtlich ist, wird bei diesem Gerät über einen Injektor die Helmluft angesaugt und dann zusammen mit dem Frischgas über den CO_2-Absorptionsbehälter in den Helm zurückgeführt.

Bei Tauchtiefen über 60 m liegt der Versorgungsdruck ca. 7 kp/cm² über dem Umgebungsdruck des Tauchers, bei geringeren Tiefen reduziert sich dieser Druck auf ca. 3,5 kp/cm². Durch die Einführung dieses Umwälzsystems wird gegenüber dem völlig offenen System nur ca. $^1/_5$ der Frischgasmenge benötigt,

um einen genügend niedrigen CO_2-Partialdruck zu garantieren. Die richtige Einstellung der Gasmischung garantiert die zulässigen Sauerstoff-Partialdruckverhältnisse. Interessant bei dem CO_2-Absorptionsbehälter ist der Einbau eines Leitbleches, das eine Kanalbildung — und damit einen unzulässigen CO_2-

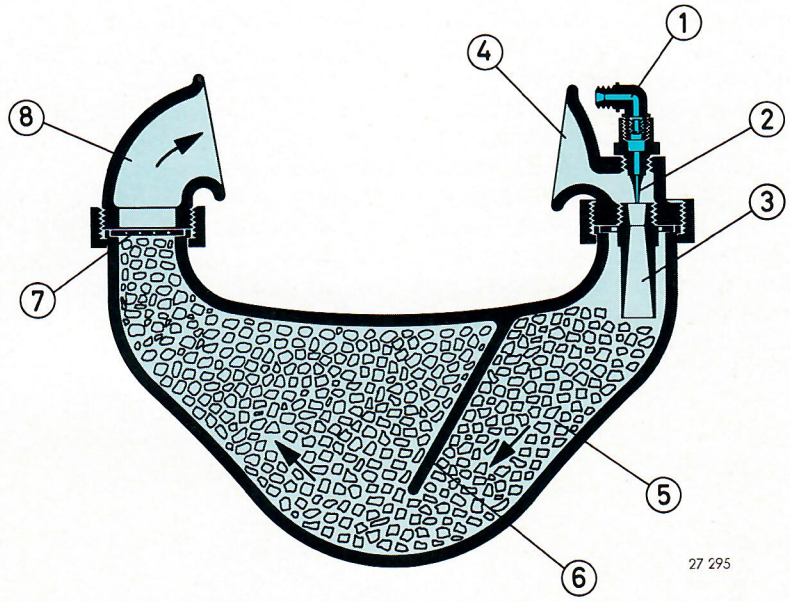


Bild 18 Injektor und CO_2-Absorptionsbehälter für Helmtieftauchgeräte

1 Sauerstoff-Helium-Versorgung
2 Dosierungsdüse
3 Injektor
4 Sauganschluß am Helm
5 CO_2-Absorptionsbehälter
6 Leitblech
7 Sieb
8 Ausblasstutzen zum Helm

Anstieg — wirksam verhindert. Die Atemkalkmenge reicht normalerweise für einen Tauchgang von 3 Stunden aus, hat aber noch eine genügende Reserve. Eine besondere Luftauslaßventilanordnung erlaubt, daß sowohl im offenen als auch im halbgeschlossenen Kreislauf gearbeitet werden kann.

Bei einer englischen Ausführungsform sind die CO_2-Absorptionseinrichtungen und der Injektor in einem Rückenapparat untergebracht. Helmtieftauchgeräte beider Ausführungen dürften in naher Zukunft von modernen Ausrüstungen abgelöst werden.

6. Unabhängiges Mischgas-Helmtauchgerät

Es sind eine Reihe von Einsatzmöglichkeiten für Helmtauchgeräte dort denkbar, wo eine Schlauchversorgung gegenüber einem unabhängigen Gerät Nachteile hat. Nicht nur, daß der Luftzuführungsschlauch abgequetscht oder abgeknickt werden kann und dadurch zu einer Gefahrenquelle wird, auch bei starker Strömung bietet er einen erheblichen Widerstand, so daß das Tauchen mit diesen Geräten unmöglich wird.

Diese Gründe veranlaßten die Konstrukteure von Tauchgeräten schon sehr frühzeitig zur Entwicklung von unabhängigen Helmtauchgeräten. Eines der bekanntesten, auch heute noch vielfach eingesetzten unabhängigen Helmtauchgeräte ist die nachfolgend beschriebene Konstruktion. Es handelt sich dabei um ein Mischgasgerät mit selbsttätiger Gasmischung, das in der vorliegenden Form bis zu einer Wassertiefe von 40 m eingesetzt werden kann.

Hier ist nur der Rückenapparat von Interesse, da sich die übrige, im Abschnitt 4.1 beschriebene Ausrüstung vom Helmtauchgerät nicht unterscheidet. Der Taucherhelm ist allerdings insofern abgeändert, als auf der Rückseite zwei zusätzliche Stutzen eingeführt sind, die zum Anschluß der Zirkulationsschläuche dienen. Ferner wird das Rückengewicht durch den Rückenapparat ersetzt.

Das Bild 19 zeigt die Rückansicht eines Helmtauchers mit komplettem Rückenapparat. Im Mittelteil ist im Patronenkasten die CO_2-Absorptionspatrone eingesetzt, während das Unterteil den Druckminderer und die Injektoreinrichtung für die Gasumwälzung aufnimmt. Links und rechts am Gerät je eine Sauerstoff- und eine Preßluftflasche gleichen Inhalts. Die Verbindung zum Helm erfolgt über zwei kurze, gut armierte Faltenschläuche. Am Schulterstück wird der Gesamtapparat ebenso wie das Brustgewicht durch zwei Karabinerhaken befestigt.

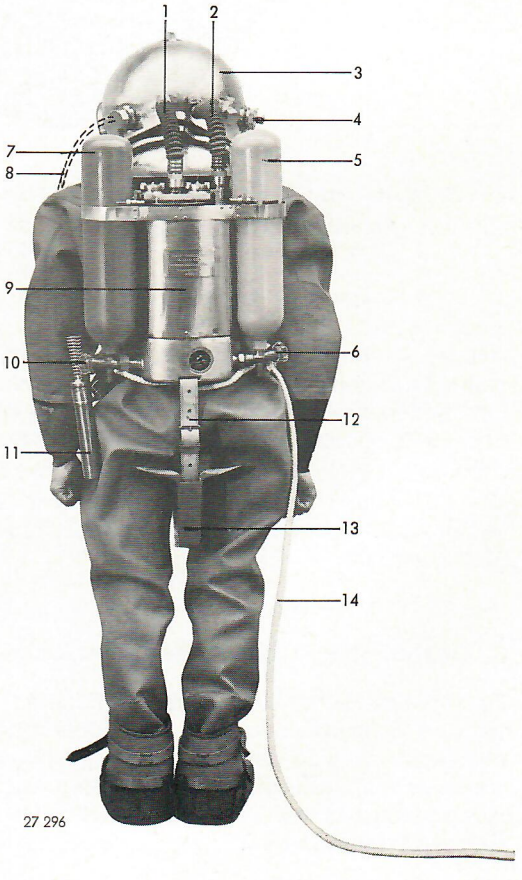


Bild 19

Unabhängiges Mischgas-Helmtauchgerät Modell DM 40, Rückansicht

1 Zirkulationsschlauch A
2 Zirkulationsschlauch E
3 Helm
4 Luftauslaßventil
5 Preßluftflasche
6 Verschlußventil der Druckluftflasche
7 Sauerstoffflasche
8 Telefonkabel
9 Patronenkasten
10 Verschlußventil der Sauerstoffflasche
11 Tauchermesser
12 Schrittriemen für Sitzgewicht
13 Sitzgewicht
14 Signalleine

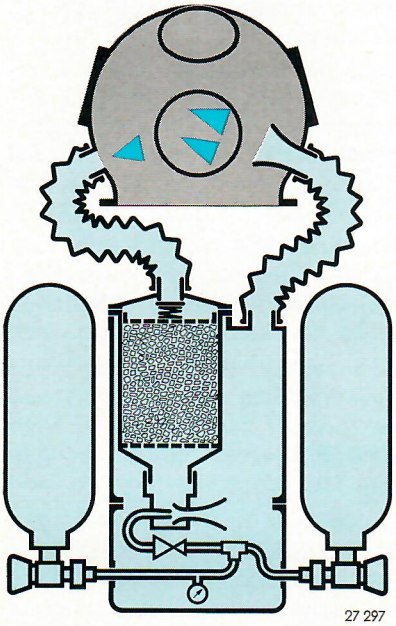


Bild 20 Wirkungsweise des unabhängigen Mischgas-Helmtauchgerätes

Die Wirkungsweise ist im Bild 20 schematisiert. Davon ausgehend, daß der Taucher in seiner abgeschlossenen Ausrüstung so frei atmen soll wie im Freien, ist dafür zu sorgen, daß der vom Taucher verbrauchte Sauerstoff automatisch ersetzt wird und daß gleichzeitig die erzeugte Kohlensäure auf wirkungsvolle Weise aus der Atemluft entfernt wird. Beide Aufgaben werden im Rückenapparat gelöst.

Der verbrauchte Sauerstoff wird durch den dauernden Zusatz von Frischgas in Form von Sauerstoff und Luft ersetzt. Dabei entleeren sich beide Flaschen gleichmäßig, und es entsteht bei gleichgroßen Flaschen ein konstantes Gemisch von 60,5 % O_2 und 39,5 % N_2. Dieses Gasgemisch wird in einem einstufigen Druckminderer auf etwa 10 atü reduziert. Da die Membran des Druckminderers vom umgebenden Wasserdruck beaufschlagt wird, addiert sich der Wasserdruck zum eingestellten Normal-Betriebsdruck. Auf diese Weise wird erreicht, daß sich mit zunehmender Wassertiefe die Treibgasmenge erhöht. Das Bild 21 zeigt graphisch diese Frischgaszuflußänderung.

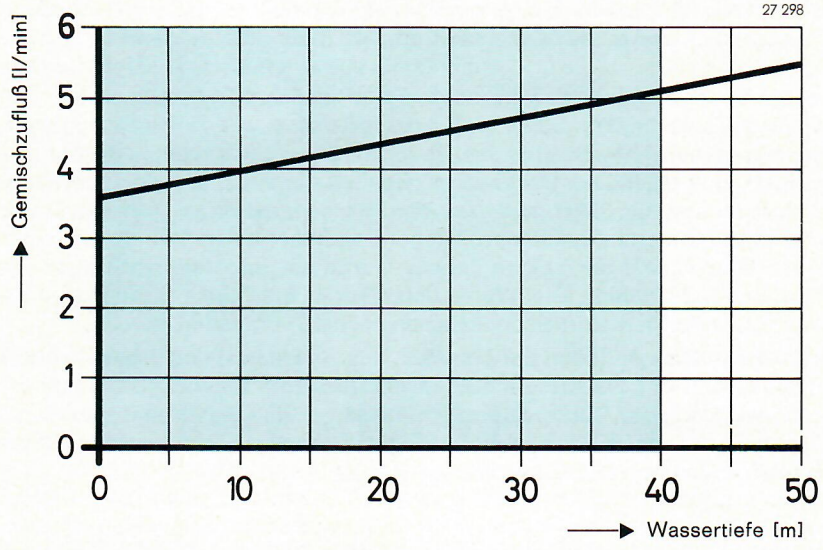


Bild 21 Änderung des Frischgaszuflusses bei dem unabhängigen Mischgas-Helmtauchgerät Modell DM 40 in Abhängigkeit von der Wassertiefe

Vom Druckminderer strömt das Gas zur Injektordüse und von dort über das Venturirohr in den Behälterraum des Patronenkastens.

Der Saugraum des Venturirohres ist seinerseits mit der Austrittseite der Absorptionspatrone verbunden, womit die Strömungsverhältnisse im Rückenapparat klar vorgegeben sind. Bei einer Treibgasmenge von 3,6 l/min ergibt sich in Meereshöhe eine Luftzirkulation von ca. 100 l/min. Ein Überdruckventil und ein Manometer zur Flaschendruckanzeige vervollständigen die Armaturen des Patronenkastens.

Die auswechselbare Kalkwiederfüllpatrone wird von oben in den Kasten eingesetzt und mit einem großen Deckel verschlossen. Zu- und Abfluß von Helm- und Rückenapparat erfolgen durch kurze Faltenschläuche. Die Gasverhältnisse in bezug auf den prozentualen Sauerstoffanteil im Atemkreislauf sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 5

Sauerstoffgehalt in % im Modell DM 40 in Abhängigkeit von Tauchzeit u. Tiefe

	nach einer Tauchzeit in Minuten									
Tiefe	0	10	20	30	50	70	90	120	150	180
0 m	21	28,5	33	36	38	39	39,5	40	40	40
10 m	21	27	31	34,5	38	39	40	42	42	42
20 m	21	26	30	33	37	39	40	42	42	43
30 m	21	26	30	33	37	40	42	43	43	45
40 m	21	26	29,5	33	37	40	42	44	45	46
50 m	21	25,5	29,5	32,5	37	40,5	42	44	45	46

Hierbei ist beachtenswert, daß in jedem Falle zunächst 21 % Sauerstoff vorliegen; dies ist darin begründet, daß alle Lufträume wie Helm, Anzugblase, Rückenapparat usw. bei Beginn des Tauchens mit Luft atmosphärischer Zusammensetzung gefüllt sind. Der Sauerstoffgehalt der zirkulierenden Luftmenge baut sich dann erst allmählich auf. Weil der Frischgaszusatz in größeren Tiefen ansteigt, ist der Sauerstoffanteil nach einiger Zeit höher als in geringeren Tauchtiefen. Bei Berechnung der obigen Tabelle wurde ein Sauerstoffverbrauch von 1,2 l/min zugrunde gelegt. Die Werte unter der blauen Linie bedeuten einen zu hohen Sauerstoffpartialdruck und müssen deshalb vermieden werden.

Durch gelegentliches Auffüllen der Luftblase aus dem Vorrat des Brustgewichtes mit Luft läßt sich der Sauerstoffanteil in der Atemluft zeitweilig herabsetzen. Mit der Entwicklung der Rückenapparate für das unabhängige Helmtauchen und der Zusatzausrüstungen für Helmtieftauchgeräte ist der Systemaufbau dieses Gerätezweiges offensichtlich beendet.

D. Tieftauchgeräte

1. Allgemeines

Die Tieftauchtechnik wird in den kommenden Jahren noch erheblich an Bedeutung gewinnen.

Die begonnene Erforschung und Nutzung des Kontinentalplateaus wird sehr wahrscheinlich nur ein Teil eines weit größeren Forschungs- und Nutzungsplanes sein.

Innerhalb dieses ersten klar abgegrenzten Bereiches gilt es, Wassertiefen von 200 — 300 m sicher zu beherrschen.

Viele der gestellten Aufgaben werden durch Unterwasserfahrzeuge gelöst werden können, die es heute schon in zahlreichen Varianten und für verschiedene Tauchtiefen gibt. Trotzdem wird es bei weiterer Verfeinerung der Arbeitsmethoden der Unterwasserfahrzeuge nicht zu umgehen sein, daß frei tauchende Menschen für viele Aufgaben immer wieder eingesetzt werden müssen.

Zur Unterstützung und Sicherung dieser Taucher ist mit einem erheblichen Materialeinsatz zu rechnen.

Während beim Flachwassertauchen bis 50 m Tiefe der Taucher von der Oberfläche aus frei absteigt oder mit einem Podest an seine Arbeitsstelle gebracht wird, ist bei Tieftauchgängen diese Form des Abtauchens nicht angebracht. Die Tieftauchmethode und die zu stellenden hohen Sicherheitsforderungen machen das freie Abtauchen praktisch unmöglich. Daher wird der Tieftaucher heute meistens in einer Tauchkammer in die allernächste Nähe seines Arbeitsortes gebracht; die Tauchkammer ist für ihn außerdem ein schnell erreichbarer, sicherer Zufluchtsort.

Weitere Möglichkeiten zum Erreichen des Arbeitsortes sind, daß der Tieftaucher aus einem Unterwasserfahrzeug aussteigt und nach vollendeter Arbeit in dieses wieder zurückkehrt, oder aber, daß die Tauchgänge von einem Unterwasserlabor oder einem Unterwasserhaus aus stattfinden.

Die Technik des Tauchens wird jedoch bei all diesen Einsätzen nicht sehr unterschiedlich sein. Innerhalb dieses Kapitels werden daher zunächst die Tauchgeräte besprochen und dazu ergänzend werden im Band II komplette Tieftauchanlagen — bestehend aus: Tauchkammer, Deckdekompressionskammer mit Windenanlage und Versorgungseinrichtungen — behandelt.

2. Tieftauchgerätesysteme

Atemphysiologische Gründe, die in diesem Zusammenhang nicht näher erläutert werden, erfordern für das Tieftauchen die Verwendung von Gasgemischen. Heute werden hauptsächlich Sauerstoff-Helium- oder Sauerstoff-Helium-Stickstoff-Gasgemische verwendet. Der Sauerstoff- und auch der Stickstoffanteil ist wegen der einzuhaltenden Grenzpartialdrücke für diese Gase relativ gering, so daß den Hauptanteil des Gasgemisches Helium stellt. Durchschnittlich kann man mit einem Heliumanteil von 80—90 % rechnen. Da auch unter Ausnutzung der günstigsten Bezugsquellen immer noch mit einem Preis von ca. 20,— DM für 1 Nm^3 Helium gerechnet werden muß, scheiden Geräte ohne Gasrückgewinnung

(offenes Atemsystem) aus dem Betrachtungskreis aus, obwohl gerade die Geräte dieses System sich infolge ihres sehr einfachen Aufbaues durch stete Einsatzbereitschaft und geringe Störanfälligkeit auszeichnen. Der Gasverbrauch ist bei diesen Geräten so hoch, daß eine Autonomie bei einer diskutablen Gerätegröße und Einsatzzeit nicht zu realisieren ist. Der Gasverbrauch liegt beispielsweise in einer Tiefe von 150 m und einem Atemminutenvolumen an der Oberfläche von angenommen 30 Litern bei 480 l/min. Dieser enorme Gasverbrauch läßt selbst ein schlauchversorgtes offenes System ohne jede Gasrückgewinnung nur unter ganz bestimmten Bedingungen noch vertretbar erscheinen.

Als einzige Ausnahme kommen nur Rettungsgeräte mit einem Lungenautomaten und einer Vorratsflasche in Betracht, die der mit einem Kreislaufgerät arbeitende Taucher als sofort greifbare Notversorgung für wenige Minuten bei sich hat.

Diese Geräte unterscheiden sich von den Preßluftatmern nur wenig und brauchen daher nicht näher beschrieben zu werden.

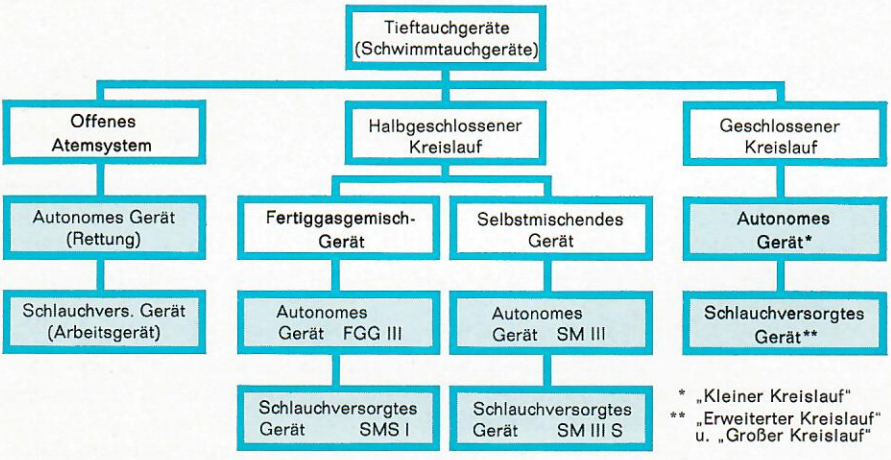


Bild 1 Stammbaum der Tieftauchgerätesysteme

Einen vergleichsweise wirtschaftlicheren Gasverbrauch hat man dagegen bei Tauchgeräten, die mit **halbgeschlossenem** Kreislauf arbeiten.

Bei diesen Geräten wird in den Kreislauf beispielsweise ein Sauerstoff-Helium-Gemisch eingespeist, das in der Zusammensetzung und Menge so abgestimmt ist, daß im Einsatzbereich die zulässigen Sauerstoffpartialdrücke unabhängig vom wechselnden Sauerstoffverbrauch mit Sicherheit eingehalten werden.

Durch die teilweise Rückgewinnung des Atemgases bei gleichzeitiger CO_2-Absorption hält sich der Gasverbrauch in Grenzen und beträgt selbst in Tauchtiefen von 200 m selten mehr als 50 Nl/min Gasgemisch.

Die Gasversorgung bei dem halbgeschlossenen Kreislauf kann grundsätzlich durch fertiges Gasgemisch oder durch eine selbstmischende Automatik erfolgen. Geräte mit Mischautomatik sind zwar vom wissenschaftlich-technischen Standpunkt aus gesehen äußerst interessant, aber im Aufbau so kompliziert, daß der

Einsatz in der Praxis zumindest sehr genau geprüft werden muß. Bei der Verarbeitung von zwei getrennten Gaskomponenten ist nicht nur die richtige Mischungsherstellung ein verhältnismäßig komplizierter Vorgang, sondern auch die unbedingt erforderliche Überwachungseinrichtung muß mit der nötigen Präzision und Wartungsfreiheit arbeiten. Erheblich einfacher ist dagegen der Aufbau von Geräten, die mit fertig gemischtem Gas versorgt werden. Mit einer festen Dosierung können zwar immer nur ganz bestimmte Tiefenbereiche überdeckt werden, die aber so groß sind, daß sie — wie sich deutlich gezeigt hat — für die Praxis völlig ausreichen.

Tauchgeräte dieses Systems sind im Aufbau äußerst einfach; auch ist es vorteilhaft, daß nicht nur Gasgemische, die aus zwei verschiedenen Gasen bestehen, verarbeitet werden, sondern auch Gasgemische, die sich aus etlichen einzelnen Gasen zusammensetzen.

Diese Geräte werden seit einiger Zeit mit großem Erfolg unter den härtesten Bedingungen und mit einem Minimum an Wartungsaufwand eingesetzt. Je nach Aufgabenstellung und erforderlicher Tauchzeit kann die Gasversorgung aus den im Gerät mitgeführten Mischgasflaschen oder über eine Schlauchversorgung, z. B. von der Tauchkammer aus, erfolgen. Geräte mit Schlauchversorgung können in den Abmessungen sehr klein gehalten werden; sie behindern den Taucher wenig beim Aus- und Einsteigen in die Unterwasserzuflucht. Ob der begrenzte Aktionsradius dieser Geräte die Ausführung einer bestimmten Unterwasserarbeit behindert oder gar unmöglich macht, muß von Fall zu Fall geklärt werden. Soweit zur Zeit übersehbar ist, können diese Gerätetypen mit Erfolg bis zu einer Tauchtiefe von mindestens 200 m eingesetzt werden, wobei vor allem der Gasverbrauch entscheidend ist. Noch größere Tiefen sind Geräten des geschlossenen Kreislaufsystems vorbehalten.

Der völlig **geschlossene Kreislauf** bei Tauchgeräten ist das erstrebenswerte Tauchgerätesystem, da die Ausnutzung des Gasgemisches im Idealfall 100 %ig und somit verlustlos ist. Bei gleichzeitiger Konstanthaltung des Sauerstoffpartialdruckes, der über einen Sauerstoffsensor gemessen wird und der die Steuerung des Sauerstoffzusatzes bewirkt, werden zugleich die erwünschten atemphysiologischen Werte mühelos eingehalten. Leider sind solche Geräte — wie könnte es anders sein — in ihrem Aufbau verhältnismäßig kompliziert, und es bedarf noch erheblicher Entwicklungs- und Erprobungsarbeit, bis die unbedingt erforderliche völlige Sicherheit für den Taucher garantiert werden kann.

Das autonome Gerät mit geschlossenem Kreislauf, das diese Überwachungs- und Steuereinheit besitzt, ist heute durchaus schon Wirklichkeit. Eine große Verbreitung, vor allen Dingen in der gewerblichen Taucherei, haben Geräte dieses Systems jedoch noch nicht gefunden.

Günstiger ist es dagegen bei den Geräten, deren Gasversorgungsteil in einer Tauchkammer untergebracht ist. Dieser „Erweiterte Kreislauf" läßt sich besser überwachen und steuern; bezüglich der Baugröße brauchen keine allzu strengen Maßstäbe angelegt zu werden.

Diese Geräte werden, wenn es auf Autonomie nicht ankommt, sicher einmal in beträchtlichen Stückzahlen am gesamten Tieftauchgeräteaufkommen beteiligt sein.

Eine weitere Gruppe sind die Tieftauchgeräte, die an einen großen Gesamtkreislauf angeschlossen werden.

Bei dem Gesamtkreislauf einer solchen Anlage sind z. B. eine Abteilung der Deckdekompressionskammer (DDC) und die Tauchkammer während eines Tauchganges durch eine Leitung miteinander verbunden. Die Gasfüllung — für das Tieftauchen eine Sauerstoff-Stickstoff-Helium-Mischung — wird durch einen in der DDC installierten Kompressor zwischen diesen beiden Kammerräumen umgewälzt. Eine ebenfalls unter Druck stehende CO_2-Absorptionsanlage entfernt die anfallende Kohlensäure, und der verbrauchte Sauerstoff wird laufend ersetzt. Über eine noch näher zu beschreibende Armatur wird ein ausreichendes Druckgefälle für den Ein- und Ausatemschlauch zum Taucher geschaffen und der Taucher so in den „Großen Kreislauf" mit einbezogen.

In diesem Fall können die Überwachungs- und Steuergeräte für Sauerstoffpartialdruck und CO_2-Partialdruck sogar über Wasser und drucklos sein und große Volumina umgewälzt werden. Die Anpassung bei veränderlichen Druckbedingungen ist zwar relativ träge, jedoch ist die gesamte Überwachung gut durchzuführen und leicht zu steuern. Dieses System dürfte sich beim Sättigungstauchen ausgezeichnet bewähren.

Im Anschluß an diese allgemeinen Ausführungen zu den Gerätesystemen werden in den folgenden Abschnitten anhand von Gerätebeispielen Einzelheiten erläutert.

3. Tieftauchgeräte mit halbgeschlossenem Kreislauf – Fertiggasgemischgeräte

Der Einsatzbereich von Tieftauchgeräten mit halbgeschlossenem Kreislauf erstreckt sich, wie bereits angedeutet, auf Tauchtiefen zwischen 50 und 200 m. In diesem Tiefenbereich sind die Gasverbräuche noch wirtschaftlich. Bei einem anschließend noch näher beschriebenen Gerät mit Fertiggasversorgung, bei dem der ganze Tiefenbereich in drei Teilbereiche aufgeteilt ist, ergeben sich die aus Bild 2 ersichtlichen Sauerstoff-Partialdruckverhältnisse. Für die Grenzkurven ist dabei jeweils ein Sauerstoffverbrauch von 0,8 bzw. 3,0 l/min angenommen worden. Diese Sauerstoffverbräuche als Grenzwerte wurden durch wiederholte Versuche bestätigt und dürften alle in der Praxis in Frage kommenden Arbeits- und Ruheverbräuche sicher abdecken. Wesentlich ist, daß für kurzzeitiges Tauchen die 1,8-ata-Partialdruckgrenze nicht überschritten wird. Das Gemisch 0 mit einer Sauerstoff-Stickstoff-Zusammensetzung ist nur für das Tauchertraining von der Wasseroberfläche aus gedacht und wird normalerweise für Tauchereinsätze nicht verwendet. Von Bedeutung ist auch noch, daß mit den vorgesehenen Gemischen und Dosierungen in allen Fällen auf eine sichere Lufttauchtiefe zurückgetaucht werden kann, ohne die untere Sauerstoff-Partialdruckgrenze von 0,2 ata zu unterschreiten. Für die Berechnung von Austauchtabellen ist es allerdings besser, Genaueres über den durchschnittlichen Sauerstoffpartialdruck im Atemgas zu wissen. Ohne eine direkte Messung des Sauerstoffpartialdruckes ist diese Feststellung bei diesem Gerätesystem jedoch nicht möglich. Es hat sich aber gezeigt, daß mit Sicherheit mit einem durchschnittlichen Sauerstoffverbrauch von 1,3 l/min gerechnet werden kann. Geht man mit diesem Wert in die Kurve ein, kann bei der gegebenen Tauchtiefe schnell der vermutlich herrschende Sauerstoffpartialdruck festgestellt werden.

Die Verhältnisse können sich grundlegend beim Einsatz von Tauchgeräten mit automatischer Gasmischung ändern.

Normalerweise wird bei diesen Geräten mit Sauerstoff und einem einzigen Inertgas gearbeitet, wobei der Sauerstoffzufluß über den ganzen Einsatzbereich konstant gehalten wird. Da auch hier die Sauerstoff-Partialdruckgrenzen einzuhalten sind, muß mit zunehmender Tauchtiefe der Inertgaszufluß gesteigert werden. Wie beim später beschriebenen Gerät deutlich wird, geschieht dies beispielsweise dadurch, daß der Inertgasdruckminderer vom Wasserdruck angesteuert wird und die Erhöhung des Treibdruckes dann zu einer Vergrößerung des Gaszuflusses führt.

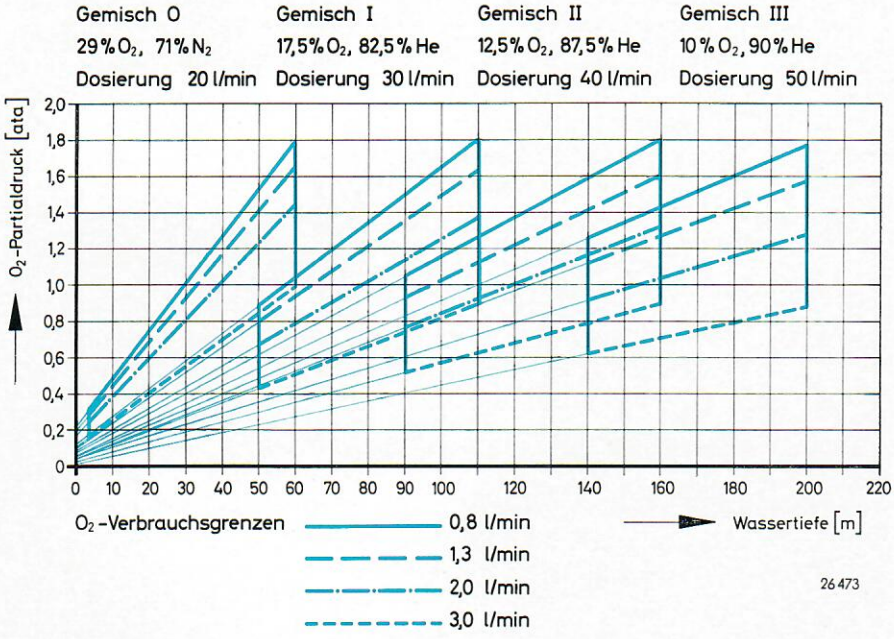


Bild 2 Darstellung der Sauerstoff-Partialdruckkurven in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch für ein Tieftauchgerät mit halbgeschlossenem Kreislauf und Fertiggasgemisch-Versorgung

Die Verhältnisse in einem solchen Gerät, das allerdings nur für eine max. Tauchtiefe von 150 m ausgelegt ist, sind den Kurven im Bild 3 zu entnehmen.

Die nutzbare Sauerstoffmenge von durchschnittlich 2,5 l/min dürfte für die in Frage kommenden Taucherarbeiten ausreichend sein. Bei geringerer nutzbarer Sauerstoffmenge ist der Mischgasverbrauch im Vergleich zum Fertiggasgerät scheinbar kleiner; zu beachten ist jedoch, daß er ebenfalls anwachsen muß, wenn mehr Sauerstoff zur Verfügung stehen soll. Insofern sind die Verhältnisse nicht sehr verschieden.

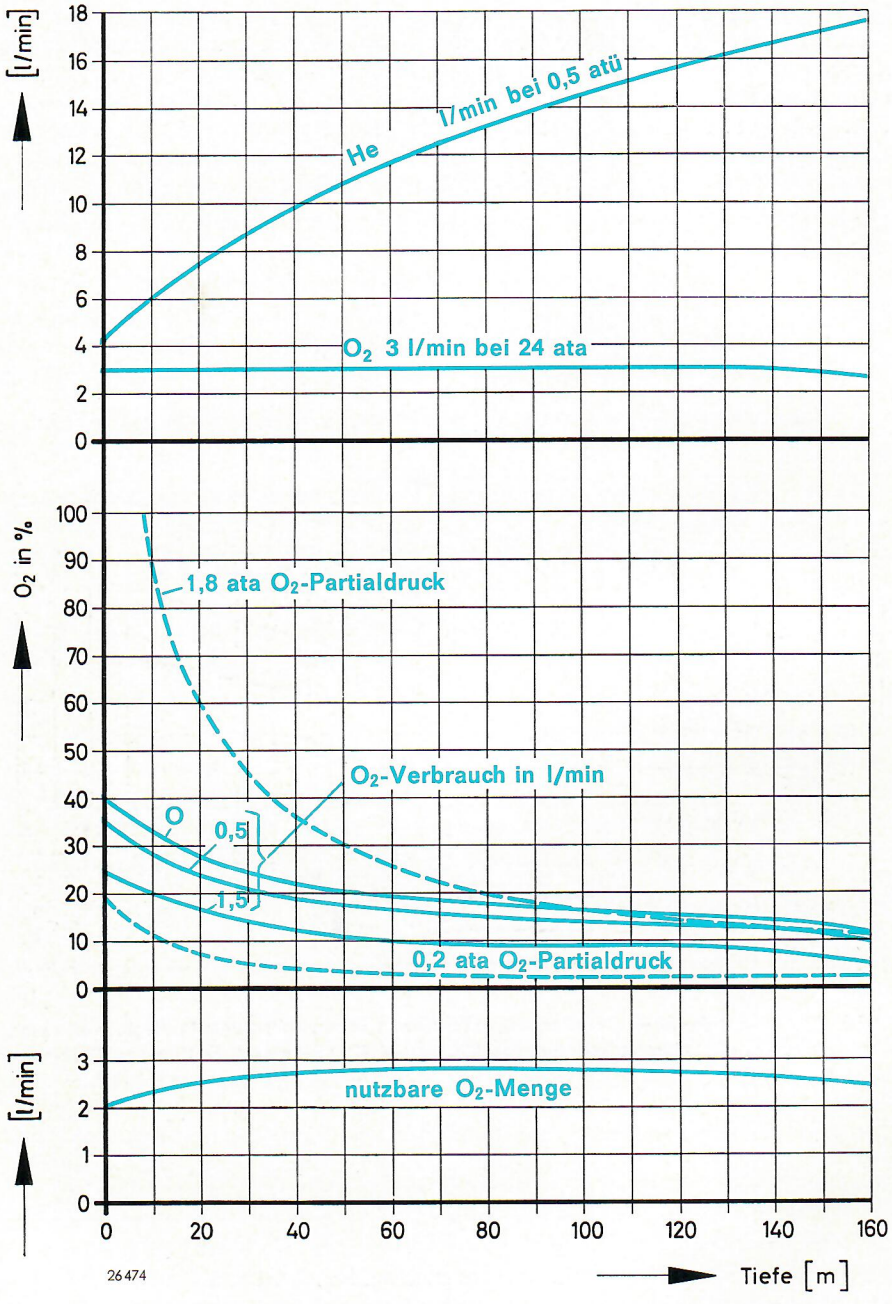


Bild 3 Kurven der Helium- und Sauerstoff-Liefermengen sowie Darstellung der Sauerstoff-Partialdruckkurven in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch

3.1. Autonomes Mischgas-Schwimmtauchgerät Modell FGG III

Dieses äußerst kompakte und robuste Tieftauchgerät kann bis zu einer Tauchtiefe von 200 m eingesetzt werden und hat sich bei vielen Einsätzen auf der ganzen Erde ausgezeichnet bewährt.

Der Entwicklung dieses Schwimmtauchgerätes lag die Aufgabe zugrunde, ein frei tragbares Gerät zu konstruieren, das ein kurzzeitiges, aber völlig autonomes Tauchen in Tiefen bis zu 200 m erlaubt. Um die Tauchzeiten zu erhöhen, wurde später noch die Anschlußmöglichkeit für eine Zusatzgasversorgung eingebaut, so daß nun Tauchgänge von 2—3 Stunden durchaus möglich sind. Verschiedene Zusatzgasversorgungseinrichtungen, die in anschließenden Abschnitten noch genau beschrieben werden, ermöglichen die Zusatzgasversorgung.

Dieses Gerät wird hauptsächlich für solche Arbeiten eingesetzt, die entweder von einer Tauchkammer, von einem Unterwasserlabor oder von einem Unterwasserfahrzeug aus erfolgen.

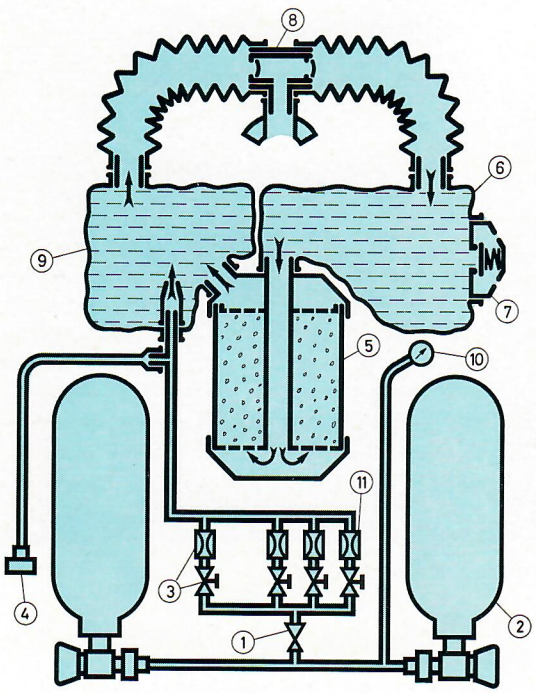
Bild 4 Autonomes Mischgas-Schwimmtauchgerät Modell FGG III 27 245

Wegen der einzuhaltenden Austauchzeiten ist der freie Abstieg normalerweise nicht vorgesehen. Eine Ausnahme bildet hier nur das Trainingstauchen im flachen Wasser mit einem besonderen Gasgemisch oder ein bedingungsloser Rettungseinsatz. Auf dieses Gerät können die Gasverhältnisse nach Bild 2 angewendet werden.

Für den völlig autonomen Betrieb ergeben sich Tauchzeiten, die je nach Tauchtiefe verschieden sind. Bei den Gasverhältnissen nach Bild 2 kann jedoch mit folgenden Zeiten gerechnet werden:

Tauchtiefenbereich (m)	Tauchzeiten (min)
0— 60	~ 60
50—110	~ 40
90—160	~ 30
140—200	~ 20

Andere Gasgemischzusammensetzungen und Dosierungen können zu längeren autonomen Tauchzeiten führen. Zur Beschreibung der Gerätefunktion dient Bild 5. Die Gasversorgung erfolgt normalerweise aus den beiden Mischgasflaschen im Gerät. Die Zusammensetzung des Inhaltes ist auf den jeweiligen Tauchtiefenbereich abgestimmt. Wie das Funktionsschema zeigt, strömt das



26475

Bild 5 Schema des Geräteprinzips vom Modell FGG III

1 Druckminderer
2 Mischgasflasche
3 Zusatzventil
4 Anschlußschlauch für Zusatzgasversorgung
5 CO_2-Absorptionsbehälter
6 Ausatembeutel
7 Überdruckventil
8 Hahn mit Mundstück
9 Einatembeutel
10 Druckmesser
11 Konstant-Dosierungen

Mischgas aus den Flaschen über den Druckminderer den drei Dosierungsdüsen zu. Durch einen Wahlschalter wird die dem jeweils verwendeten Gasgemisch

zugeordnete Düse geöffnet. Dadurch, daß der Druckminderer auf einen Treibdruck eingestellt ist, der gegenüber dem umgebenden Wasserdruck auch in der maximalen Tauchtiefe stets überkritisch ist, ergeben sich zwangsläufig konstante Dosierungsmengen.

Bild 6 Mischgas-Schwimmtauchgerät Modell FGG III 26 476-78
Vorderansicht — Draufsicht auf das offene Gerät — Rückansicht

Vom Dosierungsblock strömt das Mischgas in den Einatembeutel, von dort in den Einatemschlauch und gelangt über das Mundstück in den Atemkreislauf des Tauchers. Das ausgeatmete Gas strömt durch den Ausatemschlauch in den Ausatembeutel, wo überschüssiges Gas durch das Überdruckventil entweicht, dann durch die Kalkwiederfüllpatrone, wo die CO_2-Reinigung erfolgt, und nun in den Einatembeutel zurück. Die Steuerung der Atemgaszirkulation erfolgt durch ein Ventilpaar, das direkt am Mundstückhahn angebracht ist.

Um beim Abtauchen den Gerätekreislauf schneller auffüllen zu können, kann über ein Zusatzventil zusätzlich zur Konstantdosierung Atemgas in den Einatembeutel gegeben werden. Bei Fremdgasversorgung wird das Atemgas direkt in den Einatembeutel eingeleitet. Der Geräteaufbau ist entsprechend Bild 6.

Durch das Unterbringen aller Bauelemente in einem Gehäuse aus glasfaserverstärktem Polyesterharz sind sie gegen äußere Einwirkungen gut geschützt, was besonders für den Atembeutel wichtig ist. Die Unterschale ist die tragende Grundplatte. Daran sind die Flaschen, der Druckminderer mit Dosierblock, die Kalkwiederfüllpatrone und die Atembeutel befestigt. Seitlich an der Schale sind abschwenkbar das Manometer und der kurze Anschlußschlauch für die Zusatzgasversorgung angebracht. Der Gehäusedeckel wird an der Oberseite durch Nocken und an der Unterseite des Gerätes durch ein Gummispannband mit der Unterschale verbunden.

Die Schultertragegurte mit Schnellverstellelementen, der Leibriemen und der Schrittriemen sind an der Unterschale leicht auswechselbar befestigt. Eine Schnelltrennstelle ermöglicht, daß sich der Taucher im Notfall blitzschnell von seinem Gerät trennen kann.

Das unter Flaschendruck stehende fertige Mischgas wird durch den einstufigen Spezialdruckminderer — mit besonders großer Unempfindlichkeit gegenüber dem veränderlichen Flaschenvordruck — auf einen nahezu konstanten Entnahmedruck reduziert und direkt den Dosierungsdüsen zugeführt. Die dem jeweils verwendeten Gasgemisch zugeordnete Dosierung wird über einen Drehgriff mit Sicherheitsfeststellung wahlweise eingeleitet. Soll der Atemkreislauf beispielsweise beim Abtauchen besonders schnell aufgefüllt werden, ist dies über eine leicht zu betätigende Zusatzdosierung möglich. Vom Dosierungsraum gelangt das Mischgas über eine Rohrleitung mit Rückschlagventil direkt in den Einatembeutel.

Hauptsächlich wird das Gerät mit drei verschiedenen Gasgemischen betrieben, die auf die drei „Norm"-Tauchbereiche eingestellt sind. Für die drei Tauchbereiche werden drei Flaschenpaare — je Tauchbereich ein Flaschenpaar — verwendet. Die Flaschen sind entsprechend den Gasgemischen gekennzeichnet. Der Inhalt jeder Flasche beträgt 4 Liter, der Fülldruck 200 kp/cm². Um das Gewicht gering zu halten, werden die Flaschen der leichten Baureihe verwendet. Das leichte Auswechseln der Flaschen wird einerseits durch die Handverschraubung am Druckminderblock und anderseits durch ein robustes Gummispannband an der Unterschale erreicht. Eine einwandfreie CO_2-Absorption ist bei Tieftauchgeräten eine Selbstverständlichkeit; ebenso sind eine genügend große Aufnahmekapazität des Atemkalkes mit beträchtlicher Reserve und ein geringer Atemwiderstand unumgänglich. Diese Forderungen werden durch die in dieses Gerät eingebaute Kalkwiederfüllpatrone erfüllt.

Die Kalkwiederfüllpatrone ist ein zylindrischer Behälter mit einem Inhalt von 3,5 Litern. Zum Füllen und Entleeren ist sie nach dem Lösen der Atembeutelverschraubungen und der beiden Gummispannbänder schnell aus der Unterschale herauszunehmen. Ein Deckel, der den gesamten Patronenquerschnitt freigibt, macht das Füllen und Entleeren einfach. Der federnde Niederhalter verhindert auch bei stärkster Rüttelbeanspruchung die gefährliche Kanalbildung.

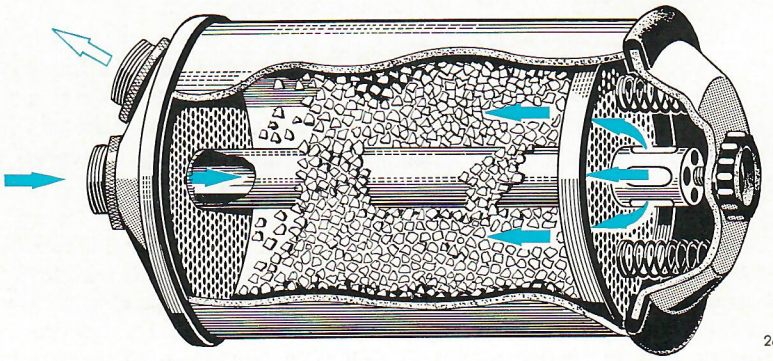


Bild 7 Schnitt durch den CO_2-Absorptionsbehälter des Mischgas-Schwimmtauchgerätes FGG III

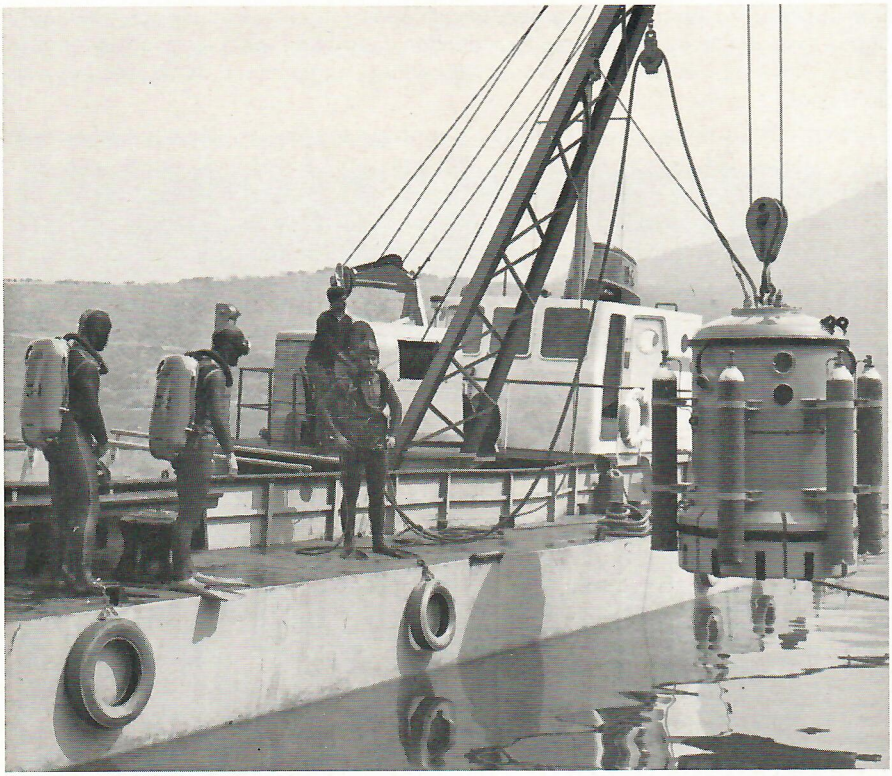


Bild 8 Mischgas-Schwimmtauchgeräte Modell FGG III vor dem Einsatz im Albaner See (Italien) (SSOS-Foto) 26480

Die Gasführung in der Patrone ist aus Bild 7 zu ersehen. Um eine zu starke Kalkabkühlung im kalten Wasser zu vermeiden und gleichzeitig eine gute mechanische Festigkeit zu garantieren, ist die Patrone aus dickwandigem, glasfaserverstärktem Polyesterharz hergestellt.

Die Widerstandscharakteristik der Patrone ist durch das gewählte Querschnitts-Längenverhältnis günstig, sie hat auch eine ausgezeichnete spezifische CO_2-Aufnahmeleistung.

Ein- und Ausatembeutel sind getrennt und stehen über die CO_2-Absorptionspatrone miteinander in Verbindung. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

a) geringer Einatemwiderstand;

b) kurze Ausgleichszeiten der Atemgaszusammensetzung bei variablen O_2-Verbräuchen;

c) geringere Belastung der Kalkwiederfüllpatrone, da hauptsächlich CO_2-haltiges Gasgemisch über das im Ausatembeutel eingesetzte Überdruckventil austritt.

Das Überdruckventil im Ausatembeutel kann auf den der jeweiligen Arbeitssituation entsprechend günstigsten Wert eingestellt werden; der Verstellbereich liegt zwischen 8 bis 15 cm WS. Der bewegliche Gesamtinhalt der Atembeutel beträgt ca. 6 Liter.

Der Taucher ist über den Doppelatemschlauch und das Mundstück oder aber durch eine spezielle Tauchermaske an den Gerätekreislauf angeschlossen. In jedem Fall sind die Steuerventile im Mundstück angeordnet, damit der Totraum gering ist.

Durch große Strömungsquerschnitte hat auch dieses Bauteil geringe Strömungswiderstände. Die Verschraubungen von Ein- und Ausatemschlauch sind verschieden, so daß ein falsches Anschließen an das Gerät nicht möglich ist.

Die autonomen Tauchzeiten dieses Gerätes sind durch den mitgeführten Gasvorrat begrenzt. In großen Tiefen sind nur relativ kurze Tauchzeiten möglich; deshalb wurde dieses Gerät mit einem Zusatzgasversorgungsanschluß ausgerüstet. Dabei kann das Gerät entweder von der Wasseroberfläche (für Trainingstauchen), von einem Unterwasserlabor, einer Tauchkammer oder von einem Tauchfahrzeug aus versorgt werden. (Die Zusatzversorgungseinrichtungen werden im Abschnitt 4 näher beschrieben.) Bei diesem Tieftauchgerät handelt es sich um ein erprobtes Gerät, das sich durch seinen robusten und einfachen Aufbau

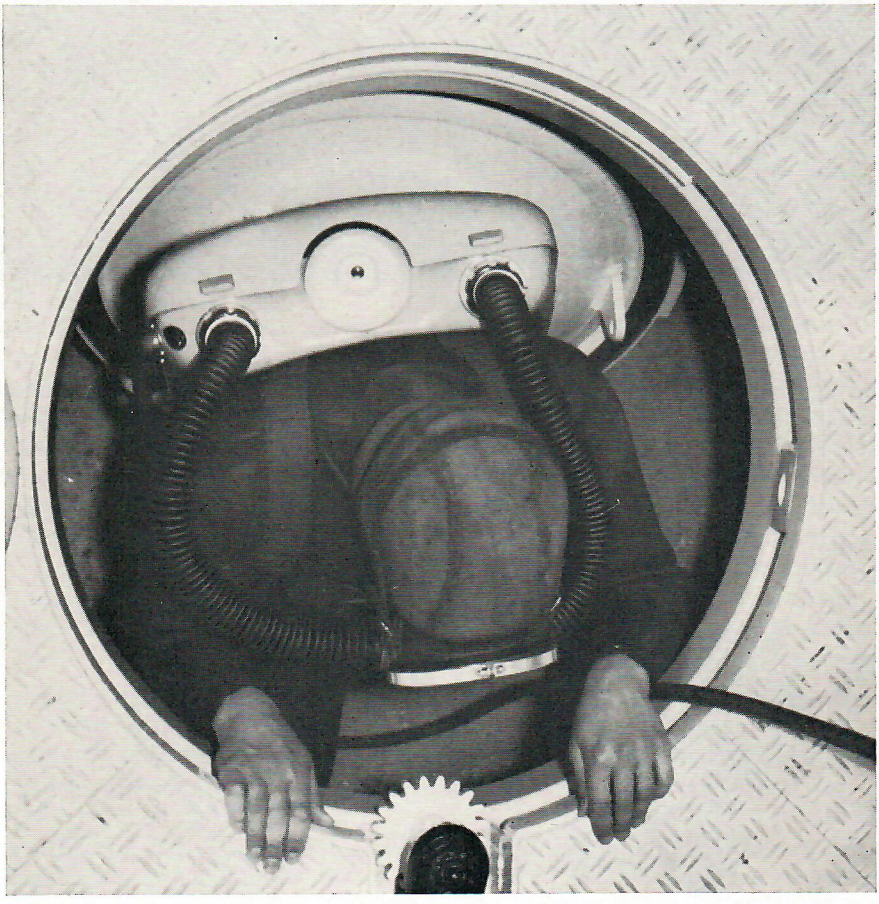


Bild 9 26481
Taucher mit Mischgas-Tieftauchgerät Modell SMS I beim Ausstieg aus einer Tauchkammer

besonders auszeichnet. Die übersichtliche Anordnung der einzelnen Baugruppen und der leichte Austausch von Bauelementen erleichtern die Wartung ganz entscheidend.

3.2. Schlauchversorgtes Mischgas-Tieftauchgerät Modell SMS I

Bild 10 Schlauchversorgtes Mischgas-Tieftauchgerät Modell SMS I 27 323

Im Gegensatz zum Mischgas-Schwimmtauchgerät FGG III ist das Mischgas-Tieftauchgerät Modell SMS I kein autonomes Gerät. Es wurde speziell für den Einsatz aus Tauchkammern, Unterwasserlabors und ähnlichen Unterwassereinrichtungen entwickelt, wobei die Schlauchversorgung obligatorisch ist. Durch den Fortfall der Eigengasversorgung konnte ein kompaktes Gerät geschaffen werden, das auch sehr robust ist und den Einsatz bei beengten Raumverhältnissen ermöglicht. Ein Ausstieg durch eine Luke mit 600 mm lichter Weite ist, wie das Bild 9 zeigt, ohne weiteres möglich.

Großer Wert wurde auch bei diesem Gerät auf niedrige Atemwiderstände gelegt. Weite Leitungsquerschnitte, eine verbesserte Steuerventilkonstruktion und insbesondere der neue CO_2-Absorptionsbehälteraufbau halfen zur Verwirklichung dieses Vorhabens. Ein Wasserschloß im CO_2-Absorptionsbehälter, eine Warneinrichtung, die die Unterbrechung der Gaszufuhr anzeigt, und eine Notatemgasversorgung sind weitere wichtige Merkmale dieses Gerätes.

Für die anzuwendenden Gasgemische gilt dasselbe wie für das Mischgas-Schwimmtauchgerät FGG III; auch ist die Einsatztiefe entsprechend. Die Tauchzeit wird von der CO_2-Aufnahmeleistung der Kalkwiederfüllpatrone bestimmt und beträgt ohne Kalkwechsel 2—3 Stunden.

Durch den Fortfall der normalen Eigengasversorgung ist der funktionelle Geräteaufbau (siehe Bild 11) einfach.

Das über den Versorgungsschlauch zugeleitete Mischgas strömt über den Geräteanschluß und den Strömungswächter direkt in den Einatembeutel. Von

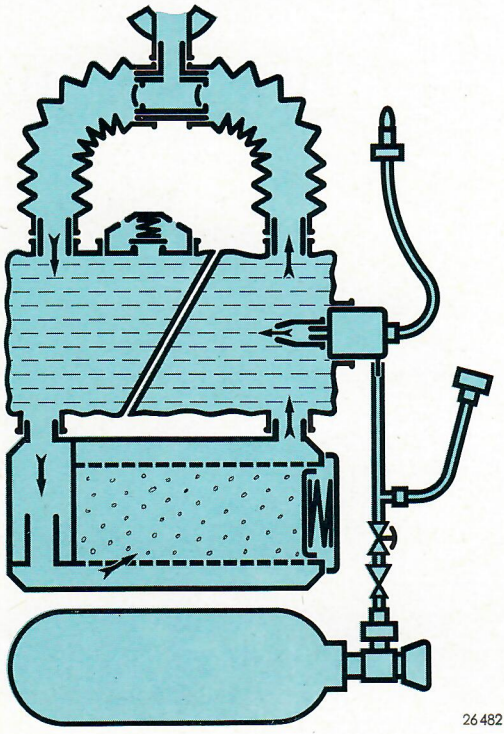


Bild 11 Schema des Geräteprinzips vom Modell SMS I

hier gelangt es durch den Einatemschlauch und den Mundstückhahn zu den Atemorganen des Tauchers. Das vom Taucher ausgeatmete Gas wird über den Ausatemschlauch in den Ausatembeutel geleitet. Überschüssiges Gas entweicht durch das Überdruckventil. Bevor das Atemgas in den Einatembeutel zurückströmt, muß es die CO_2-Absorptionspatrone passieren.

Der in den Frischgaszufluß eingebaute Strömungswächter zeigt sowohl dem Taucher als auch an der Gasversorgungseinrichtung optisch und akustisch jede Störung der Gasversorgung an. Bei einer Unterbrechung der Gaszufuhr muß der Taucher sofort die Reserveflasche öffnen. Dadurch wird der Kreislauf aus der Reserveflasche über den Druckminderer und die Dosierung mit einem Notatemgemisch für ca. 8 Minuten versorgt. Der Geräteaufbau entspricht dem des Bildes 12.

Alle Geräteteile sind wie bei dem Gerät FGG III in einem Gehäuse aus glasfaserverstärktem Polyesterharz untergebracht und dadurch gegen mechanische Be-

schädigungen gut geschützt. An der Unterschale sind Ein- und Ausatembeutel, CO_2-Absorptionspatrone, Reservemischgasflasche mit Druckminderer sowie Strömungswächter und Überdruckventil befestigt. Die leicht auswechselbare Begurtung ist ebenfalls an der Unterschale eingezogen.

Um einen geringen Atemwiderstand zu erreichen, wurden die Atembeutel möglichst nahe an das Atemzentrum des Tauchers gelegt. Die bereits beim Gerät FGG III beschriebene Zweiteilung des Atembeutels ist auch bei diesem Gerät beibehalten worden, da hierdurch die gleichen Vorteile erreicht werden.

Bild 12 Schlauchversorgtes Mischgas-Tieftauchgerät Modell SMS I 26 483-85
Vorderansicht — Draufsicht auf das offene Gerät — Seitenansicht

Das mit dem Ausatembeutel durch eine Handverschraubung verbundene Überdruckventil liegt an der Unterschalenoberseite und ist zwischen 8 und 15 mm WS verstellbar. Das Membranüberdruckventil hat eine gute Ansprechempfindlichkeit, die durch die große, wirksame Membranfläche erreicht wird.

Das bewegliche Volumen des Ein- und Ausatembeutels beträgt ca. 6 Liter. Eine beachtenswerte Neuentwicklung stellt die CO_2-Absorptionspatrone dar (Bild 13). Durch ein günstiges Verhältnis zwischen Querschnitt und Schichthöhe wird ein überraschend niedriger Strömungswiderstand erzielt. Ein Wasserschloß verhütet den Eintritt von Wasser in den Atemkalk, solange die eingedrungene Wassermenge nicht zu groß ist.

Nach dem Lösen der Handverschraubungen für die Atembeutelanschlüsse und eines Gummispannbandes kann der Behälter zum Füllen oder Entleeren aus dem Gerät herausgenommen werden.

Als Füllöffnung dient der ganze Patronenquerschnitt, so daß Hohlstellen beim Füllen mit Atemkalk vermieden werden. Der gefederte Niederhalter hält die Kalkfüllung unter der erforderlichen Spannung.

Die Kapazität von 2,5 Litern Atemkalk gewährleistet eine sichere CO_2-Absorption während der maximalen Geräte-Gebrauchszeit von 3 Stunden.

Da das Gerät SMS I ausschließlich für den Gebrauch von Fremdgas eingerichtet ist, muß der Gaszustrom zum Gerät überwacht werden. Der Strömungswächter, der in den Einatembeutel eingesetzt ist, übernimmt dieses Überwachen. Bei einer Unterbrechung der Gaszufuhr wird ein Kontakt geöffnet, so daß sowohl beim Taucher als auch an der Gasversorgungsstelle optische und akustische Signale ausgelöst werden. Bei unterbrochener Gasversorgung ermöglicht die Notgasversorgung im Gerät einen gefahrlosen Rückzug des Tauchers. Der Gasvorrat in der 1-Liter-Reserveflasche reicht selbst in einer Tiefe von 200 m noch für eine Tauchzeit von ca. 8 Minuten aus. Das Notatemgas, ein Sauerstoff-Helium-Gemisch, wird über den Druckminderer und die Dosierung in einer Menge von 20 l/min direkt in den Kreislauf eingespeist.

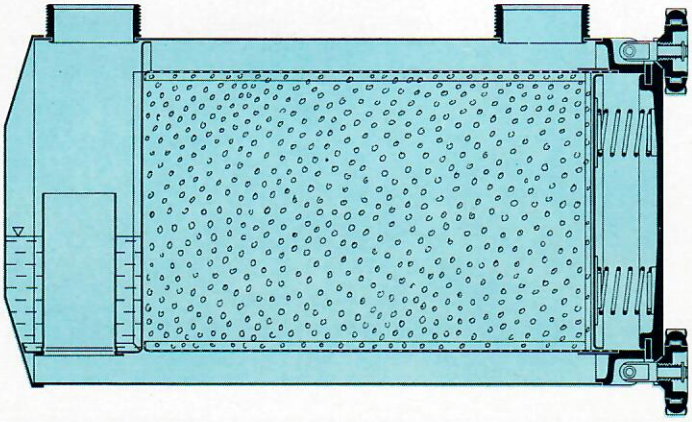


Bild 13 Schnitt durch die CO_2-Absorptionspatrone des Mischgas-Tieftauchgerätes Mod. SMS I

Der Anschluß des Tauchers an das Gerät weist mit Ausnahme der Steuerventile keine Besonderheiten auf. Sie sind als Klappenventile ausgeführt und haben auch bei großen Gasdurchgängen einen verschwindend niedrigen Strömungswiderstand.

Das Gerät SMS I wird überall dort vorzugsweise zum Einsatz gebracht werden können, wo eine Fremdgasversorgung möglich ist. Der kompakte Aufbau, die robuste Ausführung, das geringe Gewicht und vor allen Dingen die niedrigen Atemwiderstände zeichnen dieses Gerät für Tieftaucheinsätze aus.

Zusammen mit den nachstehend beschriebenen Zusatzgasversorgungseinrichtungen wird dieses Gerätesystem überall dort, wo auf eine Autonomie verzichtet werden kann, das bevorzugte System sein.

4. Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungen

Das in Abschnitt 3.1 beschriebene Mischgas-Schwimmtauchgerät Modell FGG III ist so konstruiert, daß es für einen begrenzten Zeitraum das völlig autonome Tauchen erlaubt. Anders sieht es beim SMS-I-Gerät aus, das diese Möglichkeit nicht bietet und unbedingt auf eine Fremdgasversorgung angewiesen ist.

Vor- und Nachteile beider Gerätetypen wurden bereits behandelt. Die vielfach erwünschte Ausdehnung der Tauchzeiten macht aber grundsätzlich eine Fremdgasversorgung erforderlich; insbesondere in der gewerblichen Taucherei wird diese Art der Gasversorgung die Norm werden. Tieftauchgeräte für den Marineeinsatz sind dagegen auch durchaus mit Eigengasversorgung denkbar. Zusätzlich zur Versorgung von Tauchgeräten können mit den Zusatzgasversorgungen auch noch Hilfsatemgeräte für die Tauchkammern gespeist werden.

Die Hilfsatemgeräte ermöglichen den Hilfstauchern in der Tauchkammer das Atmen unter physiologisch einwandfreien Bedingungen, auch dann, wenn die Tauchkammer beim Tieftaucheinsatz beispielsweise nur mit Luft atmosphärischer Zusammensetzung gefüllt wird.

Man unterscheidet zwei Versorgungssysteme:

a) Gasversorgung von der Wasseroberfläche aus;

b) Gasversorgung von der Tauchkammer, dem Unterwasserlabor oder dem Tauchboot aus.

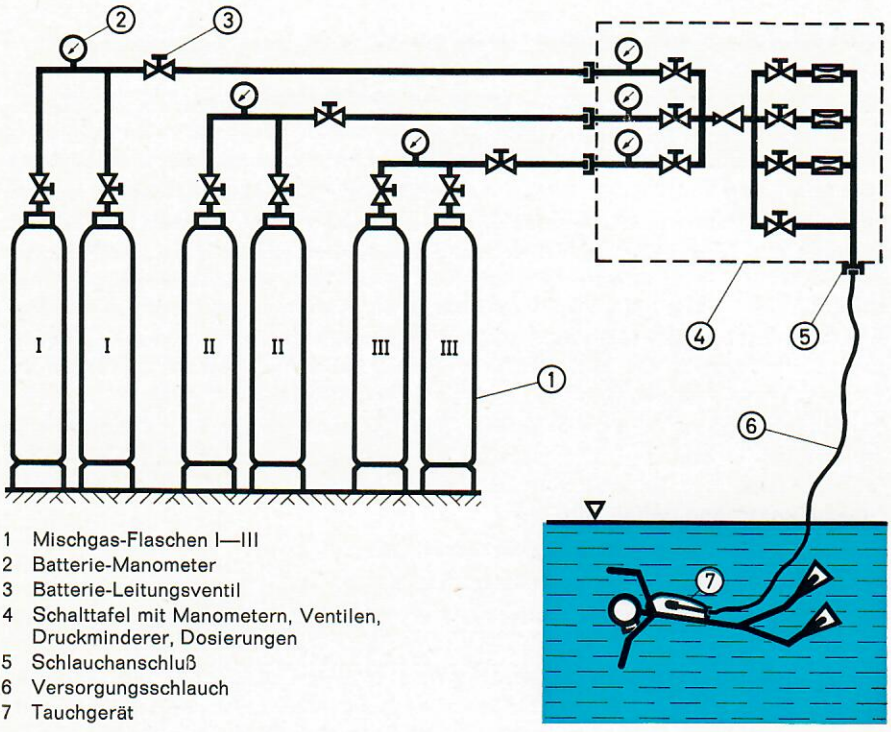
Die unter a) genannte Gasversorgung sollte normalerweise nur zum Tauchertraining verwendet werden, und dann auch nur zum Flachwassertauchen. Tieftaucheinsätze sind wegen der nicht möglichen sicheren Unterstützung für den Taucher nicht durch freien Abstieg von der Wasseroberfläche aus durchzuführen. Eine Ausnahme bildet hier der Rettungseinsatz, bei dem unter Umständen auch zu dieser sonst ungewöhnlichen Maßnahme gegriffen werden muß.

Bei der unter b) genannten Gasversorgung handelt es sich um das weitaus wichtigere Versorgungsverfahren. Hier ist zwischen zwei Möglichkeiten zu unterscheiden: 1. die Versorgung der Taucher aus einem Gerät, bei dem der Mischgasvorrat in 4-Liter-Flaschen, z. B. in der Tauchkammer, mitgeführt wird; 2. durch ein Zusatzgerät, das den Gasvorrat aus einer Flaschenbatterie erhält, die außerhalb der Tauchkammer angeordnet ist.

Bei der ersten Möglichkeit der Zusatzgasversorgung handelt es sich um eine Einrichtung, mit der zeitlich sehr genau abgegrenzte Tauchaufgaben zu erfüllen sind und deshalb auf einen größeren Gasvorrat verzichtet werden kann. Bei der zweiten Möglichkeit wird ein ungleich größerer Einsatzradius erzielt, da der Gasvorrat 100 Nm^3 und mehr betragen kann. Selbstverständlich wird dadurch die Tauchkammer in ihren Außenabmessungen erheblich größer. Es sind dann auch Vorkehrungen zu treffen, damit eine Beschädigung der Außenarmaturen auch unter ungünstigen Umständen nicht möglich ist. Die Anordnung der Flaschen nach Bild 8 kann dabei nicht Vorbild sein, da die Flaschen und die Armaturen ungeschützt sind; viel besser ist dagegen die Ausführung, wie sie in Band II zu sehen sind.

4.1. Fertiggasgemisch-Zusatzversorgung von der Oberfläche aus

Die Ausbildung von Tieftauchern sowie der Einsatz von Rettungstauchern können unter Umständen die Anwendung der Gasversorgung von der Oberfläche



1 Mischgas-Flaschen I—III
2 Batterie-Manometer
3 Batterie-Leitungsventil
4 Schalttafel mit Manometern, Ventilen, Druckminderer, Dosierungen
5 Schlauchanschluß
6 Versorgungsschlauch
7 Tauchgerät

26487

Bild 14 Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungsanlage mit Versorgungseinrichtung Mod. FGO III

aus erfordern. Bei dem halbgeschlossenen Atemsystem ist der Aufbau der eigentlichen Zusatzgasversorgungseinrichtung technisch mit dem Gasversorgungsteil eines autonomen Tauchgerätes identisch, das nach demselben Prinzip arbeitet. Das gilt auch für die Mischgaszusammensetzungen und die Dosierungen; es wird daher auf die entsprechenden Abschnitte der Tieftauchgeräte-Beschreibungen verwiesen. Das Bild 14 zeigt schematisch den Aufbau einer solchen Anlage. Als Gasversorgungsteil ist die Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell FGO III eingesetzt. Die Fertiggasgemischbatterie wird dabei vorzugsweise in drei Gruppen unterteilt, in denen die verschiedenen, auf die vorgesehenen Tauchtiefenbereiche abgestimmten Gasgemische gespeichert werden.

In der Schalttafel der Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell FGO III ist für jeden Batteriezweig ein besonderer Anschluß mit Manometer zur Vorratsdrucküberwachung und ein Absperrventil vorhanden.

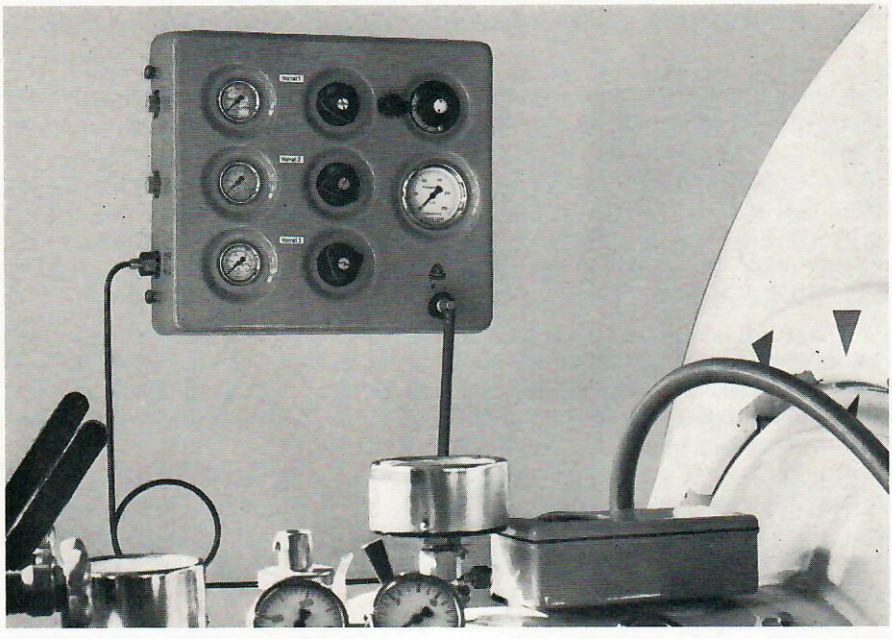
Das der jeweiligen Tauchtiefe entsprechende Gasgemisch strömt über einen einstufigen Spezialdruckminderer in den Dosierungsblock mit den drei wahlweise einstellbaren Konstantdosierungen und von dort über den Versorgungsschlauch in den Kreislauf des Mischgas-Schwimmtauchgerätes. Über ein im Dosierungsblock eingebautes Zusatzventil kann der Kreislauf schnell aufgefüllt werden.

Die Tiefenkontrolle des Tauchers — für den rechtzeitigen Gaswechsel von großer Bedeutung — ist über ein Feinmeßmanometer möglich, das am Geräteaus-

gang angeordnet ist. Das Bild 15 zeigt eine vollständige Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung, die in einem Labor installiert ist. Die Fremdgasversorgung bei simulierten Tieftauchversuchen in Druckkammern und Hochdrucktauchanlagen kann mit dieser Einrichtung sehr gut durchgeführt werden, da alle Bedienungselemente unter Normaldruck stehen. Der Sauerstoffgehalt des Frischgasgemisches läßt sich bei diesen Anlagen dann leicht kontinuierlich messen, wenn man beispielsweise vor den Dosierungsdüsen eine Meßleitung abzweigt.

4.2. Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell FGZ III — Tauchkammeranlage

Aus Sicherheitsgründen wird man bei Tieftaucheinsätzen mit wenigen Ausnahmen auf eine völlige Autonomie der Taucher verzichten können. Die Versorgung der Taucher mit Frischgas wird dann nicht vom Tauchgerät selbst, sondern über eine Fertiggasgemisch-Zusatzversorgung vorgenommen. Da eine Unterstützung der Taucher von einer Tauchkammer (SDC) aus gut möglich ist, wird bei vielen Einsätzen diese Methode angewendet. Im Prinzip ist die Atemgasversorgung der Taucher aus Unterwasserlaboratorien und Unterwasserfahrzeugen mit Ausstiegsmöglichkeit für die Taucher gleich. Sind Tauchgänge mit nur geringen Expositionszeiten geplant, so ist der Einsatz der Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell FGZ III durchaus angebracht; insbesondere dann, wenn aus Tauchkammern getaucht wird und die Außenwand völlig frei von Geräten und Armaturen gehalten werden soll. Das Bild 16 zeigt eine installierte Fertiggasgemisch-Zusatzversorgung. Was die Gerätefunktion betrifft, liegen in



26 929

Bild 15 Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell FGO III zur Versorgung von Tieftauchgeräten und Tauchsimulatoren

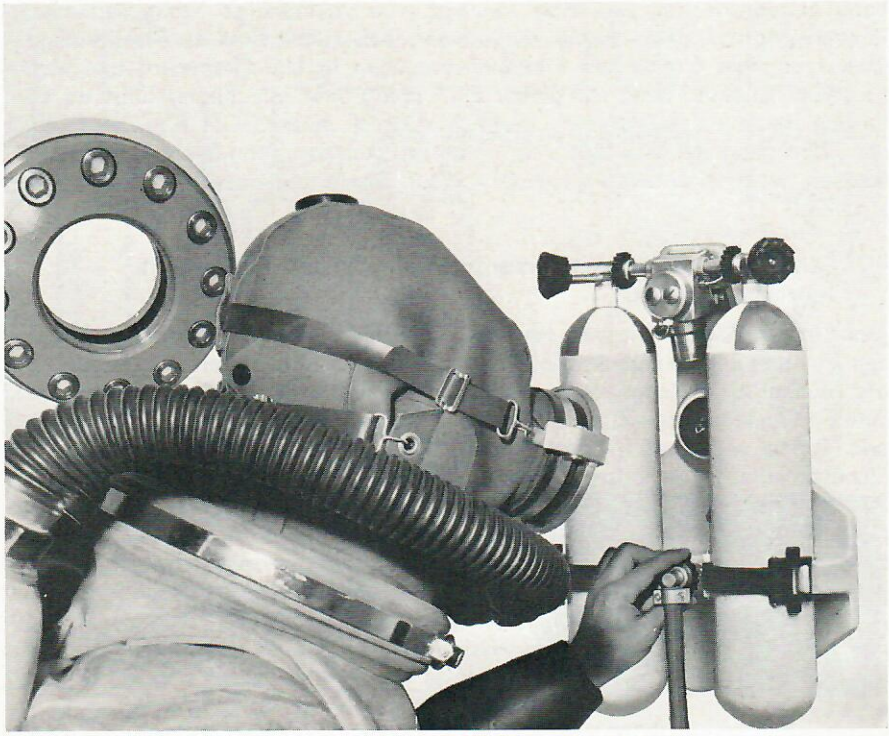


Bild 16 Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell FGZ III 27242

der Tat die gleichen Verhältnisse wie beim Mischgas-Schwimmtauchgerät Modell FGG III vor. In den beiden 4-Liter-Geräteflaschen wird das fertige Gasgemisch unter einem maximalen Druck von 200 kp/cm² gespeichert. Von dort strömt das Gasgemisch dem bereits beschriebenen Spezialdruckminderer zu, wird auf den Entnahmedruck reduziert und gelangt zu den Konstantdosierungen, von denen jeweils nur eine geöffnet ist. Von dem Dosierungsblock gelangt das Mischgas über den Versorgungsschlauch direkt in den Kreislauf des Atemgerätes. Auch hier besteht die Möglichkeit der schnellen Kreislaufauffüllung durch das Betätigen des Zusatzventiles.

Grundsätzlich können mit diesem Gerät alle schlauchversorgten Mischgastauchgeräte, die im halbgeschlossenen System arbeiten, mit Mischgas versorgt werden. Hauptsächlich wird das FGZ-III-Gerät jedoch mit dem FGG-III-Gerät und mit dem Atemgerät für den Taucherhelfer, das Fertiggasgemisch-Atemgerät Modell FGA, eingesetzt.

Je nach Mischgaszusammensetzung sind Tauchtiefen bis 200 m zu erreichen. Die Tauchzeiten sind dabei weniger von der Zusatzgasversorgung abhängig, vielmehr tritt eine Beschränkung durch die begrenzte CO_2-Absorptionsleistung der Kalkpatrone ein. Ein Flaschenwechsel kann schnell durchgeführt werden und ist während eines Tauchganges möglich.

Der Aufbau des Gerätes ist einfach. Das Bild 16 zeigt die Anordnung der Bauelemente. Auffallend ist auch hier die kompakte Bauweise, die den beengten Raumverhältnissen in den Tauchkammern angepaßt ist.

Alle Bauelemente sind auf einer stabilen Grundplatte aus glasfaserverstärktem Polyesterharz gut zugänglich befestigt. Diese gewölbte Grundplatte kann ohne großen Aufwand an der Kammerwandung angebracht werden. Ein Manometer zeigt den Vorratsdruck an, so daß die Mischgasflaschen rechtzeitig ausgetauscht werden können.

Sind bei Tieftauchgängen mehrere Taucher über längere Tauchzeiten zu versorgen, reicht diese Anlage normalerweise nicht mehr aus. Dann sind Gasversorgungsanlagen einzusetzen, deren Gasvorrat in großen Behältern außen an der Tauchkammer angebracht ist. Nur noch der Druckminderer mit Dosierungsblock und gegebenenfalls eine Überwachungseinheit befinden sich dann in der Tauchkammer.

Eine derartige Anlage wird im folgenden Abschnitt 4.3 beschrieben.

4.3. Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung mit Überwachungsanlage Modell MVÜ III

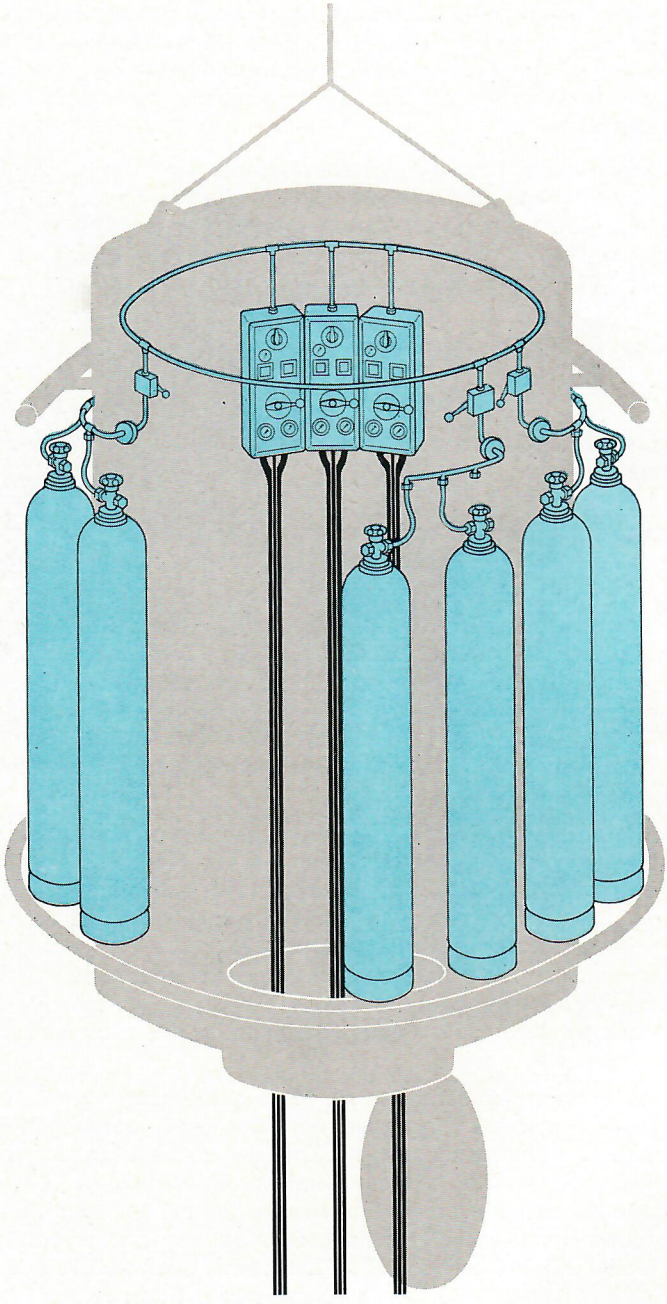
Der langzeitige Einsatz von Tieftauchern und die gleichzeitige Versorgung mehrerer Taucher erfordern Gasversorgungseinrichtungen mit ausreichend großem Vorrat.

Wird die Gasversorgungsbatterie an der Oberfläche, beispielsweise auf einem Taucherschiff, untergebracht, ist die Beschränkung verhältnismäßig gering. Es muß dann aber dafür gesorgt werden, daß das Mischgas auch unter sehr ungünstigen Bedingungen sicher an den Verbrauchsort, z. B. zu einer Tauchkammer in 200 m Tiefe, gelangt. Diese Aufgabe ist nicht in jedem Fall sehr einfach zu lösen; sie erfordert bei allen Arbeitsvorgängen viel Umsicht und Aufmerksamkeit des Personals.

Erheblich sicherer ist dagegen die Versorgung aus einer Gasbatterie, die außen an der Tauchkammer angebracht ist. Wegen des verhältnismäßig großen Raumbedarfs ist es von Vorteil, die Vorratsflaschen immer **außen** am Kammergehäuse zu installieren. Die Tauchkammer wird dadurch voluminöser und auch schwerer. Trotzdem ist bei einer sinnvollen Batterieinstallation die Versorgungssicherheit größer im Vergleich zur Gaszufuhr von der Wasseroberfläche aus. Außerdem ist der finanzielle Aufwand geringer, da sowohl der lange und teure Versorgungsschlauch entfällt als auch die kostspielige Schlauchwinde nicht mehr notwendig ist.

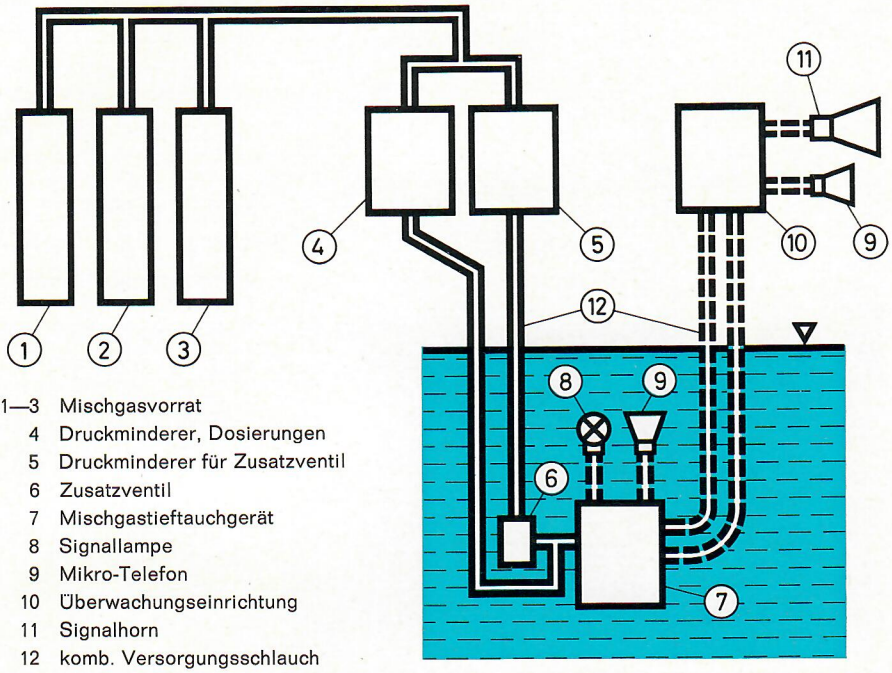
Im Tauchkammerinnern ist dann nur die Mischgasversorgung mit einer Überwachungseinheit eingebaut. Die Anzahl der Mischgasversorgungen und Überwachungseinheiten richtet sich nach der Zahl der gleichzeitig zu versorgenden Verbraucher, wobei immer eine Reserveeinheit vorgesehen werden sollte. Das Bild 17 zeigt im Schema eine solche Einrichtung, hier mit der Möglichkeit, gleichzeitig drei Taucher anzuschließen. Wie bereits bei den Zusatzversorgungseinrichtungen Modell FGO III und Modell FGZ III beschrieben wurde, ist es auch bei dieser Einrichtung möglich, die Taucher wahlweise mit drei verschiedenen Gasgemischen zu versorgen.

Das Herzstück der Anlage ist auch hier das Gasversorgungsteil, das durch eine Überwachungseinrichtung erweitert wurde. Beide Anlagenteile sind in ihrem Aufbau speziell auf die Gasversorgung des Mischgas-Tieftauchgerätes Modell



26488

Bild 17 Schema einer vollständigen, an einer Tauchkammer installierten Mischgasversorgungsanlage für schlauchversorgte Tieftauchgeräte



1—3 Mischgasvorrat
4 Druckminderer, Dosierungen
5 Druckminderer für Zusatzventil
6 Zusatzventil
7 Mischgastieftauchgerät
8 Signallampe
9 Mikro-Telefon
10 Überwachungseinrichtung
11 Signalhorn
12 komb. Versorgungsschlauch

26 489

Bild 18 Blockschaltbild einer vollständigen Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung mit Überwachungsanlage und Tieftauchgerät

SMS I ausgerichtet. Das Schema (Bild 18) zeigt das Zusammenwirken aller Geräteteile. Auf eine genauere Beschreibung der Vorratsbatterie kann hier verzichtet werden; das Tauchgerät SMS I wurde bereits im Abschnitt 3.2 ausführlich besprochen. Hinzuzufügen ist jedoch noch, daß das Tauchgerät SMS I in Verbindung mit der Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung Modell MVÜ III durch eine Signallampe und ein Telefon erweitert werden kann.

Das Gasversorgungsteil enthält in einem kompakten Block einen einstufigen Druckminderer und nachgeschaltet die Dosierungseinheit. Mit dem Wahlschalter kann je eine der drei fest eingebauten Dosierungen eingestellt werden. Der Gasvorratsdruck und die Tauchtiefe können an dem Manometer abgelesen werden. Da bei diesem Versorgungssystem der Taucher selbst noch ein Zusatzventil am Gürtel trägt, ist ein zweiter Druckminderer vorgesehen, der den nötigen Treibdruck für den manuellen Gaszusatz liefert. Von der Versorgungseinheit führen also zwei getrennte Gaszuführungen zum Taucher: die eine für die Konstantdosierung und die andere für den manuellen Gaszusatz. Allerdings sind diese beiden Gasleitungen zusammen mit den Leitungen für das Telefon und die Überwachungseinrichtung zu einem kombinierten Versorgungsschlauch zusammengefaßt.

Da bei diesem Gerätesystem die Gasversorgung des Tauchers ausschließlich aus der Tauchkammer oder aus einem UWL vorgenommen wird und eine Autonomie nur im Notfall für wenige Minuten gegeben ist, ist eine Überwachung dieser Gasversorgung notwendig. In das Gesamtsystem wurde deshalb eine Gas-

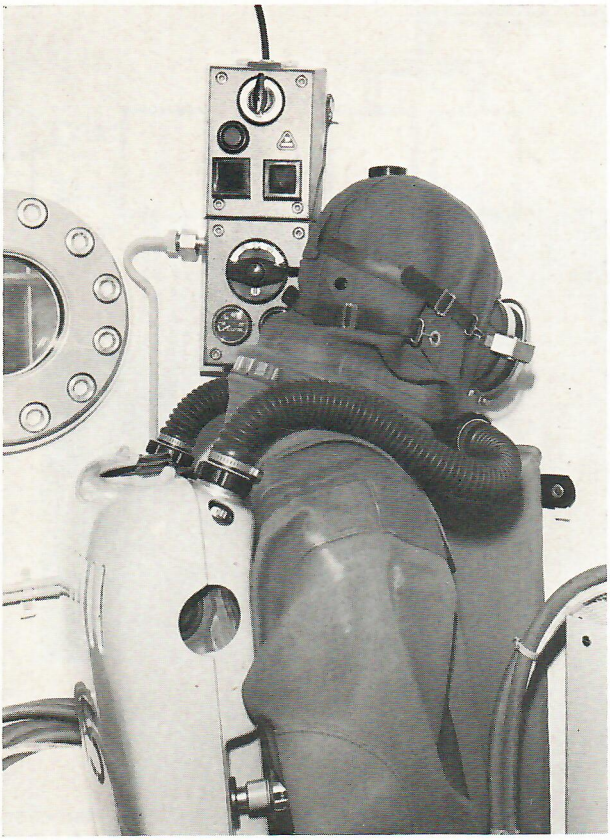


Bild 19

Fertiggasgemisch-Zusatzversorgungseinrichtung mit Überwachungsanlage Modell MVÜ III

26 298

zufuhrüberwachungseinrichtung eingebaut. Der Geber — ein pneumatisch-elektrischer Strömungswächter — sitzt im Einatembeutel, also direkt im Frischgaszuflußstrom. Von dort erfolgt die Rückmeldung zur Überwachungsapparatur in der Tauchkammer. Bei intaktem Gerät leuchtet dort ständig eine grüne Lampe. Damit auch der Taucher bei Störungen selbst direkt gewarnt wird, ist in die Maske eine Lampe eingebaut, die während des Gaszuflusses ständig eingeschaltet ist. Durch diese Schaltung ist gewährleistet, daß auch bei einem Ausfall der Elektrik eine Warnung eintritt.

Wird nun während eines Tauchganges die Gaszufuhr unterbrochen, treten sofort folgende Änderungen ein:

a) bei dem Taucher verlöscht die Lampe in der Maske;

b) in der Überwachungsanlage verlöscht die grüne Lampe und leuchtet eine rote Lampe auf;

c) gleichzeitig ertönt ein Hornsignal.

Sobald die Gasversorgung wieder arbeitet, tritt der Normalzustand ein. Das ist auch dann der Fall, wenn der Taucher seinen Reservegasvorrat einschaltet.

Mit dieser Einrichtung ist gewährleistet, daß allen Eventualitäten während eines Tieftaucheinsatzes Rechnung getragen wird. Gegenüber einem einfachen Versorgungssystem wird für den Taucher mit dieser Versorgungsanlage eine Sicherheit erreicht, die kaum zu überbieten ist.

Da in den kombinierten Versorgungsschlauch auch gleichzeitig ein Telefonkabel eingearbeitet ist, kann ohne großen zusätzlichen Aufwand eine Verständigungsmöglichkeit mit dem Taucher hergestellt werden. Entsprechende Steckerelemente am SMS-I-Gerät und der Anlage MVÜ III ermöglichen ohne Umbau den Anschluß eines Mikrofons und eines Verstärkers.

5. Tieftauchgeräte mit halbgeschlossenem Kreislauf — Selbstmischende Geräte

Im Gegensatz zu den Geräten, deren Versorgung mit fertig gemischten Gasen vorgenommen wird, arbeiten selbstmischende Apparate mit getrennten Einzelgasen. Erst während des Tauchganges wird entsprechend der jeweiligen Tauchtiefe das Gasgemisch vom Tauchgerät selbsttätig in der richtigen Zusammensetzung automatisch hergestellt. Da die atemphysiologischen Erfordernisse auch hier eingehalten werden müssen, gelten in bezug auf die Sauerstoff-Partialdruckgrenzen die gleichen Verhältnisse wie bei den Geräten mit Fertiggasgemisch-Versorgung: für kurzzeitiges Tauchen also 1,8 ata als obere und 0,2 ata als untere Grenze. Der Kohlensäurepartialdruck sollte 0,01 ata in keiner Tauchphase überschreiten. Da vor allen Dingen die Sauerstoff-Partialdruckwerte in erster Linie vom Sauerstoffverbrauch des Tauchers abhängig sind, also von seiner Arbeitsleistung, sind bei der Berechnung die zu erwartenden Grenzverbräuche einer strengen Betrachtung zu unterziehen. Wenn möglich, sollte sich der Sauerstoffpartialdruck nahe der oberen Grenze bewegen; dadurch kann die Dekompressionszeit unter Umständen etwas verkürzt werden. Die theoretischen Möglichkeiten der Frischgaszuführungssteuerung scheinen fast unbegrenzt zu sein; dies zeigt sich insbesondere beim Studium der einschlägigen Patentliteratur. Die Möglichkeiten sind jedoch nicht nur vielfältig, sondern sie übertreffen einander gegenseitig — meistens auch noch in ihrem apparativen Aufwand. Hierin liegt es auch begründet, warum nur wenige dieser Vorschläge in die Praxis umgesetzt wurden. So interessant die technische Konzeption bei vielen Vorschlägen ist, treten doch bei der Ausführung der Prototypen schon die ersten Schwierigkeiten auf. Selbst wenn ein Laborgerät noch mit hinreichender Sicherheit funktioniert, so versagen spätestens beim praktischen Einsatz die meisten dieser Geräte. Weil aber die Sicherheit des Tauchers von der Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit seines Tauchgerätes abhängt, ist die kleinste Unsicherheit für diese Geräte nicht tragbar, da man nicht das Leben des Tauchers aufs Spiel setzen darf. Geräte ohne eine funktionstüchtige Warneinrichtung genügen keinesfalls den Anforderungen, da der Taucher nicht erkennen kann, wann der eine oder andere Gasversorgungszweig ausfällt. Sauerstoffüberfluß oder Sauerstoffmangel machen sich bei dem Taucher bekanntlich nicht in jedem Falle rechtzeitig bemerkbar. Zu der verhältnismäßig komplizierten Gasmischeinrichtung kommt nun noch eine umfangreiche Kontrolleinrichtung hinzu; beide Geräte zusammen sind dann im Endeffekt für den praktischen Tauchereinsatz leider nicht ganz problemlos. Das Verfahren der automatischen Gasmischung im Gerät ist zwar sehr elegant, doch die zu-

weilen nicht ganz einfache Mischungsherstellung vor dem Tauchen ist auch nicht an jedem Einsatzort ohne weiteres zu lösen. Trotzdem gilt aber auch hier wie in der Tauchtechnik ganz allgemein:

Sind technische Schwierigkeiten unumgänglich, sollte man versuchen, sie in jedem Falle über der Wasseroberfläche zu lösen; hier ist ihre Beherrschung immer noch am einfachsten.

Anschließend soll um der Vollständigkeit halber ein selbstmischendes Tieftauchgerät beschrieben werden, das zwar im Laboreinsatz mit hinreichender Zuverlässigkeit arbeitet, das jedoch in der praktischen Taucherei noch nicht eingesetzt werden konnte, da die Kontrolleinrichtung, vor allen Dingen in großen Tiefen, immer wieder zu Störungen neigt.

5.1. **Autonomes selbstmischendes Tieftauchgerät Modell SM III**

Die Möglichkeit, bei einem Tieftauchgerät in die Vorratsflaschen beispielsweise nur reines Helium und reinen Sauerstoff einfüllen zu müssen und dann jede Tauchtiefe — in einem bestimmten Bereich — aufsuchen zu können, ohne sich

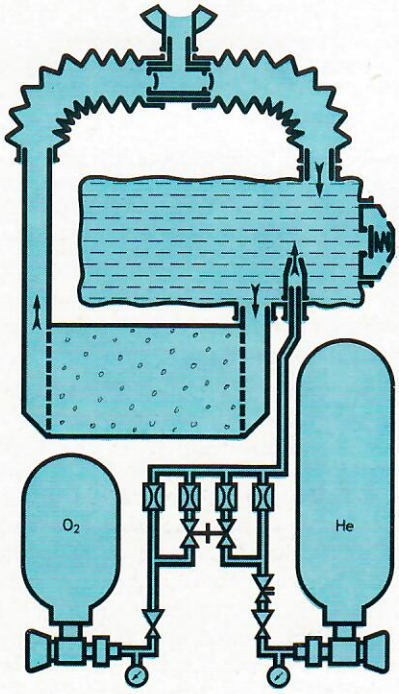


Bild 20

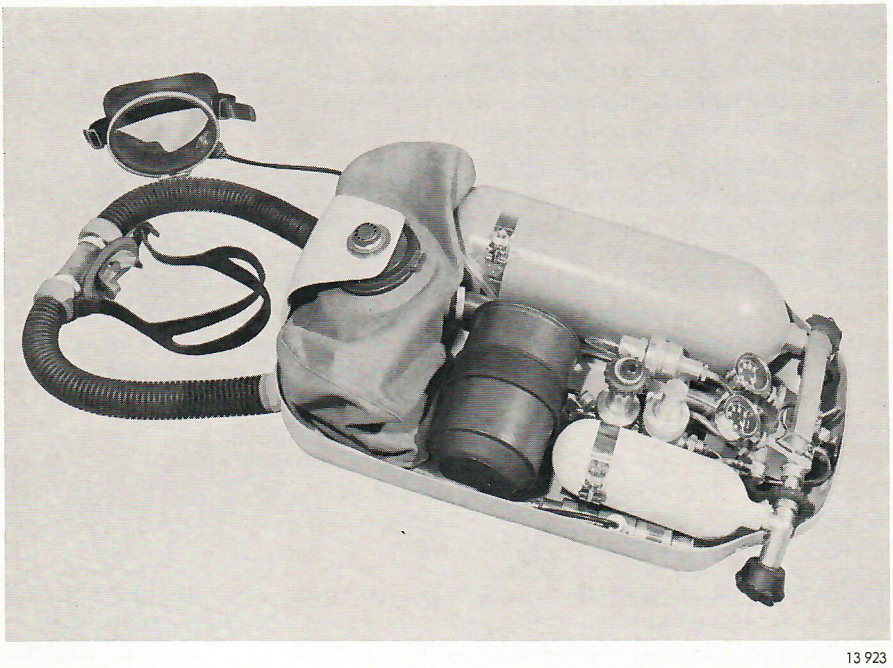
Funktionsschema des autonomen selbstmischenden Tieftauchgerätes Modell SM III

selbst um die richtige Gasmischung zu kümmern, ist bestechend und bequem zugleich. Mit dem SM-III-Gerät sollte dies grundsätzlich möglich sein. Aus dem Funktionsschema in Bild 20 ist die Wirkungsweise zu erkennen. Zusammen mit den Kurven der Gasverhältnisse in Abschnitt 3 ist der Mischungsverlauf gut zu überblicken. Helium und Sauerstoff sind getrennt in je einer Flasche gespeichert.

Da Helium im Vergleich zum Sauerstoff in erheblich größerer Menge gebraucht wird, ist der Inhalt beider Flaschen unterschiedlich. Entsprechend der Sauerstoffzusatzkurve (siehe Bild 3, Seite 108) ist für jede Tauchtiefe der Sauerstoffzufluß in den Atemkreislauf bis zur maximalen Einsatztiefe mit 3 l/min praktisch konstant. Auf der Sauerstoffseite reicht daher ein einziger Druckminderer aus. Er hat einen abgeschlossenen Stellfederraum und gibt den Sauerstoff an die Dosierungsdüse mit einem gleichbleibenden überkritischen Druck ab.

Auf der Heliumseite dagegen muß der Zufluß in den Kreislauf entsprechend der vorgegebenen Kurve mit zunehmender Tauchtiefe ansteigen. Dies wird durch einen zweistufigen Druckminderer erreicht, dessen 2. Stufe zusätzlich vom Wasserdruck gesteuert wird; damit wird dann auch die nachgeschaltete Dosierungsdüse mit einem veränderlichen Druck beaufschlagt; die abgegebene Heliummenge variiert entsprechend. Bei richtiger Abstimmung können mit dieser Einrichtung ohne weiteres und gut reproduzierbar die kurvenmäßig dargestellten Verhältnisse erzielt werden. Da auch bei diesem Gerät ein schnelles Auffüllen des Kreislaufes möglich sein muß, ist ein Zusatzventil vorgesehen, das hier gleichzeitig beide Gaszweige öffnet. Die Dosierungen des Zusatzventiles sind so eingerichtet, daß das jeweils für die Tauchtiefe richtige Gemisch abgegeben wird.

Während das Zusatzgas über die Mischleitung direkt in den Atembeutel einströmt, werden die Sauerstoff- und Helium-Grunddosierungen getrennt in den Strömungswächter eingeleitet. Bei Nachlassen des Durchflusses des einen oder des anderen Gases unter einen bestimmten Wert wird ein elektrisches Signal ausgelöst. Nach Durchströmen durch die Strömungswächter vereinigen sich die



13 923

Bild 21 Autonomes selbstmischendes Tieftauchgerät Modell SM III, Schutzdeckel abgenommen

Einzelgase in der Mischleitung und strömen in den Atembeutel. Über Einatemschlauch, Hahn mit Mundstück und Steuerventile, Ausatemschlauch und Kalkwiederfüllpatrone erfolgt der Kreislauf. Überschüssiges Gas entweicht durch ein Überdruckventil im Atembeutel.

Außer der reinen Gaszuflußkontrolle durch die Strömungswächter wird auch noch das Zur-Neige-Gehen des Gasvorrates angezeigt. Während beim Ausfall einer der Dosierungen die normalerweise immer brennende Lampe in der Maske erlischt, wird diese Lampe beim Erreichen eines bestimmten Mindestdruckes in den Vorratsflaschen in ein Blinklicht automatisch umgeschaltet. Dadurch wird der Taucher stets über den Betriebszustand seines Gerätes informiert. Bei der Konstruktion des Gerätes wurden bewährte Bauprinzipien berücksichtigt (siehe Bild 21). Besonders zu beachten ist die völlige Kapselung des Gerätes in einem Gehäuse aus glasfaserverstärktem Polyesterharz, das auch hier vor mechanischen Beschädigungen schützt. Der übersichtliche Aufbau und das leichte Auswechseln von Baugruppen ermöglichen bei Störungen den schnellen Austausch des einen oder anderen Bauelementes.

Das allein aber genügt nicht für eine weite Verbreitung des Gerätes in der praktischen Taucherei.

5.2. **Schlauchversorgtes selbstmischendes Tieftauchgerät**

Verzichtet man auf die Autonomie des Gerätes SM III und trennt Gasversorgungs- und Überwachungsteil vom Gerätekreislauf, so kommen wir zu einem schlauchversorgten selbstmischenden Tieftauchsystem.

Der Druckminderer, der Dosierungssatz und das Zusatzventil sind zu einem Funktionsblock zusammengefaßt, dem als weitere Systemeinheit die Überwachungselemente zugeordnet werden.

Beide Geräteteile sind zusammen auf einer Grundplatte montiert und werden beispielsweise in einer Tauchkammer installiert. Der Gasvorrat an Sauerstoff und Helium wird getrennt in Behältern gespeichert, die innen oder außen an der Tauchkammer angebracht sind. Da nicht alle Geräteteile in Kleinstausführung konstruiert sein müssen und eine absolute Wasserdichtheit nicht erforderlich ist, steigt die Funktionstüchtigkeit des Gerätes ganz beträchtlich. Zusätzlich kann noch ein Meßgerät zur Überwachung des Sauerstoffpartialdruckes für das dem Tauchgerät zugeführte Mischgas angeschlossen werden, wodurch eine Fehlversorgung noch weiter eingeengt wird.

Das eigentliche Tauchgerät enthält dann neben dem Atembeutel und der Kalkwiederfüllpatrone nur noch eine Reservegasversorgung für den gefahrlosen Rückzug bei einer Unterbrechung der Fremdgaszufuhr. Diese wenigen Bauelemente lassen sich zu einem sehr kompakten Tauchgerät zusammensetzen, das den Taucher bei seiner praktischen Arbeit nur wenig behindert.

Im Vergleich zum schlauchversorgten Tieftauchgerät mit Fertiggasgemischen ist hier der Geräteaufwand immer noch sehr beträchtlich. Eine objektive Beurteilung aller Vor- und Nachteile gibt letztlich den Ausschlag für die Fertiggasversorgung. Sie ist unübertroffen einfach, praxisnah und sicher.

6. Tieftauchgeräte mit geschlossenem Kreislauf

Tauchtiefen zwischen 50 und 200 m werden bislang mit Tauchgeräten, die im halboffenen System arbeiten, zufriedenstellend und wirtschaftlich betaucht. Für den Grenzbereich um 200 m und in noch größeren Tiefen steigen allerdings der Heliumverbrauch dieser Geräte und damit die Einsatzkosten so stark an, daß es dringend erwünscht ist, die Geräte mit halbgeschlossenem Kreislauf durch Geräte mit sparsamerem Gasverbrauch zu ersetzen.

Hier drängt sich zwangsläufig das Tauchgerät auf, das mit vollkommen geschlossenem Kreislauf arbeitet. Es wurde bereits an anderer Stelle schon kurz erwähnt, daß der völlig geschlossene Kreislauf das erstrebenswerte Tauchgerätesystem schlechthin darstellt. Im Idealfall arbeitet ein solches Tauchgerät so gut wie verlustlos; nur der Sauerstoff ist entsprechend dem Verbrauch zu ersetzen.

Selbst völlig autonome Geräte, die nach diesem System arbeiten, können für lange Tauchzeiten äußerst kompakt gebaut werden. Es ist daher selbstverständlich, daß in vielen Entwicklungslaboratorien an diesem Gerätetyp mit großem Nachdruck gearbeitet wird. Bei allen Vorteilen, die das geschlossene Kreislaufsystem bietet, haftet diesem jedoch ein gerade in der Taucherei doppelt schwerwiegender Nachteil an, der durch den äußerst komplizierten Aufbau begründet ist. Das ist der entscheidende Grund, warum Geräte dieser Bauart in der Praxis noch sehr wenig Eingang gefunden haben. Selbstverständlich spielt neben der etwas fragwürdigen Betriebssicherheit und dem großen Wartungsaufwand auch der Anschaffungspreis, der für diese Geräte noch enorm hoch ist, eine entscheidende Rolle. Alle Faktoren zusammen bedingen einen Einsatz der Geräte zunächst nur dort, wo er unumgänglich ist. Sollte dieses Gerätesystem einmal so weit entwickelt werden, daß die Robustheit und die Betriebssicherheit vergleichsweise den Stand heute eingesetzter Fertiggasgemischgeräte erreichen, so besteht kein Hinderungsgrund, die Geräte dieses Systems auf breiter Basis einzusetzen.

Heute kann man schon ein geschlossenes Kreislaufsystem verwirklichen, wenn man bereit ist, auf die Autonomie des Tauchers zu verzichten. Dies sollte auch nicht schwerfallen, da aus Sicherheitsgründen bei Tieftaucheinsätzen immer davon auszugehen ist, daß als Ausgangsbasis für den Taucher eine Tauchkammer, ein Unterwasserlabor oder ein Unterwasserfahrzeug mit Ausstiegsmöglichkeit zur Verfügung steht.

Setzt man voraus, daß diese Unterwasserstützpunkte meist in unmittelbarer Nähe der Arbeitsstelle stationiert werden, ist der Schritt zum schlauchversorgten Tieftaucher im geschlossenen Kreislaufsystem nicht mehr weit. Dadurch besteht auch die Möglichkeit, die empfindlichsten Geräteelemente aus dem eigentlichen Tauchgerät herauszunehmen und in der trockenen und etwas weiträumigeren Tauchkammer oder in ähnlichen Einrichtungen unterzubringen, wo sie besser beobachtet und gewartet werden können. Bezeichnet man dieses Kreislaufsystem gegenüber dem „Kleinen Kreislauf" innerhalb eines autonomen Gerätes als „Erweiterten Kreislauf", so wird darüber hinaus eine weitere Steigerung erreicht, wenn noch ein Teil der Deckdekompressionskammer in diesen Kreislauf mit der Tauchkammer einbezogen wird: Das ist dann ein „Großer Kreislauf". Die Überwachungs- und Steuerungselemente können an der Oberfläche vielfach drucklos angeordnet werden; die Betriebssicherheit wird dadurch noch verbes-

sert. Der nun erforderliche Versorgungsschlauch zwischen Deckdekompressionskammer und Tauchkammer vergrößert den Aufwand für die Tauchanlage. Es ergeben sich jedoch für den Einsatz eine Reihe von wesentlichen Vorteilen, die noch näher erläutert werden.

Insgesamt gesehen muß noch gesagt werden, daß sich die Tieftauchgeräteentwicklung speziell bei Geräten, die im geschlossenen System arbeiten, noch so im Fluß befindet, daß momentan nur ein ungefährer Überblick gegeben werden kann, der keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Besondere Aufmerksamkeit verdienen dabei die sog. „Flüssiggasgeräte".

6.1. **Autonome Tieftauchgeräte mit geschlossenem Kreislauf („Kleiner Kreislauf")**

Hauptsächlich in amerikanischen Entwicklungslaboratorien wird schon seit vielen Jahren an diesem Gerätesystem gearbeitet, und dem Vernehmen nach soll mit einzelnen Versuchsgeräten auch schon erfolgreich getaucht worden sein. Nach wie vor sind Geräte dieses Typs auf dem Markt nicht erhältlich. Aus den einschlägigen Patentschriften ist zu entnehmen, daß es auch in der Bundesrepublik eine beträchtliche Zahl sehr wichtiger Anmeldungen gibt.

1 Atembeutel
2 Kohlensäurebindepatrone
3 Einatemschlauch
4 Ausatemschlauch
5 Gesichtsmaske
6 Inertgasflasche
7 Ventil
8 Sauerstoffflasche
9 Druckminderer
10 Leitung
11 Meßfühler
12 Verstärker
13 Sauerstoffzuführungsventil
14 Sauerstoffzweigleitung
15 Stellmotor
16 Sauerstoffzusatzventil

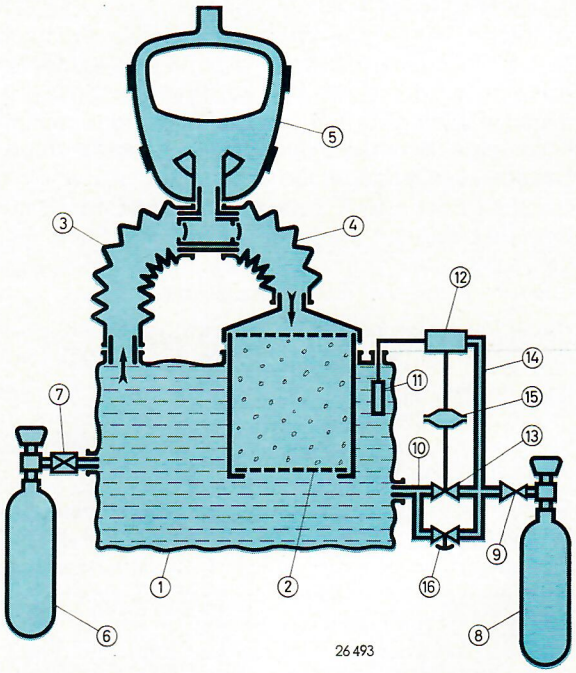


Bild 22 Patentzeichnung eines völlig geschlossenen Kreislaufes mit automatisch geregelter Sauerstoffzufuhr („Kleiner Kreislauf")

Die Patentschrift 1 104 828, vom Deutschen Patentamt im November 1961 veröffentlicht, enthält eine der wichtigsten Mitteilungen auf diesem Gebiet. Angemeldet wurde die Erfindung im März 1959 vom Drägerwerk.

Darin wird erstmals ein Tauchgerät beschrieben, das im geschlossenen Kreislauf arbeitet und dessen Sauerstoffzufuhr selbsttätig entsprechend dem gemessenen Sauerstoffverbrauch geregelt wird. Dazu wird im Atemkreislauf, vor oder in den Einatemwegen, vorzugsweise jedoch im Atembeutel, ein mit einem Meßfühler versehener Sauerstoffpartialdruckmesser eingebaut, der über einen Verstärker derart auf die Einstellvorrichtung eines Sauerstoffzufuhrventiles wirkt, daß die Sauerstoffzufuhr stets in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch erfolgt. Als besonderer Vorteil der Erfindung wird angegeben, daß die Regelmechanik sehr einfach ist und dem Atemkreislauf stets nur so viel Sauerstoff zugeführt wird, wie vom Geräteträger tatsächlich benötigt wird. Eine übermäßige oder zu geringe Sauerstoffabgabe wird vermieden. Damit werden aber auch Gasverluste durch Abblasen von überschüssigem Gas und somit auch ein übermäßiger Verbrauch von Inertgas verhindert.

Da dieses Gerätesystem alle die Elemente enthält, die zum Betrieb eines autonomen und völlig geschlossenen Kreislaufes benötigt werden, wird hier die Patentzeichnung und die Gerätebeschreibung übernommen (Bild 22).

In der Patentanmeldung heißt es:

„Der Atembeutel 1 mit der Kohlensäurebindepatrone 2 ist über den Ausatemschlauch 4 und den Einatemschlauch 3 mit der Gesichtsmaske bzw. dem Taucherhelm 5 verbunden. In diesem geschlossenen System erfolgt der Kreislauf der Atemluft in Richtung der Pfeile. Die Gasflasche 6 gibt über ein selbsttätig vom Druck gesteuertes Ventil 7 Inertgas in den Kreislauf ab, wenn die Druckdifferenz zwischen Atembeutel und der Umgebung bei der Erhöhung des umgebenden Druckes, zum Beispiel beim Tauchen, steigt. Die Sauerstoffflasche 8 liefert über einen Druckminderer 9 und ein Regelventil 13 Sauerstoff über die Leitung 10 in den Atembeutel 1. Innerhalb dieses Atembeutels ist ein Meßfühler 11 angeordnet, dessen elektrische Werte sich entsprechend dem Sauerstoffpartialdruck ändern. Der Meßfühler 11 ist mit dem Verstärker 12 verbunden, durch den die gemessenen elektrischen Werte verstärkt und zum Steuern von Hilfsventilen verwendet werden, die in eine Sauerstoffzweigleitung 14 eingeschaltet sind. Die Sauerstoffzweigleitung mündet in einen Stellmotor 15, der das Sauerstoffzuführungsventil 13 steuert. Wenn der Sauerstoffpartialdruck in dem Atembeutel 1 unter einen bestimmten Wert sinkt, wird das Sauerstoffzuführungsventil 13 geöffnet. Wenn der gewünschte Teildruck wieder erreicht ist, wird das Ventil 13 durch den Stellmotor geschlossen.

Zu dem Sauerstoffzuführungsventil 13 ist ein Sauerstoffzusatzventil 16 parallel geschaltet, das als Druckknopfventil ausgebildet ist und mit dem der Geräteträger das Gerät vor dem Abstieg mit reinem Sauerstoff auffüllen kann.

Entsprechend der Gerätebeschreibung enthält der Hauptanspruch die äußerst wichtige Aussage der Messung des Sauerstoffpartialdruckes und der Sauerstoffzufuhr in Abhängigkeit von diesen Werten.

Der Anspruch 1 lautet:

Atemschutzgerät mit Kreislauf der Atemluft, selbsttätiger Sauerstoffzufuhr entsprechend dem gemessenen Sauerstoffverbrauch und Atembeutel, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Atemkreislauf, vor oder in den Einatemwegen, vorzugsweise im Atembeutel 1, ein mit einem Meßfühler 11 versehener Sauerstoffpartialdruckmesser angeordnet ist, der über einen Verstärker 12 derart auf die

Einstellvorrichtung des Sauerstoffzuführungsventils 13 einwirkt, daß die Sauerstoffzufuhr stets in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch erfolgt."

Damit ist der Aufbau eines geschlossenen Kreislaufes klar umrissen. Viele andere Anmeldungen, die letztlich alle den gleichen Zweck verfolgen, sind in der Mechanik weit aufwendiger, so daß an eine Verwirklichung dieser Ideen nicht zu denken ist. So wird beispielsweise die Dichteänderung eines Sauerstoff-Inertgas-Gemisches anstelle der direkten Messung des Sauerstoffpartialdruckes zur Steuerung der Sauerstoffzufuhr vorgeschlagen, oder es soll über eine Differential-Gasmengenmessung aufgrund der erzeugten CO_2-Menge der richtige Sauerstoffzusatz gesteuert werden.

Dem Erfindergeist sind hier keine Grenzen gesetzt. Sicher wird es eines Tages gelingen, alle Meß- und Steuerelemente so betriebssicher und klein zu bauen, daß eine neue Tauchergeneration bedenkenlos und ohne hindernde Beschränkungen durch zu kleinen Gasvorrat oder zu kurze Versorgungsschläuche in die nasse Umwelt geschickt werden kann.

6.2. Schlauchversorgte Tieftauchgeräte mit geschlossenem Kreislauf („Erweiterter Kreislauf")

Autonome Tieftauchgeräte mit geschlossenem Kreislauf sind — mit Ausnahme einiger Laborgeräte — noch nicht auf dem Markt erhältlich. Dagegen sieht es bei den schlauchversorgten Geräten etwas günstiger aus. Zwar sind auch hier noch längst nicht alle Schwierigkeiten beseitigt; so sind jedoch Ansätze zu erkennen, die bald die volle Einsatzbereitschaft dieser Geräte erwarten lassen.

Bei der Durchführung der verschiedensten Unterwasserlaborexperimente (Sealab, Precontinent usw.) wurde immer wieder auf Geräte dieser Bauart zurückgegriffen. Aber auch bei einigen kommerziellen Tieftaucheinsätzen konnte diese Arbeitstechnik bereits mit Erfolg angewendet werden.

Die Schlauchversorgung des Tauchers erfordert außer dem Tauchgerät mit Versorgungsteil grundsätzlich auch noch das Vorhandensein einer Tauchkammer oder eines Unterwasserlabors. Das ist bei Tieftaucheinsätzen unbedingt erforderlich, gleichgültig, mit welcher Art von Geräten getaucht wird. Nachstehend werden einige Systeme beschrieben, wobei selbstverständlich noch eine ganze Reihe von Varianten offen bleiben.

6.2.1. Geschlossener Kreislauf für Tauchkammer und Tauchgerät

Bei diesem Verfahren wird die Tauchkammer entweder von der Wasseroberfläche aus oder durch Eigenversorgung mit Mischgas gefüllt. Die Gaszusammensetzung wird dabei manuell oder automatisch der jeweiligen Tauchtiefe entsprechend so geändert, daß in Anpassung an das Tauchverfahren (Kurzzeittauchen — Sättigungstauchen) der gewünschte Sauerstoffpartialdruck eingehalten wird. Durch das Füllen der Tauchkammer mit einem Sauerstoff-Helium-Gemisch wird zwar der Gasaufwand erheblich größer, Taucher und Taucherhelfer können jedoch in der Kammer frei und ohne Behinderung atmen. Dies ist ein Vorteil, der besonders beachtet werden muß. Um Helium zu sparen, ist eine Gasrückgewinnung möglich, wenn man einen Verdichter und eine Speicherbatterie vorsieht, in die beim Auftauchen das überschüssige Gas zurückgepumpt wird.

Den prinzipiellen Aufbau einer solchen Tieftaucheinrichtung zeigt Bild 23. Es ist davon auszugehen, daß die Kammer eigenversorgt ist. Die Steuerung des Heliumzusatzes wird in Abhängigkeit vom Außendruck vorgenommen.

Der gewünschte Sauerstoffpartialdruck ist über einen Sauerstoffmeßfühler einzuregeln. Die Schaltung der Sauerstoff-Partialdruckregelung zeigt das Bild 24. Wie aus dem Schema (Bild 23) zu entnehmen ist, wird die Gasversorgung und die Gasregenerierung für die Tauchkammer und die Tauchgeräte in einem einzigen System zusammengefaßt. Der Verfahrensablauf ist dabei folgender:

1 Verdichter
2 Ausgleichskammer
3 Unterdruckregler
4 CO_2-Regenerationseinrichtung
5 Überdruckausgleichsraum
6 Druckregler
7 Mischgassteuerventil

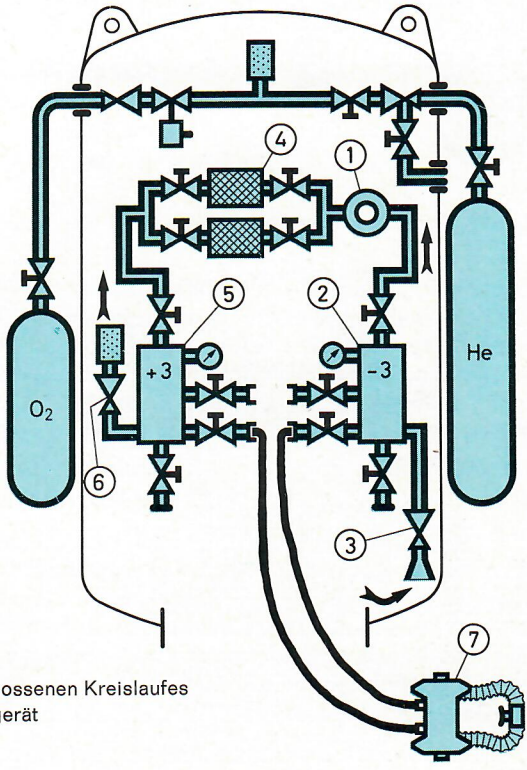
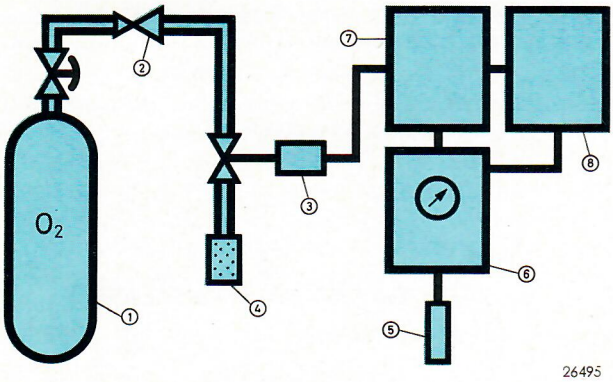


Bild 23 Prinzipschaltbild eines geschlossenen Kreislaufes für Tauchkammer und Tauchgerät („Erweiterter Kreislauf")

26494

Mit einem Verdichter 1 wird über die Ausgleichskammer 2 und einen Unterdruckregler 3 aus der Kammer Mischgas abgesaugt. Der Unterdruckregler 3 hat die Aufgabe, in der Ausgleichskammer 2 im Vergleich zum Umgebungsdruck den Druck um beispielsweise 3 kp/cm² zu senken. An diesen Ausgleichsraum werden die Saugschläuche der Taucher angeschlossen. Auf der Überdruckseite des Verdichters ist die umschaltbare CO_2-Regenerationseinrichtung 4 eingeschaltet; von hier strömt das Gas in den Überdruckausgleichsraum 5. In diesem Ausgleichsraum wird durch den Druckregler 6 gegenüber dem Umgebungsdruck ein Überdruck von 3 kp/cm² gehalten. Der Gaszuführungsschlauch zum Taucher ist an diesen Ausgleichsraum angeschlossen. Durch ein geeignetes Mischgassteuerventil 7, das entweder nahe der Maske angebaut wird oder in einem Gestell auf dem Rücken getragen wird, schließt sich der Taucher an den Kreislauf an. Da die Über- und Unterdruckverhältnisse sehr konstant gehalten werden können, werden bei richtiger Auslegung des Steuerventiles überraschend niedrige Ein- und Ausatemwiderstände erreicht.



1 Sauerstoffflasche
2 Druckminderer
3 Steuerventil (Magnet)
4 Geräuschdämpfer
5 Meßfühler
6 Sauerstoff-meßgerät
7 Verstärker
8 Energieversorgung

Bild 24 Prinzipschaltung einer Sauerstoffmeß- und -zusatzeinrichtung

Die niedrigen Atemwiderstände sind beim Tieftauchen aus physiologischen Gründen sehr erwünscht; hinzu kommen die kleinen Abmessungen des vom Taucher zu tragenden Gerätes. Dadurch ist dieses System für die praktische Anwendung außerordentlich interessant. Da auch die CO_2-Regeneration sehr günstig ausgelegt werden kann und der gefürchtete Wassereinbruch ausgeschlossen ist, sind nur positive Merkmale zu verzeichnen.

6.2.2. **Geschlossener Gerätekreislauf mit Schlauchversorgung**

Für eine Reihe von Einsatzfällen ist es nicht vertretbar, die ganze Kammer mit dem teuren Sauerstoff-Helium-Gemisch zu füllen. Besonders bei kurzzeitigen Tieftauchgängen wird man versuchen, den Druckausgleich in der Tauchkammer mit Luft atmosphärischer Zusammensetzung herzustellen. Dann ist es erforderlich, den Tauchgerätekreislauf vom Kammervolumen zu trennen. Das ist beispielsweise mit der unter 6.2.1 beschriebenen Anlage ohne großen Aufwand möglich. Die Vorteile für den Taucher bleiben dabei voll erhalten.

Es sind ebenfalls Kreisläufe denkbar, bei denen ähnliche Tauchgeräte wie das SMS-I-Gerät verwendet werden, wobei durch den Atembeutel und ein entsprechend eingestelltes Überdruckventil der erforderliche Systemgegendruck aufgebaut wird. Die Umwälzung erfolgt dabei durch eine Kreiselpumpe. Die CO_2-Absorption kann entweder im Gerät oder in der Tauchkammer durchgeführt werden. Sauerstoff- und Heliumzusatz erfolgen in bekannter Weise.

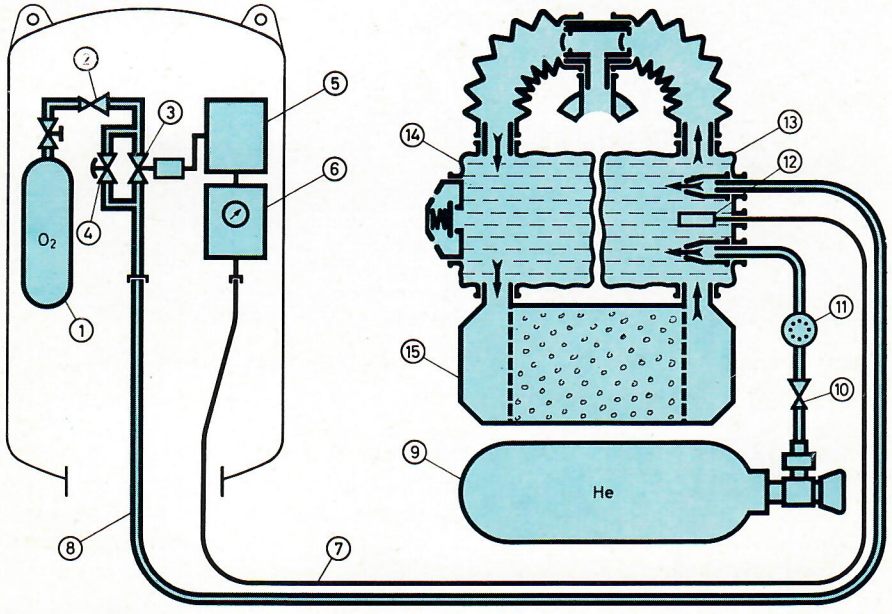
Eine weitere Version eines Gerätekreislaufes ist denkbar, bei dem nur der Sauerstoffnachschub aus der Tauchkammer erfolgt. Dann ist auch nur ein Versorgungsschlauch zum Taucher erforderlich. Der Aufbau entspricht dem Schema im Bild 25.

Der Taucher trägt dabei auf dem Rücken ein völlig gekapseltes Gerät, das außer Ein- und Ausatembeutel eine CO_2-Absorptionseinrichtung, eine Heliumflasche mit Druckminderer und ein automatisches Zusatzventil enthält. In den Einatembeutel ist ein Sauerstoffmeßfühler eingesetzt, der über ein Kabel seine Meßwerte dem Sauerstoffmeßgerät in der Tauchkammer zuführt. Von dort aus wird über einen Verstärker und ein Magnetventil der Sauerstoffzusatz in den Kreislauf gesteuert. Das Tauchverfahren wird dabei so aussehen, daß der

Gerätekreislauf an der Oberfläche zunächst manuell über das Zusatzventil mit reinem Sauerstoff aufgefüllt wird und der Druckaufbau beim Abtauchen selbsttätig über das automatische Helium-Zusatzventil erfolgt. Entsprechend dem gewünschten Sauerstoffpartialdruck und in Abhängigkeit vom Verbrauch wird Sauerstoff in den Kreislauf nachgeschoben.

Das Bild 26 zeigt einen Steuerschrank für die gleichzeitige Sauerstoffversorgung von drei Tieftauchgeräten, wobei der Sauerstoff-Partialdruckbereich in sehr engen Grenzen gehalten werden kann. Die tatsächlich im Atemkreislauf aktuellen Sauerstoffpartialdrücke werden durch einen Bandschreiber mitgeschrieben.

Selbstverständlich sind Einsatzgeräte erheblich kompakter. Das gezeigte Gerät ist ein Laborgerät und für ausgedehnte Versuchsaufgaben ausgelegt.

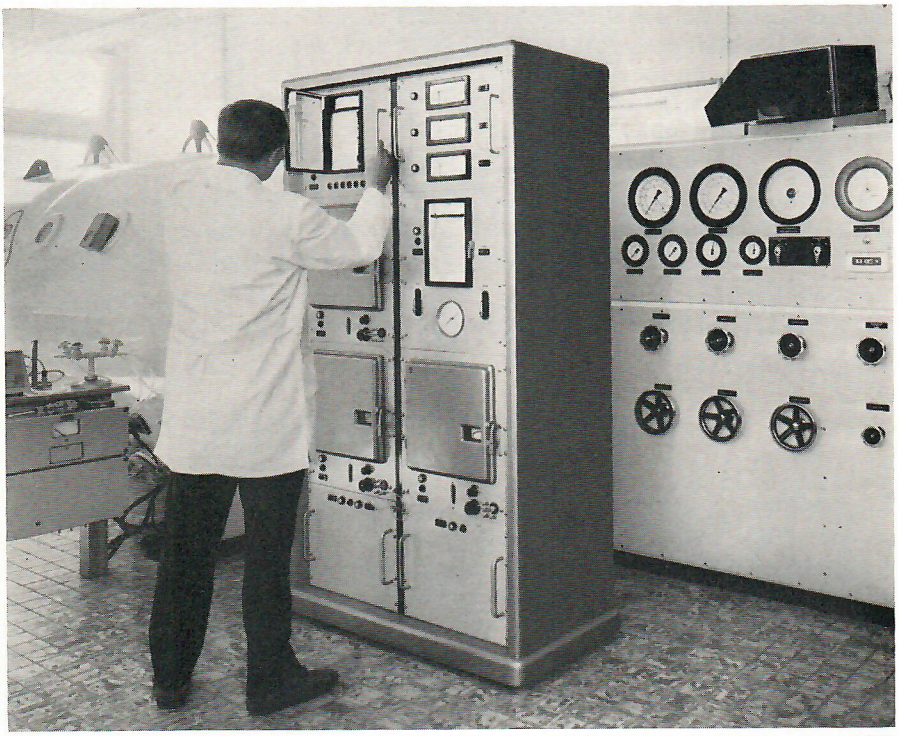


26496

Bild 25 Geschlossener Gerätekreislauf mit Sauerstoffversorgung über einen Schlauch von einer Tauchkammer aus

1 Sauerstoffflasche
2 Druckminderer
3 Magnetventil
4 Sauerstoff-Zusatzventil
5 Verstärker
6 Sauerstoffmeßgerät
7 Meßleitung
8 Sauerstoffversorgungsschlauch
9 Heliumflasche
10 Druckminderer
11 Helium-Zusatzventil
12 Sauerstoffmeßfühler
13 Einatembeutel
14 Ausatembeutel
15 CO_2-Absorptionsbehälter

Vergleichen wir abschließend die drei Grundsysteme des schlauchversorgten erweiterten Kreislaufes, so ergeben sich folgende wesentliche Merkmale:



26 927

Bild 26 Steuerschrank für die gleichzeitige Sauerstoffversorgung von 3 Mischgas-Tieftauchgeräten (Laborgerät)

a) Niedrige Atemwiderstände werden bei der Doppelschlauchversorgung mit Unter- und Überdruckaufbau erzielt. Der Taucher wird durch das kompakte Steuerventil wenig behindert. Eine Zwangsumwälzeinrichtung ist erforderlich, die meistens nicht ganz geräuschlos arbeitet und — insgesamt gesehen — etwas voluminös und aufwendig ist.

b) Unter Beibehalten der Doppelschlauchversorgung, aber Gegendruckaufbau durch den Atembeutel, wird der Aufwand in der Tauchkammer etwas geringer. Erforderlich ist jedoch eine Zwangsumwälzung. Das Tauchgerät wird etwas größer, die Atemwiderstände werden ungünstiger.

c) Der Kreislauf im Tauchgerät selbst und der Druckaufbau durch eine vom Taucher mitgeführte Helium-Zusatzeinrichtung vereinfachen die Tauchkammereinrichtung erheblich. Die Atemwiderstände bewegen sich in vertretbarem Rahmen, die Behinderung des Tauchers durch das Gerät ist gering; Vorteile ergeben sich durch den Wegfall des zweiten Gasversorgungsschlauches. Problematisch kann die CO_2-Absorption im Gerät werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Bauart nach a) in bezug auf den Aufwand an der Spitze liegt, die Sicherheit und Annehmlichkeit für den Taucher aber ebenfalls unumstritten ist. Wenn man weiter bereit ist, die kombinierte Bauweise der Tauchkammer-Tauchgeräte-Versorgung anzuwenden, dann ergibt sich im Endeffekt ein Tauchverfahren, das derzeitig kaum zu verbessern ist.

6.3. Schlauchversorgte Tieftauchgeräte mit geschlossenem Kreislauf („Großer Kreislauf")

Die Anwendung des „Großen Kreislaufes" ist insbesondere beim Sättigungstauchen von Vorteil.

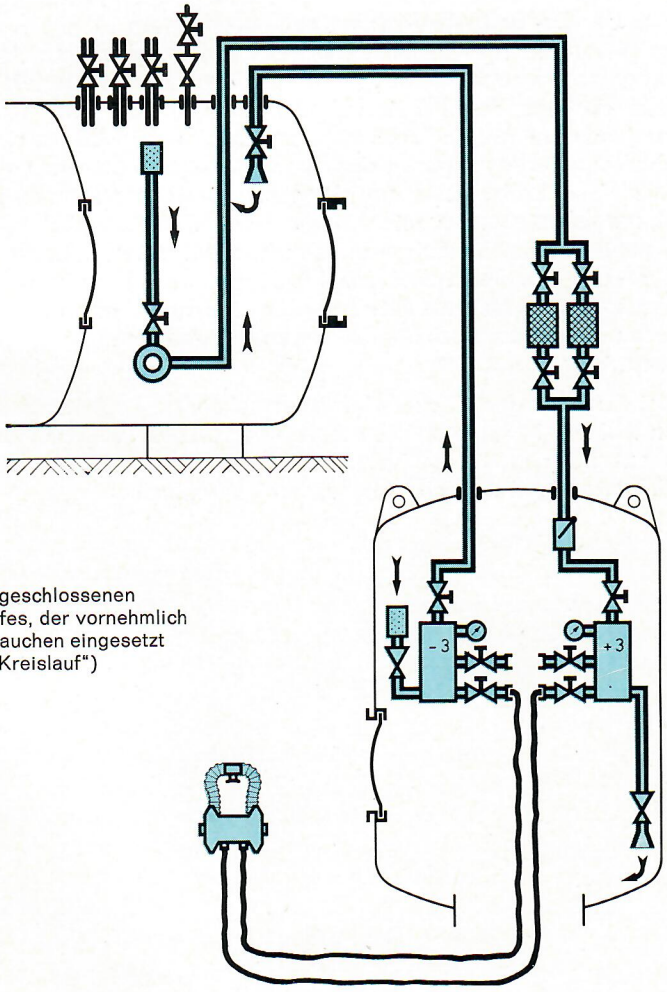


Bild 27

Schema eines geschlossenen Gerätekreislaufes, der vornehmlich für Sättigungstauchen eingesetzt wird („Großer Kreislauf")

Unter „Großem Kreislauf" ist zu verstehen, daß während eines Tauchganges mindestens ein Raum einer Deckdekompressionskammer, die Tauchkammer und der Tauchgerätekreislauf miteinander verbunden sind und mit dem gleichen Gasgemisch gefüllt sind. Die Gasumwälzeinrichtung wird dabei vorteilhafterweise in der Deckdekompressionskammer untergebracht, steht also unter Druck, während die Sauerstoffmeßanlage außerhalb des Druckbereiches installiert werden kann und damit erheblich weniger aufwendig wird.

Für die CO_2-Absorption sind Doppelfilter vorgesehen; die Gehäuse sind druckfest und untereinander umschaltbar. Das Bild 27 zeigt schematisch eine derartige Einrichtung. Als Tauchgerät wird dabei das in Abschnitt 6.2.1 beschriebene System eingesetzt. Selbstverständlich kann man hier im herkömmlichen Sinne nicht mehr von einem Tauchgerät sprechen; dieses ist nun innerhalb einer Tauchanlage zu einem Gesamtsystem integriert. Die Verbindung Deckdekompressionskammer — Tauchkammer wird über einen Versorgungsschlauch vorgenommen, der außer der Zu- und Abluftleitung auch noch Adern für die Kommunikation und Energieversorgung aufnimmt. Die Gasversorgung und die Überwachungseinrichtung zur Aufrechterhaltung des gewünschten Sauerstoffpartialdruckes sowie zur Messung des CO_2-Gehaltes werden nun zu völlig eigenständigen Einrichtungen, die mit dem Tauchgerät ursächlich nicht mehr in direkte Verbindung gebracht werden können. Die großen Gasmengen, die sich bei diesen Anlagen im Kreislauf befinden, erleichtern keinesfalls einen schnellen Mischungswechsel, reagieren aber auf zeitweilige Sauerstoff-Verbrauchsänderungen auch nicht so anfällig, da sie einen ganz natürlichen Puffer darstellen. Damit sind insbesondere bei den Tauchern, unabhängig vom Verbrauch, sehr konstante Partialdruckverhältnisse gewährleistet. Das ist physiologisch von Nutzen; darüber hinaus lassen sich auch die Dekompressionszeiten mit größerer Sicherheit bestimmen.

Damit sei zunächst das Kapitel über Tieftauchgeräte abgeschlossen. Bei einer späteren Auflage kann wesentlich mehr über dieses Teilgebiet berichtet werden, da anzunehmen ist, daß vor allen Dingen im geschlossenen System arbeitende Tieftauchgeräte recht bald auf den Markt kommen.