

GASEN UND GASMISCHUNGEN VERWENDET IN DAS GEBIET DER ÜBERDRUCKHYDRAULIK

- Forschungsbericht Nr. I –

(Übersetzung aus der Rumänischen Sprache)

Doktorand

Ing. Elena Felicia COSTEA (ALBOIU)

Wissenschaftlicher Leiter

Prof. Dr. Ing. Mircea DEGERATU

București

2014

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Gasen und Atemmischungen verwendet im Tauchen - Allgemeine Aspekte.....	5
1.1 Aktueller Stand der Technik	5
1.2 Gasgesetze mit Anwendung in der Hochdruckhydraulik	7
1.2.3 Zustandsgleichung idealer Gase	10
1.2.4 Henry-Gesetz.....	10
1.2.5 Das Allgemeine Gasgesetz	11
1.2.6 Die Gesetze von Dalton und Amagat	12

Kapitel 2

Gase in Verbindung mit dem Tauchen	14
2.1 Die Luft.....	14
2.2 Das Stickstoff.....	15
2.3 Das Sauerstoff.....	17
2.4 Das Helium.....	18
2.5 Der Wasserstoff.....	19
2.6 Das Neon	21
2.7 Das Argon	22
2.8 Das Kohlendioxid.....	22
2.9 Das Kohlenmonoxid.....	23

Kapitel 3

Künstliche Atemgemische mit Anwendungen im Tauchbereich	24
3.1 Das NITROX Gasgemisch	25
3.2 Das HELIOX Gasgemisch	26
3.3 Das HYDROX Gasgemisch	27
3.4 Das TRIMIX Gasgemisch	27

Kapitel 4

Die Herstellung der Atemgasgemische verwendet für Tauchen	29
4.1 Die Herstellung von Binären Atemgasgemische	30
4.1.1 NITROX Gemische	30
4.1.2 Die Herstellung von HELIOX Atemgasgemische	39
4.2 Herstellung der drei Komponenten bestehende Atemgasgemische - TRIMIX	39
4.3 Verbesserung der Atemgasgemische nach ihrer Herstellung.....	40
Literaturverzeichnis	42

Kapitel 1

Gasen und Atemmischungen verwendet im Tauchen - Allgemeine Aspekte

Die Erforschung, Erkundung und Ausbeutung der Unterwasserwelt spielt eine wichtige Rolle bei allen menschlichen Aktivitäten, sowohl von wirtschaftlicher als auch von der ökologischen Hinsicht. Das Tauchen Tätigkeitsfeld ist auch besonders wichtig für den militärischen Bereich, weil im Kriegsfall, die Meeresumwelt wird zum Schauplatz militärischer Operationen, in dem auch der Einsatz von Unterwassergeräten eine wichtige Rolle spielt. Um diese Art von Aktivitäten durchzuführen, der Mensch muss eine feindliche Umgebung betreten, dass negativ auf ihm wirkt. Die wichtigsten gegenüberstehende Probleme sind die Körperanpassung an hohe Druckwerte und ein eingeschränkter Zugang zu einer Sauerstoffquelle.

Die hyperbare Prozesse sind die, die sich in Hochdruck Zustände entwickeln, eigentlich unter Druckbedingungen höher als der Atmosphärendruck (Normaldruck) sind. Die durchgeführten Studien in das Gebiet der industrieller und militärischen professionelles Tauch, sind Forschungen die hyperbaren Prozesse beinhaltet.

1.1 Aktueller Stand der Technik

Für die Eindringung des Menschen in Unterwasser waren ursprünglich, keine Atemgeräte oder spezielle Ausrüstungen vorgesehen. Der Erfolg des Vorganges wurde nur durch die Fähigkeit des Tauchers um den Atem so lange wie möglich anzuhalten sichergestellt. Nachfolgend wurden Tauchglocken verwendet. Das Tauchen mit Luft Lieferung von der Wasseroberfläche oder mit autonomen Tauchgeräten wurde relativ vor kurzem verwendet.

Die Entwicklung in den letzten vierzig Jahrzehnten der Tauch Technologien, führte zu bedeutenden Fortschritten gekennzeichnet durch die Erreichung von immer größeren Tiefen und von längeren Tauchzeiten.

Durch die Erhöhung der Betriebstiefe und der Expositionszeiten beim hohen Druck, die Taucher konfrontieren sich mit medizinischen, physischen und psychischen, Problemen die ihre Arbeitsfähigkeit beeinflussen. Von diesen, sind die Dekompressionskrankheiten am allgemeinste.

Das Auftreten von Gasblasen im Körperinneren als Folge der Abnahme des Drucks wurde seit von der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts, in Laufe einer Serie von Experimenten auf Tiere, bemerkt. Beginnend mit dem zwanzigsten Jahrhundert, dieses Phänomen wurde herausgefunden auch an Taucharbeiter und

Senkkasten Arbeiter, und wurde angesehen als die Ursache der Dekompressionskrankheit. Gegründet auf die erwähnten Beobachtungen und die Schlussfolgerungen die erhielt wurden, wurde hergestellt die Notwendigkeit den Dekompressionsprozess zu optimieren, was letztendlich zu einer erhöhten Sicherheit für Taucher führte. Die theoretischen und experimentelle durchgeführten Studien haben das rudimentäre Wissen abgeschlossen, Tatsache die am Ende sich konkretisierte mit Dekompressionstabellen und ausgefeilten Modellen die für Taucher nützlich sind.

Für die Durchführung und Verfolgung der hyperbaren Prozesse die im Zusammenhang mit simuliertem oder realem technischem Tauchen sind, ist eine Oberflächenteam, bestehend aus Spezialisten für hyperbares Tätigkeitsbereich, die die Entwicklung der spezifischen Parameter (druckwerte, partielle Druckwerte, Volumen Beteiligungen der Gasen usw.) notwendig. Während des Tauchgangs die Techniker führen auf einem Bedienfeld spezifische Manöver aus, und im Falle eines Unfalls während der Kompression oder Dekompression Phasen, Ärzte spezialisiert in hyperbare Medizin sind bereit zu intervenieren.

Aus eine über 40 Jahren Erfahrung in das Gebiet der technischem und Sättigungstauchen, im Tauchcenter Constanța der Rumänischen Seestreitkräfte, für eine mehr sichere Entwicklung der Verfahren, erschien es notwendig die Automatisierung der Tauchprozesse.

Von dem Hinblick der Herstellung von binären und/oder ternären Atemgasmischungen verwendbar für alle Arten von Berufstauchen, ist derzeit verwendet eine Methode bestehend aus der aufeinanderfolgenden und kontrollierten Injektion der bestehenden Gase in Behältern mit konstanten Volumen gleichzeitig mit die Verfolgung des Inneren Druckwertes. Durch diese Methode erhält man vorbestimmte Atemgasmischungen die man sowohl beim Befüllen der Behälter der Hochdruckzimmern und denen den autonomen Tauchern verwendet.

Da denn die Arbeitstiefe und die Arbeitszeit können erfordern andere Mischungen als die die schon bereits hergestellt sind, und neue Mischungen zu präparieren mit den konventionellen Methoden wäre in den Moment unmöglich, das Tauchen mit den zur Verfügung gestellten Mischungen kann zu eine niedrige Effizienz führen.

Deshalb wurde erachtet als notwendig eine neue Methode für Atemgasmischungen Herstellung zu entwerfen. Die vorgeschlagene Methode voraussetzt die simultane und kontrollierte Injektion der bestehenden Gase, dafür sollte man Geräte mit kalibrierten Düsen im kritischen Bereich die im kritischen Regime (Schallflussmodus) operieren und dadurch leisten die Lieferung von den Gaskomponenten bei konstanten Massenströmen.

Einer der wichtigsten Rollen bei konzipieren, herstellen und operieren der Tauchgeräte spielen die Gase und die Gasmischungen die nachher verwendet werden. Der Typ des Gases oder der Atemgasmischung ist abhängig von zwei Faktoren nämlich des Gerät Typ und die gewählte Tauchtechnologie. Für eine korrekte

Entscheidung über das Gas, dass man verwendet werde, oder der Atemgas Mischung die man herstellen wird, es ist notwendig die physikochemischen Eigenschaften der beteiligten Gase zu kennen. Ebenso, für das Herstellen einer Gas Mischungen mit verschiedenen Konzentrationen der Komponenten, es ist notwendig gute Kenntnisse über die Mischungstechnologie.

Die tauch Atemgas Mischungen sind ein homogener Verein von ein oder zwei neutrale Gase und Oxygen. Meistens verwendet man Oxygen, Nitrogen, Helium und Hydrogen. Die Gas Mischungen die man bei kombinieren dieser Gase ergeben sind: NITROX (Nitrogen und Oxygen), HELIOX (Helium und Oxygen) und TRIMIX (Oxygen, Nitrogen und Helium). Neben der Feststellung der Gas Mischung Zusammensetzung im Zusammenhang mit der Tauchtiefe, ein sehr wichtiger Aspekt, ist die gewählte Methode für die Gaslieferung zu dem Taucher. Gleichgültig den gewählten Tauchmethode (autonomes oder technisches Tauchen), da die Atemmischungen sind durch die aufeinanderfolgende Injektion der Komponenten hergestellt, eine Veränderung des Tauchplans kann zu der Unterbrechung der Arbeit führt und folglich zu einer reduzierten Wirtschaftlichkeit.

Also, von der Hinsicht der verwendeten Gaskomponenten der hergestellten Atemgas Mischungen und ihre notwendige Dosierung, und ebenso von der Hinsicht der Flexibilität, um die Tauchbedürfnisse zu erfüllen, eine höhere Effizienz kann man erreichen durch Forschungen um die Verbesserung der aktuellen Verfahren oder durch den Vorschlag neuer Zubereitungsmethoden.

Dieser Forschungsbericht ist eine theoretische Studie erarbeitet um die Herstellung der Gas Mischungen verwendet in Tauchen zu dokumentieren, und auch manche Themen die zu praktischen Ergebnisse mit direkter Anwendbarkeit im Bereich des professionellen Tauchens führen.

1.2 Gasgesetze mit Anwendung in der Hochdruckhydraulik

Der Organisationsgrad der Bestandteilchen der Substanzen nimmt vom kristallinen Zustand bis zu den Flüssigkeiten ab und ist für den gasförmigen Zustand nicht vorhanden. Die Wechselwirkungskräfte zwischen den Partikeln verkleinern sich auch wie man es zuvor beschrieben hat. Weil die festen Körper stärkere Wechselwirkungskräfte haben, es folgt daher, ein hoher Wert für ihr Siedepunkt und Schmelzpunkt. Weil die Wechselwirkungskräfte bei Gasen sehr schwach sind, diese zwei Physische Konstanten haben kleinere Werte.

Wegen der schwachen Wechselwirkungskräfte, im gasförmigen Zustand, die Elementarteilchen neigen dazu den ganzen Raum zu besetzen, und in der gewöhnlichen Temperatur und Druck Bedingungen ihre Bewegung ist schnell. Deshalb die Molekülen sind in der Kinetischen Theorie der Gase betrachtet als dimensionslos. Bezüglich auf den Volumen des Behälters der Volumen der Molekülen ist sehr klein.

Die ideale, oder perfekte Gasen, sind die deren Molekülen als punktförmig betrachtet werden und nicht miteinander interagieren. Die realen Gase kann man als

„perfekte Gas“ betrachten in manche Fälle, nämlich wenn sie ein niedrigen Druckwert und eine hohe Temperatur haben.

Der Druck, der gleichmäßig auf die Wände des Behälters wirkt ist verursacht bei dem Zusammenstoß zwischen den Molekülen.

Nach der kinetischen molekularen Theorie, der Druck ist berechnet im Abhängig mit der durchschnittlichen kinetischen Energie der Translationsbewegung der Moleküle erhalten in die Volumeneinheit.

Die Gesetze der idealen Gase wurden empirisch entdeckt und sie wurden erklärt mit Hilfe der kinetischen Theorie der Gase, wonach ein Gas aus kugelförmigen, vollkommen elastischen Molekülen besteht. Die Bewegung dieser Moleküle ist beliebig ohne eine bevorzugte Richtung, und mit einer Geschwindigkeit die mit der Temperatur steigt.

Eine erste Theorie um die Gesetze der kinetische Gastheorie festzustellen wurde von Clausius ausgegeben. Diese Theorie betrachtet den Molekülen als perfekt kugelförmig, elastisch und nur durch die translatorische Bewegung animiert. In der Realität aber, die Molekülen führen Rotationsbewegungen, Schwingungen und Vibrationen aus.

Clausius Theorie wurde durch die Theorien von Boltzman und Maxwell ergänzt die erstaten dass die Molekülen unterschiedliche Geschwindigkeiten haben, die erreichenden Werte liegen in einen Bereich von null bis zu unendlich, aber es gibt jedoch ein bestimmte Geschwindigkeit die höchstwahrscheinlich bei einer gewissen Temperatur auftritt [6].

Andere Theorien die zur Feststellung der Gesetze der kinetischen Theorie der Gase beigetragen haben, haben festgestellt, dass diese von drei physikalischen Größen beeinflusst werden, nämlich der Druck, die Temperatur und den Volumen. Die Veränderung einer vor den drei Größen beeinflusst die Werte der anderen zwei.

Die kinetische Theorie der Gase behauptet, dass die kinetische Energie eines Gases bei einer gegebenen Temperatur ist für jedes Gas, dass sich unter denselben Temperatur Bedingungen befindet, gleich. Also der Druck aller Gasen ist abhängig von der kinetischen Aktivität und ist beeinflusst bei denselben Faktoren. Der mathematische Ausdruck der Beziehungen zwischen diesen drei physikalischen Größen wurde „Gasgesetz“ genannt.

1.2.1 Das Boyle – Mariotte Gasgesetz

Dieses Gesetz behauptet das bei einer konstanten Temperatur, für eine bestimmte Gasmenge die langsam komprimiert ist, steigt der Druck umgekehrt proportional zum vorhandenen Volumen.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (1.1)$$

oder in einer allgemeinen Form geschrieben:

$$pV = \text{konstant} \quad (1.2)$$

die Bedeutung der Größen ist die folgende:

p_1 – Anfangsdruck (Absolut-Druck);

p_2 – Enddruck (Absolut-Druck);

V_1 – Anfangsvolumen (L^3);

V_2 – Endvolumen (L^3).

Weil das Boyle – Mariotte Gesetz drückt aus den Volumenänderung in Abhängigkeit von der Druckänderung, dieses Gesetz hat eine besondere Wichtigkeit für das Tauchen. Also, für ein Apnoe-Taucher verändert sich den Volumen seiner Lungen mit der Tauchtiefe. Nach NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S.A), an eine 10 m Tiefe, der Volumen der Lungen verkleinert sich mit 50 %, an einer Tiefe von 30 m der gebliebene Volumen der Lungen ist 25 %, und an eine Tiefe von 90,5 m von der ursprünglicher (in atmosphärische Bedingungen) Volumen der Lungen die Verringerung ist von 90 %. Es ist offensichtlich, dass diese Änderungen tödliche Folgen für den Tauchern haben können. Bei kennen und mit der Anwendung der richtigen Tauchtechniken diese Gefahren können vermeiden werden.

1.2.1 Die Gesetze von Gay – Lussac und Charles

Die Temperaturänderung beeinflusst den Druck und de Volumen des Gases. Diese Physische Realität ist mathematisch ausgedrückt durch die Gesetze von Gay-Lussac und Charles.

Die Verbindung zwischen Druck und Temperatur ist mathematische ausgedrückt als:

$$\frac{V}{T} = \frac{2}{3} \frac{M \cdot a}{p} = \text{konstant} \quad (1.3)$$

Wie es man es leicht bemerken kann, dass Gay-Lussac Gesetz bestätigt, dass für ein konstantes Druckwert das Verhältnis zwischen den Volumen einer konstanten Masse von Gas und sein absolutes Temperaturwert ist konstant.

Das Gesetz von Charles vermutet, dass für einen konstanten Volumen eines idealen Gases, das Verhältnis zwischen den Druck und die absolute Temperatur ist auch konstant.

$$\frac{p}{T} = \frac{2}{3} \frac{M \cdot a}{V} = \text{konstant} \quad (1.4)$$

Die physikalischen Größen aus der vorherigen Beziehung haben die folgende Bedeutung:

V - das Volumen des Gases;

T - die Absolute Temperatur;

M - die Masse des Gases;

a - der Proportionalitätskoeffizient der Gase;

p - der Druck (Absolutdruck).

1.2.3 Zustandsgleichung idealer Gase

Ausgehend von den Gesetzen von Boyle – Mariotte und Gay – Lussac, Clapeyron (1843) abgeleitete die Zustandsgleichung idealer Gase.

$$pV = MRT \quad (1.5)$$

Oder, in eine andere Form geschrieben:

$$p \frac{V}{M} = RT \quad (1.6)$$

wo:

p - der Druck;

V - das Volumen des Gases;

M - die Masse des Gases;

R - die charakteristische Konstante des idealen Gases (abhängig von der Molekülmasse);

T - die Absolute Temperatur.

1.2.4 Henry-Gesetz

Dieses Gesetz bezeichnet sich an die Auflösung der Gase in Flüssigkeiten. Dieses physikalische Phänomen ist im Zusammenhang mit den Prozessen, die im menschlichen Körper stattfinden, sobald er den Druckschwankungen ausgesetzt ist. Das Henry-Gesetz besagt, dass bei einer konstanten Temperatur, die Masse eines Gases, die sich in eine Flüssigkeit löst, zur Sättigung, in direkter Verhältnismäßigkeit mit dem Partialdruck des Gases, das sich im Kontakt mit der Flüssigkeit befindet.

$$\frac{V_G}{V_L} = \alpha p_1 \quad (1.7)$$

wo:

V_G – Volumen des Gases gelöst in der Flüssigkeitsmenge in Standardbedingungen für Druck und Temperatur;

V_L – Volumen der Flüssigkeit;

α – Löslichkeitskoeffizient, abhängig von der Temperatur;

p_1 – Partialdruck des Gases das, dass sich im Kontakt mit der Flüssigkeit befindet.

Eine andere Form des Henry Gesetzes ist:

$$p = k_H C \quad (1.8)$$

wo:

p – Partialdruck des Gases das, dass sich im Kontakt mit der Flüssigkeit befindet;

C – die Konzentration des gelösten Gases;

k_H – die Henry Konstante.

Nach dem vorgestellten, es ist offensichtlich, dass die Gasmenge die in den Geweben des Tauchers gelöst ist, steigt mit der Tauchtiefe. Bei der Rückkehr zur Oberfläche, wird die gelöste Gasmenge freigesetzt. Folglich muss die Dekompression so durchgeführt werden, dass das Auftreten von Gasblasen im Körper und somit die Dekompressionskrankheiten vermieden werden.

Neben dem Druck, ein anderer wichtiger Faktor der die im Körper angesammelte Gasquantität beeinflusst, ist die Zeitdauer in dem das Gas geatmet ist. Abhängig von der Art des Gases, und offensichtlich, von dem Druck mit dem das Gas geatmet wird, die Sättigungsdauer des Körpers variiert in einem ziemlich weiteren Bereich, nach NOAA 8 – 24 Stunden.

1.2.5 Das Allgemeine Gasgesetz

Wie es man von den vorgestellten Gesetzen bemerken kann, das Druck, die Temperatur und den Volumen sind physikalischen Größen die sich gegenseitig beeinflussen.

Das Gesetz der idealen Gase ist verwendet für das Schätzen der Änderungen die im Falle einer Gasmenge auftreten, wenn sich der Wert einer, oder aller obengenannten physikalischen Größen sin verändert. Mathematisch dieses Gesetz wird geschrieben als:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1.9)$$

wo:

$p_{1/2}$ – Anfangsdruck/Enddruck (Absolut-Druck);

$V_{1/2}$ – Anfangsvolumen/Endvolumen;

$T_{1/2}$ – Anfangstemperatur/Endtemperatur.

1.2.6 Die Gesetze von Dalton und Amagat

Im Bereich des Tauchens, des Gesetzes von Dalton ist angewendet für die Berechnung der Differenz zwischen den Partialdrücke bei Atmung unter normalen Bedingungen oder bei verschieblichen Tiefen. Dieses Gesetz zeigt, dass bei einer gegebenen Temperatur der Druck eines Gasmisches p_{am} , gleich der Summe der Partialdrücke jedes Gaskomponente der Mischung, p_{g_i} ($i = 1, 2 \dots n$), ist. Folglich des Dalton Gesetzes, der totale Druck einer Gasmischung ist von der Summe der Partialdrücke der Komponenten gegeben (Gleichung 1.10).

$$p_{am} = \sum_{i=1}^n p_{g_i} = p_{g_1} + p_{g_2} + \dots + p_{g_i} + \dots + p_{g_n} \quad (1.10)$$

Der Partialdruck eines Gases ist der Druck, dass diese Gasquantität ausübt, wenn es sich allein in das Volumen befinden würde. Das Wert des Partialdrucks eines Gases aus einem Gasmisch, p_x , wird durch die Anwendung der folgenden Gleichung bestimmt:

$$p_x = Gas \% \cdot p_T \quad (1.11)$$

wo:

Gas % – der Prozent der Komponenten „x“ ausgedrückt in Dezimalzahlen;

p_T – totalen Druck (Absolutdruck);

Das Gesetz von Amagat ist mathematisch ausgedrückt als:

$$\sum_{i=1}^n r_{g_i} = r_{g_1} + r_{g_2} + \dots + r_{g_i} + \dots + r_{g_n} = 1 \quad (1.12)$$

Der Partialdruck eines Gasbestandteils aus einem Gasgemisch wird beim Multiplizieren des Drucks des Gasgemischs mit dem Volumenbeteiligung, r_{g_i} das betrachteten Gaskomponente erhalten.

$$p_{g_i} = p_{am} \cdot r_{g_i} \quad (1.13)$$

Die Massenbeteiligung m_i ist das Verhältnis zwischen die Masse einer beliebigen Komponenten M_i und di Masse der Gasgemisches M_{am} .

$$m_i = \frac{M_i}{M_{am}} \quad (1.14)$$

Für n Komponenten:

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1 \quad (1.15)$$

Durch das anwenden der charakteristischen Zustandsgleichung für eine Komponente in der Mischung können Berechnungsbeziehungen zwischen der Volumenbeteiligung und der Massenbeteiligung erhalten werden.

$$p_{am} V_i = M_i R_i T_{am} \quad (1.16)$$

oder

$$p_{am} V_{am} = M_{am} R_{am} T_{am} \quad (1.17)$$

wo:

p_{am} – der Druck des Gasgemischs;

M_i, M_{am} – die Masse der Komponenten i, beziehungsweise des Gasgemisches;

R_i, R_{am} – die charakteristische Konstante der Komponenten i, beziehungsweise des Gasgemisches;

V_i, V_{am} – den verminderten Volumen der Komponenten i, beziehungsweise den Volumen des Gasgemisches;

T_{am} – die Temperatur des Gasgemisches.

Kapitel 2

Gase in Verbindung mit dem Tauchen

In über 160 Jahrzehnten die vergangenen sind von der ersten Erwähnung in das Werk „Epitoma rei militaris“, geschrieben von Publius Flavius Vegetius Renatus, über Unterwasserkampfgeräte, die Luft als Atemgas verwendeten, wurden immer komplexe solche Geräte entworfen und gebaut. So wurden also im Laufe der Zeit Verfahren, und Technologien entwickelt, damit das Menschen immer größere Tiefen zu erreichen.

Heutzutage abhängig von dem Typen des Tauchgerätes und die benützte Tauchtechnologie, sind verwendet verschiedene Gase und Gasmischungen.

2.1 Die Luft

Die Luft (atmosphärische Luft) war das erste, und ist das meistverwendete Gasmisch verwendet im Tauchen. Seine Zusammensetzung ist aus inerten und metabolischen Gasen gebildet, hauptsächlich Sauerstoff und Stickstoff, und in variablem Mengen andere Gase wie Kohlendioxid, Wasserdampf, Ozon, Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und in sehr geringe Mengen (Spuren) von Xenon, Helium, Krypton, Argon, Methan, Stickoxid, Wasserstoff und Neon. Die Anteile in denen sich diese Elemente in der Luft befinden sind: 78,1% Stickstoff und 20,9% Sauerstoff. Die restlichen 1% setzen sich aus den anderen Komponenten zusammen (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1 Zusammensetzung der trockenen atmosphärischen Luft (nach NOAA)

Gas	Prozent vom Volumen (%)	Teile pro Million (ppm)
Stickstoff	78,084	-
Sauerstoff	20,946	-
Argon	0,934	-
Kohlendioxid	0,033	-
Edelgase	0,033	30,00*
Neon	-	18,18*
Helium	-	5,24*
Kohlenmonoxid	-	2,36*
Methan	-	2,00*
Krypton	-	1,14*
Hydrogen	-	0,5*
Stickstoffprotoxid	-	0,5*
Xenon	-	0,08*

* - ungefähre Werte

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration al S.U.A.

Als Folge der Luftverschmutzung neben dem vorgenannten Gasen, die atmosphärische Luft kann auch andere Elemente erhalten. Ein Beispiel in dieser Sicht ist das Vorhandensein des Kohlenmonoxids als Folge der Verbrennungen die im Verbrennungsmotoren stattfinden. Diese Schadstoffe muss man aus der Zusammensetzung der Luft beseitigen, bevor dieser als Atemgas verwendet wird.

Die chemische Komposition der Luft bestimmt den Gasaustausch zwischen den menschlichen Organismus und die Umwelt. Der täglich eingeatmete Luftvolumen eines Menschen der sich in normalen Umweltbedingungen befindet, ist ungefähr 14...15 m³.

In das Atmungssystem der Kontakt zwischen die geatmete Luft und den Organismus ist ausgeführt auf eine 90 m² Oberfläche. Durch den Atmungsprozess treten verschiedene Änderungen in der Luftzusammensetzung (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2 Die Änderungen der Luftzusammensetzung durch den Atmungsprozess [3]

Gas	Anteil der Luftkomponenten [%]	
	eingeatmet	ausgeatmet
Stickstoff	78...79	78...79
Sauerstoff	20..21	16...17
Kohlendioxid	0,03...0,04	3...4

Die atmosphärische Luft kann unter Sicherheitsbedingungen nur zum Tauchen in geringen Tiefen, ungefähr 30m, verwendet werden. Bei tiefen Tauchgängen bei der Rückkehr zum Atmosphärendruck, im Falle einer unsachgemäßen Rückkehr zum Atmosphärendruck, kann der Taucher Unfälle erleiden.

2.2 Das Stickstoff

Dieses chemische Element wurde von der französischen Forscher Antoine Laurent de Lavoisier (1773) „Azote“ genannt. Die Benennung kommt aus der altgriechischen Sprache wo „a“ bezeichnet „ohne“ und „zoon“ bedeutet „Leben“. Danach wurde dieses Element auch „Nitrogen“ genannt, was „Generator von Salpeter“ bedeutet.

Stickstoff ist das am meisten in der Luftzusammensetzung erhaltene Gas (Tabelle 2.1). Aus der organoleptischen Sicht, dieses zweiatomige Gas ist farblos, geruchlos und fad. Er ist in Wasser schwer löslich. Stickstoff gehört zu den nichtmetallischen Elementen der V-ten Gruppe Z7, hat ein Wert der atomischen Masse von 14,0067, eine 2s²2p³ atomische Struktur der Äußeren Schicht, und seine Valenz ist I, II, III, IV, V. Der Siedepunkt von Stickstoff ist – 195,8°C, und sein Schmelzpunkt ist - 210 °C. Wegen der hohen Verschiebungswärme des N₂ Moleküle, also der starken N ≡ N Bund, ist die chemische Reaktivität des molekularen Stickstoffs sehr gering. Bei hohen Wärmewerten, und in der Angewiesenheit der Katalysatoren, die Fähigkeit des Stickstoffs zu reagieren steigt. Unter diesen Umständen, der Stickstoffs kann sich mit H₂, O₂ und einige Metalle kombinieren. Stickstoff ist nach Fluor und Sauerstoff das elektronegativste Element. In chemischen Kombinationen mit diese letzten zwei Elementen, es wird angenommen, dass Stickstoff in einem positiven

Oxydationszustand ist, und in der Zusammenwirkung mit Wasserstoff und Metallen benehmt sich als elektronegatives Element.

Weil Stickstoff nur vier freie Orbitale auf der Außenschicht hat, die Anzahl der Kovalenten Bindungen die er bilden kann, ist ebenfalls vier. Im Falle der Kombinationen in denen drei Bindungen sich bilden, das Elektronenpaar der Stickstoffatoms die nicht teilnehmen bestimmt seine Donor-eigenschaften. Manche von den physikochemischen Eigenschaften des Stickstoffs sind in die Tabelle 2.3 gegeben.

Tabelle 2.3 Die physikochemischen Eigenschaften des Stickstoffs

Physische Größe	Maßeinheit	Wert
Molarvolumen	[m ³ /kmol]	22,403
Molarmasse	[kg/kmol]	28,013
Kritische Temperatur	T _{cr} [K]	126,1
Siedepunkt (Temperatur bei 1,013 bar abs.)	T _f [K]	77,4
Thermische Konduktivität	k [μcal/cm s K]	58,0
Selbstdiffusionskoeffizient	D [cm ² /s]	0,178
Dichte	ρ [g/l]	1,251
Dynamischer Viskositätskoeffizient	μ [micropoise]*	167,4
Spezifische Wärme bei konstantem Volumen	C _v [cal/gK]	0,177
Van der Waals Konstante	a – at/(l/mol) ²	1,39
	b – l/mol	0,0394
Kritischer Druck	p _{cr} [ata]**	33,5
Durchmesser des Moleküls	[Å]***	3,76
Löslichkeit in Wasser	[l/l]	0,0155
Löslichkeit in Ethylalkohol	[l/l]	0,1304
Löslichkeit in Ethylalkohol Benzol	[l/l]	0,1038

*1 micropoise = 10⁻³ poise = 10⁻³ g/(cm s) = dyn s/cm²; **ata – Atmosphäre (als Absolut-Druck; ***Å – angström (1 Å = 10⁻⁸ cm)

Weil Stickstoff nur vier freie Orbitale auf der Außenschicht hat, die Anzahl der Kovalenten Bindungen die er bilden kann, ist ebenfalls vier. Im Falle der Kombinationen in denen drei Bindungen sich bilden, das Elektronenpaar der Stickstoffatoms die nicht teilnehmen bestimmt seine Donor-eigenschaften. Manche von den physikochemischen Eigenschaften des Stickstoffs sind in die Tabelle 2.3 gegeben.

Ein anderes bedeutender Merkmal des Stickstoffs ist die Eigenschaft nicht entzündbar sein. Aus diesem Hinsicht Sauerstoff befindet sich am Gegenpol.

Sauerstoff kann man erhalten im Laborator bei der Zusammensetzung von Ammoniumnitrat oder von einer NH₄Cl und NaNO₂ Lösung (Gleichung 2.1). Sauerstoff ist industriell Herstellt durch fraktionierte Destillation von flüssiger Luft.



Sauerstoff ist in die Zusammensetzung aller lebenden Organismen enthalten, wodurch ein Stickstoffkreislauf in der Natur vorkommt.

Da sich der Sauerstoff durch den Atmungsprozess leicht in den Geweben löst und so in das Blut gelangt aber ohne den Stoffwechselprozessen teilzunehmen, ist er

von diesem Standpunkt, Inertgas genannt. Jedoch, mit der Verringerung des Umgebungsdrucks, die hohe Löslichkeit des Sauerstoffs führt zur Blasenbildung in dem Organismus. Das ist ein großes Problem im Dekompressionsprozess von Tauchern. Also, aus physiologischer Sicht, in den normalen Bedingungen, der Stickstoff ist inert. Mit der zunehmenden Partialdruck, dieses Gas hat anästhetische Eigenschaften, die sich als Bewusstseinsverlust und dem Auftreten von Desorientierung (Narkose) manifestieren. In dem Artikel „Mixed Gas in Diving“ [14] ist angegeben, dass bei mehr als 60 m Meerwassersäule äquivalenten Druck des Stickstoffs den Zustand des Tauchers beginnt euphorisch zu sein, und die funktionale, geistige und körperliche Leistungsfähigkeit ist reduziert. Über 180 m Meerwassersäule erscheint der Bewusstseinsverlust des Tauchers ein. In dem genannten Artikel wird angegeben, dass die individuellen Toleranzgrenzen stark von der Art der entwickelten Arbeit abhängen. Im Falle der Tieftauchens können die Symptome in der Anfangsphase auftreten, aber mit der Zeit nehmen sie ab. Die Veränderungen, die in dem Atmungssystem, die zusammen mit zunehmendem Druckwert vortraten, reduzieren die Belüftungskapazität bei Verwendung stickstoffhaltiger Atmungsgemische.

Obwohl das im Vergleich zu anderen Gasen Nachteile hat, beim Tauchen wird Stickstoff verwendet, entweder in der natürlichen Mischung, die atmosphärische Luft bildet, oder in synthetischen Mischungen um Sauerstoff zu verdünnen.

2.3 Das Sauerstoff

Als unverzichtbarer Bestandteil des Lebens ist die Bedeutung von Sauerstoff beim Tauchen offensichtlich. Die Abnahme des Sauerstoffgehalts in der Luft unter 7% hat als Folge Umweltbedingungen unvereinbar mit dem Leben. Die atmosphärische Luft enthält im freien Zustand 21% Sauerstoff. Dieses Gas ist das am weitesten verbreitete chemische Element in der Natur, das ein Bestandteil der Materie lebender Organismen ist. Sauerstoff ist ein farbloses, geruchloses und fadiges Gas, das sich leicht mit anderen chemischen Elementen verbindet. Im flüssigen Zustand hat Sauerstoff eine blaue Farbe. Sauerstoff ist Teil der vierten Hauptgruppe Z8, hat die elektronische Struktur der äußeren Schicht $1s^2 2s^2 2p^4$, hat die Wertigkeit II und eine Atommasse von 15,999. Sauerstoff befindet sich in der Luft im freien Zustand, und im kombinierten, im Wasser und verschiedenen Mineralien wie Oxiden, Silikaten, Carbonaten, Sulfaten. Im Wasser hat Sauerstoff eine niedrige Löslichkeit. Die Werte für den Siedepunkt und Schmelzpunkt von Sauerstoff sind -183°C beziehungsweise -218°C . In der Tabelle 2.4 sind die Werte einiger der wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften dieses Gases eingetragen.

In chemischen Kombinationen wirkt Sauerstoff als bivalentes, elektronegatives Element. Dieses Gas bildet Kombinationen mit allen chemischen Elementen mit Ausnahme von Edelgasen.

Die Gewinnung von Sauerstoff durch industrielle Prozesse wird durch fraktionierte Destillation der flüssigen Luft- und Wasserelektrolyse erreicht. In reinem,

stickstofffreiem Zustand kann Sauerstoff durch thermische Zersetzung von Oxiden und Salzen erhalten werden.

Tabelle 2.4 Die physikochemischen Eigenschaften des Sauerstoffs

Physische Größe	Maßeinheit	Wert
Molarvolumen	[m ³ /kmol]	22,403
Molarmasse	[kg/kmol]	31,999
Kritische Temperatur	T _{cr} [K]	154,4
Siedepunkt (Temperatur bei 1,013 bar abs.)	T _f [K]	90,2
Thermische Konduktivität	k [μcal/cm s K]	58,5
Selbstdiffusionskoeffizient	D [cm ² /s]	0,189
Dichte	ρ [g/l]	1,429
Dynamischer Viskositätskoeffizient	μ [micropoise]*	192,6
Spezifische Wärme bei konstantem Volumen	C _v [cal/gK]	0,157
Van der Waals Konstante	a – at/(l/mol) ²	1,36
	b – l/mol	0,0318
Kritischer Druck	p _{cr} [ata]**	49,7
Durchmesser des Moleküls	[Å]***	3,62
Löslichkeit in Wasser	[l/l]	0,0314
Löslichkeit in Ethylalkohol	[l/l]	0,1431
Löslichkeit in Ethylalkohol Benzol	[l/l]	0,163

Sauerstoff ist das einzige Gas, dass man im Tauchen als solches verwenden können. Eingeatmet aber unter Hochdruckbedingungen, das reine Sauerstoff hat neurotoxische Wirkungen, und unter normalen Druckbedingungen, bei einer längeren Inhalation, kann es zu Lungenschäden kommen. Obwohl der erste Aspekt seit 1878 von Paul Bert und der zweite Aspekt von Lorrain und Smith 1899 beschrieben wurde, die Verwendung von Sauerstoff als Atemgas, führte im Laufe der Zeit zu zahlreichen Unfällen. Ein wichtiges Merkmal des Lufts ist das von allen seinen Komponenten nur der Sauerstoff wird vom menschlichen Körper verwendet für das Atmen. Den Rest der Komponenten, etwa 79%, dient zur Verdünnung des Sauerstoffs.

In „Physics of Diving“, ein Material geschrieben und veröffentlicht von das National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der Vereinigten Staaten, sind präsentiert die Aspekte im Zusammenhang mit der Verwendung von Sauerstoff beim Tauchen. Zum Beispiel die Verwendung von reinem Sauerstoff, wird nur für geringe Tauchtiefen und bestimmte Phasen des Tieftauchens. Eine andere Erwägung ist im Zusammenhang mit der vorsichtigen Manipulierung und Verwendung dieses Gases, ist die Notwendigkeit der Beschriftung der Sauerstoffbehälter. Das Einatmen von anoxischen Gasgemischen, führt, in ein paar Augenblicke, zum Bewusstseinsverlust, Gehirnschaden und letztendlich zum Tod.

2.4 Das Helium

Helium ist ein chemisches Element, das zur Gruppe der seltenen Gase Z2 mit der elektronischen Struktur 1s² gehört. Manche seiner Eigenschaften sind in die Tabelle 2.5 gegeben. Wie es zuvor im Unterkapitel 2.1 erwähnt wurde, der Heliumgehalt in atmosphärischer Luft beträgt 5,2 · 10⁻¹⁰% Vol. Der Schmelzpunkt von Helium beträgt -272,1 ° C bei einem Druck von 25 atm und sein Siedepunkt beträgt -268,98 ° C.

Der Name dieses farblosen, monoatomaren Gases stammt von den griechischen "Helios", die die Sonne bezeichnen, durch deren Spektrographie, in Jahre 1868, dieses chemische Element entdeckt wurde.

Tabelle 2.5 Die physikochemischen Eigenschaften des Heliums

Physische Größe	Maßeinheit	Wert
Molarvolumen	[m ³ /kmol]	22,43
Molarmasse	[kg/kmol]	4,002
Kritische Temperatur	T _{cr} [K]	5,26
Siedepunkt (Temperatur bei 1,013 bar abs.)	T _i [K]	4,26
Thermische Konduktivität	k [μcal/cm s K]	352
Selbstdiffusionskoeffizient	D [cm ² /s]	-
Dichte	ρ [g/l]	0,1785
Dynamischer Viskositätskoeffizient	μ [micropoise]*	188,7
Spezifische Wärme bei konstantem Volumen	C _v [cal/gK]	0,745
Van der Waals Konstante	a – at/(l/mol) ²	0,034
	b – l/mol	0,0236
Kritischer Druck	p _{cr} [ata]**	2,26
Durchmesser des Moleküls	[Å]***	2,17
Löslichkeit in Wasser	[l/l]	0,0088
Löslichkeit in Ethylalkohol	[l/l]	0,0281
Löslichkeit in Ethylalkohol Benzol	[l/l]	0,018

Als Folge seiner geringen Dichte, 70-mal leichter als die Luft, wurde er am Anfang der XX Jahrhundert für die Füllung der Aerostaten verwendet.

In einige Gebieten Amerikas und der Russischen Föderation, Helium kommt in etwas größeren Mengen im Erdgas vor. Durch die Verwendung der Verflüssigung als Trennverfahren, kann aus der atmosphärischen Luft Helium erhalten werden. Bei der Anwendung dieses Verfahrens bleiben Helium und Neon in der nicht kondensierten Fraktion. Ihre Trennung wird durch Adsorption auf Aktivkohle, Methode durch dem das Neon gehalten wird.

Im Gebiet des Tauchens, das Helium ist verwendet meistens in Gasmischungen für große Tiefen. Seine Rolle ist als Sauerstoffverdünnungsmittel.

Seine dichte ist kleiner als der des Stickstoffs, und deshalb gibt es bei seiner Verwendung für Tieftauchen einige Vorteile wie die Verringerung des Atemwiderstands und die Abwesenheit eine Auswirkung ähnlich der Narkose.

Die Nachteile der Verwendung von Helium beim Tauchen werden erstens durch eine schnelle Kühlung des Organismus, als folge der Atmungsprozesses, die Ursache ist eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit dieses Gases, und zweitens die Veränderung des Klangspektrums, das die Kommunikation mit der technischen Mannschaft beeinflusst.

2.5 Der Wasserstoff

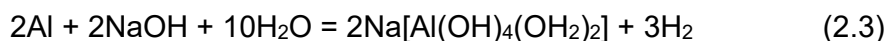
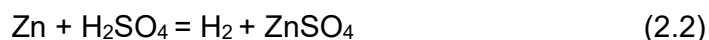
Der Wasserstoff ist ein zweiatomigen farbloses, fades und geruchloses Gas. Im Vergleich zu dem Helium, aus der Sicht der Verflüssigungsprozess, Wasserstoff ist an zweiter Stelle. Da er sehr aktiv ist, wird er im freien Zustand sehr selten gefunden. Einige andere Merkmal sind, dass es das leichteste der Gase ist und dass es die höchste Diffusionsgeschwindigkeit hat. Der Wert seiner atomischen Masse ist

1,00797, seine elektronische Struktur $1s^1$ und seine Valenz ist 1. Der Siedepunkt von Wasserstoff ist $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ und sein Schmelzpunkt $-259,14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Einige der Hauptmerkmale des Wasserstoffs sind in Tabelle 2.6 angegeben.

Tabelle 2.6 Die physikochemischen Eigenschaften des Wasserstoffs

Physische Größe	Maßeinheit	Wert
Molarvolumen	$[\text{m}^3/\text{kmol}]$	22,428
Molarmasse	$[\text{kg}/\text{kmol}]$	2,016
Kritische Temperatur	$T_{\text{cr}} [\text{K}]$	33,3
Siedepunkt (Temperatur bei 1,013 bar abs.)	$T_{\text{r}} [\text{K}]$	20,4
Thermische Konduktivität	$k [\mu\text{cal}/\text{cm s K}]$	416
Selbstdiffusionskoeffizient	$D [\text{cm}^2/\text{s}]$	1,285
Dichte	$\rho [\text{g}/\text{l}]$	0,0899
Dynamischer Viskositätskoeffizient	$\mu [\text{micropoise}]^*$	85
Spezifische Wärme bei konstantem Volumen	$C_v [\text{cal}/\text{gK}]$	2,411
Van der Waals Konstante	$a - \text{at}/(\text{l}/\text{mol})^2$	0,245
	$b - \text{l}/\text{mol}$	0,0267
Kritischer Druck	$p_{\text{cr}} [\text{ata}]$	12,8
Durchmesser des Moleküls	$[\text{\AA}]$	2,72
Löslichkeit in Wasser	$[\text{l}/\text{l}]$	0,0182
Löslichkeit in Ethylalkohol	$[\text{l}/\text{l}]$	0,0769
Löslichkeit in Ethylalkohol Benzol	$[\text{l}/\text{l}]$	0,0659

Im Freien Zustand, Wasserstoff ist vorhanden im Gasen aus der Erdkruste, in Wasser und in die organische Materie. Die Erhaltung von Wasserstoff ist erreicht durch die Wechselwirkung zwischen verdünnten Säuren und einigen Metallen, durch die Einwirkung einer ziemlich konzentrierten Lösung von Natriumhydroxid und einige Elemente wie Zn, Al und durch die Zersetzung von Wasser durch Alkalimetalle. Die industrielle Erhaltung von Wasserstoff wird, im reinen Zustand erhalten durch Wasserelektrolyse. Tatsächlich es wird durchgeführt die Elektrolyse einiger alkalischer Lösungen.



Wasserstoff kombiniert sich direkterweise mit die meisten der Nichtmetalle. Dass als Ergebnis ist die Bildung von flüchtigen molekularen Kombinationen. Folglich Wasserstoff reagiert energisch mit Halogenen. Indem Wasserstoff sein Elektron mit dem Elektron anderer Elemente teilt, eine andere Eigenschaft von Wasserstoff besteht darin, kovalente Bindungen mit anderen Elementen herzustellen. Dieses chemische Element verbindet sich bei den hohen Temperaturen mit Schwefel, und unter bestimmte Bedingungen mit Stickstoff. Im Vergleich mit einige der Metalloxide, Wasserstoff wirken als Reduktionsmittel (zum Beispiel $\text{CuO} + \text{H}_2 = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$). Es ist zu beachten, dass ein 2:1 Gemisch zwischen H_2 und O_2 explodiert, wenn es Voraussetzungen für das Auftreten eines Funkens gibt.

Im Allgemeinen wird Wasserstoff verwendet, um Ammoniak zu synthetisieren, organische Substanzen zu hydrieren und synthetische flüssige Kraftstoffe herzustellen.

Die Verwendung des Wasserstoffs für die Herstellung von atmungsaktiven Gasgemischen wird aufgezeichnet für das erste mal im Jahre 1789, im Zusammenhang mit die experimentellen Laborstudien von Lavoisier und Seguin die eine Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff testeten. Im Anschluss der Studien stellten sie fest, dass der verbrauchte Sauerstoff aus der Wasserstoff-Sauerstoff Gemisch war ungefähr gleich der für das Atmen im Falle des Stickstoff-Sauerstoff Gemisches.

Obwohl sich im Laufe der Zeit auch andere Studien mit der Verwendung von Wasserstoff in Atemwegsmischungen beschäftigten, wird seine Verwendung beim Tauchen dem schwedischen Ingenieur Arne Zetterstrom (1944) zugeschrieben.

Die Rolle Wasserstoffs bestand darin, Stickstoff und Helium aus Atemgemischen die zum Tauchen verwendet wurden, zu ersetzen. Da es sich um das chemische Element mit der kleinsten Dichte handelt, ist der Atemwiderstand bei hohem äußerem Drücken gering. Das Hauptproblem bei der Verwendung von Wasserstoff in Kombination mit Sauerstoff besteht in die Explosionsgefahr. Obwohl die für die Verbrennung erforderliche Sauerstoffkonzentration mit dem Druck variiert, gilt als allgemeine Regel, dass die Anwesenheit von Sauerstoff von mehr als 4% (einige Autoren erwähnen 5%) im Wasserstoff-Sauerstoff Gemisch die Gefahr einer spontanen Explosion bergen. Also Wasserstoff kann verwendet werden in Atemmischungen für Drücke bei denen weniger als 5% O₂, versichert ein Sauerstoffpartialdruck die genügend ist um die lebenswichtigen Funktionen aufrechtzuerhalten.

Wegen Arne Zetterstrom Tode (07.08.1945) der, während der Dekompressionsphase eines Tauchgangs stirbt, die Verwendung von Wasserstoff beim Tauchen wird bis Mitte der 1960er Jahre aufgegeben, wenn neue Forschungen zur Verwendung dieses Gases in Atemgemischen aufgenommen werden.

Einen von den Studien wurden an Tieren entwickelt die für 24 Stunden Wasserstoff-Sauerstoff Gemisch bei einem Druck von 70 atm geatmet haben. Eine interessante Schlussfolgerung dieser Studien war, dass Wasserstoff das "Hochdrucknervensyndrom" reduziert, das häufig beim Tieftauchen mit Helium enthaltenden Gemischen auftritt [14].

2.6 Das Neon

Zur Bildung von Atemgemischen wurde auch experimentell, zur Verdünnung von Sauerstoff, Neon verwendet. Dieses Gas wurde in Jahre 1898 von Ramsay und Rayleigh entdeckt.

Neon ist ein farbloses, monoatomisches Edelgas. Seine Atommasse ist 20,183, und die Struktur seiner äußeren elektronischen Schicht ist $1s^2 2s^2 2p^6$. Wie es in die Tabelle 2.1 eingetragen ist, Neon findet sich zusammen mit den anderen Edelgasen

in die Luft, deren Inhalt in Neon $1,8 \cdot 10^{-3}$ % Vol. ist. Neon hat ein Siedepunktwert von - 246,03°C und ein Schmelzpunktwert von - 248,6°C. Seine Herstellung wird durch das Aktivkohle-Trennverfahren durchgeführt. Neon wird aus der nicht kondensierten Fraktion in der atmosphärischen Luftverflüssigung isoliert, wo er sich mit Helium befindet.

Verwendet als Atemgas, das Neon verursacht weniger Verzerrung der Stimme und hat eine kleinere thermische Leitfähigkeit als Helium. Weil er ein teures Gas ist, seine Verwendung in Atemgemischen leitet zu erhöhten Kosten. Ein weiterer Nachteil ist die Widerstandsfähigkeit bei atmen im Fall von mäßiger oder hoher Arbeitsbelastung.

2.7 Das Argon

Argon ist ein chemisches Element, das zur Gruppe der Edelgase gehört. Seine Entdeckung wurde von Lord Rayleigh und Sir Ramsay im Jahre 1894 gemacht. Argon ist charakterisiert bei den folgenden allgemeinen Eigenschaften: Atommasse 39,948; Siedepunktwert - 185,7°C; Schmelzpunktwert - 189,3°C; die Elektronenkonfiguration der äußeren Schicht $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$. Im Laborstudien Argon wird verwendet eine inerte Atmosphäre zu schaffen. Im Zusammenhang mit den Auswirkungen auf den menschlichen Organismus, Argon hat ein narkotischer Effekt. Wegen seiner Dichte seine Verwendung in das Atmungsprozess ist ungeeignet. Aufgrund seiner Dichte, die zu einer geringeren Wärmeübertragung führt, Argon wird verwendet im Tauchbereich für die Schwellung der trockenen Taucheranzüge mit variablem Volumen.

2.8 Das Kohlendioxid

In der Umwelt Kohlendioxid ist hauptsächlich das Ergebnis der verschiedenen durchgeführten Oxidationsprozesse. Er ist ein farbloses, und geruchloses Gas, schwerer als die Luft, dass nicht brennt und dass die Brennung nicht unterhältet.

Dieses Gas ist ein Nebenprodukt des Stoffwechsels, das durch Atmung aus dem Körper entfernt wird. Obwohl es nicht als toxisch angesehen wird, kann die Anwesenheit von Kohlendioxid in hohen Konzentrationen zu Bewusstseinsverlust führen, ein Effekt, dass für Taucher tödlich sein kann. Den höchsten Problemen des Kohlendioxids stehen im Zusammenhang mit der Kontrolle der im Atemgerät vorhandenen Menge und ihre Beseitigung nach dem Ausatmen. Die Anwesenheit von Kohlendioxid in hohen Konzentrationen kann den Organismus beeinflussen durch potentielle Stickstoffnarkose, Sauerstofftoxizität und Dekompressionsprobleme. Wegen der direkten Beeinflussung des pH-Wert des Blutes, das Kohlendioxid gilt als biologisch aktiv. Die Ergebnisse der medizinischer Studien zeigen haben hervorgehoben, das Zusammenhang zwischen Kohlendioxid und die Erweiterung von den Blutgefäßen. Daher ist bei der Verwendung von Atemtauchgerät mit geschlossenem oder halbgeschlossenem Kreislauf die Entfernung von Kohlendioxid aus dem Atmungsgemisch sehr wichtig [9].

2.9 Das Kohlenmonoxid

Das Kohlenmonoxid ist ein erstickendes, giftiges, fades, farbloses und geruchloses Gas. Der Wert seiner Dichte ist $1,2506 \text{ kg/m}^3$ (0°C), seine Molarmasse $28,07 \text{ g/mol}$, der Siedepunkt $-191,55^\circ\text{C}$, der Schmelzpunkt $-205,07^\circ\text{C}$ und die Wasserlöslichkeit 30 mg/l (20°C). Das Auftreten von Kohlenmonoxid entsteht durch Verbrennung, unvollständige Oxidation kohlenstoffhaltiger Substanzen, die bei hohen Temperaturen in sauerstoffarmen Orten erzeugt ist. Sein Einfluss auf den menschlichen Körper besteht aus der Verminderung der Sauerstoffzufuhr des Blutes, was zum Erstickten des Subjekts führt.

Infolge einer unvollständigen Verbrennung, die in Verbrennungsmotoren auftreten kann, oder einer Überhitzung von ölgekühlten Kompressoren, das Vorhandensein von Kohlenmonoxid im menschlichen Körper kann im Falle der Tauchern durch die Luftquelle vorkommen. Eine der möglichen Ursachen, die zur Verschmutzung der Luftquelle mit Kohlenmonoxid führen kann, ist die Positionierung der Zulassungseröffnung zu nahe an der Auspufföffnung dieser Geräte.

Kapitel 3

Künstliche Atemgemische mit Anwendungen im Tauchbereich

Atmungsgemische sind Gasgemische mit zwei oder drei Komponenten, wobei eine Komponente Sauerstoff ist und die anderen Komponenten inerte Gase für den Organismus sind [3].

Also, entsprechend der Anzahl der Komponenten, aus denen die Mischung besteht, werden sich unterschieden binäre Mischungen, die aus zwei Komponenten bestehen und ternäre Mischungen die aus drei Komponenten bestehen. Die Rolle der inerten Gase besteht darin, den neurotoxischen Wirkungen von Sauerstoff entgegenzuwirken.

Die am meist verwendeten inerten Gase die zur Herstellung von Atmungsgemischen verwendet sind, sind Stickstoff und Helium. Durch ihre Verwendung für Sauerstoffverdünnung, werden binäre Mischungen hergestellt, die als NITROX oder HELIOX bekannt sind. Für die Herstellung Atemgasgemische die aus drei Komponenten hergestellt sind werden Helium und Stickstoff, wodurch in Kombination mit Sauerstoff die als TRIMIX bekannte Mischung gebildet wird. Diese drei Gasgemische sind heutzutage am meisten für Tief- und Sättigungstauchen verwendet. Obwohl im Hinblick der Sicherheit des Tauchers, die angereicherte Sauerstoffgemische sind umstritten, diese sind am meistens verwendet beim Freizeittauchen. Unabhängig von dem Typen des Gasgemisches, die Problemen an dem man achten muss sind in Zusammenhang mit der Reinheit des Gemisches, die Verhältnisse zwischen den Komponenten, die Wirkung von Sauerstoff auf den menschlichen Organismus der sich im hohe Druckbedingungen befindet und das Dekompressionsverfahren, wenn der Taucher sich an der Oberfläche zurückkehrt.

Neben Helium und Stickstoff wird auch Wasserstoff verwendet. Diese Mischung wird HYDROX genannt. In dem Lauf der Zeit wurden experimentelle Forschungen auch mit anderen Gasen wie zum Beispiel Argon, Neon und Schwefelhexafluorid, um Atemgasgemische herzustellen, aber keine dieser Mischungen wurden in der allgemeinen Praxis verwendet. Die durchgeführten Experimente über die Verwendung von inerten Gasen, wie Wasserstoff, Neon, Argon und Helium, haben nur im Falle von Helium und Wasserstoff zufriedenstellende Ergebnisse erbracht. Eine andere Gas Mischung die getestet wurde in verschiedenen Laborexperimente ist die HIDRELIOX Mischung gebildet aus Wasserstoff, Helium und Sauerstoff.

In die bibliographische Angabe [7] ist erwähnt, dass das meistverwendete Gasgemisch für Tauchen ist die atmosphärische Luft, gespeichert komprimiert in Behältern. Wegen der Unannehmlichkeiten, die mit seiner Atmung bei hohem

Druckwerte verbunden sind (nämlich 5 bar Absolutdruck), der Stickstoff wurde durch andere Inertgase ersetzt, meistens durch Helium oder Wasserstoff.

Im Hinblick der Sauerstoffinhalts, sind die die für das autonome Tauchen verwendet Atemgemische, standardisiert. In der bibliographischen Angabe [3] sind gegeben die Sauerstoffkonzentrationen für die üblicherweise verwendeten Atemgasgemische: 30% (32% sau 32,5%), 40%, 50% und 60%. Die Volumenbeteiligungen des Sauerstoffs in das Gasgemisch r_{O_2} sind 0,30 (0,32 oder 0,325), 0,40, 0,50 und 0,60. Für das HYDROX Gasgemisch wurden verschiedene Testen durchgeführt, für denen das Volumenbeteiligungen des Sauerstoffs kleiner als 0,04 waren ($r_{O_2} < 0,04$).

3.1 Das NITROX Gasgemisch

Die NITROX Gasgemische können in verschiedenen Verhältnissen hergestellt werden, wobei das Verhältnis der beiden Komponenten durch die Tauchtiefe und als Folge der Partialdrücke der beiden Gase gegeben ist. Die Verhältnisse der zwei Bestandteile der Mischung können gemäß US-Pat. Navy Diving Manual im Bereich von 75% Stickstoff / 25% Sauerstoff - 60% Stickstoff / 40% Sauerstoff sein.

In Vergleich mit der Verwendung von Luft als Atemgas, führt das NITROX-Gemisch zu höheren Eintauchzeiten, wodurch die Zeit für Dekompressionsverfahren entfällt oder verringert wird. Dieses Gasgemisch kann verwendet werden für Tauchbetriebe durchgeführt bei kleinen und mittleren Tiefen. Im Falle seiner Verwendung für mittel Tiefen und des Sättigungstauchen, die NITROX Gasmischungen die ein Sauerstoffinhalt kleiner als 21 % haben, gewährleisten ein guter Schutz gegen Toxizität. In Bezug auf die schädliche Wirkung von Stickstoff, die sich durch Narkose äußert, kann dies auch durch sorgfältig geplante Tauchverfahren vermieden werden. Unabhängig davon, ob es sich um niedrige oder sauerstoffangereicherte NITROX-Gemische handelt, kann die Wirkung der beiden Gase in der Atemzusammensetzung entweder eine Narkose oder eine Hyperoxie verursachen, die zu der Sauerstoffvergiftung führen kann. Da der Stickstoffgehalt unter 79% liegt, die Dekompressionsanforderungen für angereicherte NITROX-Gemische sind weniger streng als für die Luft. Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Studien um die Strategien mit angereicherten NITROX-Gasgemischen durchgeführten Tauchbetriebe zu finden. Das U.S. Navy Diving Manual präsentiert die Vor- und Nachteile der Verwendung der Nitrox-Gasmischung im Vergleich zu der Luftverwendung auf.

Vorteile:

- erhöhte Eintauchzeiten beim Tauchen ohne Dekompression;
- reduziert die notwendige Zeit für die Dekompression;
- das Vorhandensein in geringen Mengen der Reststickstoff im Körper;
- verringert die Möglichkeit Dekompressionskrankheiten zu erscheinen;

- reduziert die Stickstoffnekrose.

Nachteile:

- erhöht das Risiko der Sauerstoffvergiftung des Nervensystems;
- erfordert spezielle Geräte für die Herstellung des NITROX-Gemisches;
- Anwendung spezieller Techniken bei der Reinigung der gebrauchten Geräte;
- lang andauernde Tauchgänge mit NITROX als Atmungsgemisch können zu Lungenvergiftung mit Sauerstoff führen;
- die Verwendung der NITROX-Systeme erfordert ein spezielles Training;
- die NITROX-Gemische sind teuer.

3.2 Das HELIOX Gasgemisch

Die narkotische Wirkung des Stickstoffs, die sich schon von geringen Tiefen manifestieren, hat Erfordert die Notwendigkeit eines Ersatzes für dieses inerten Gas zu finden, womit man größeren Tauchtiefen erreichen kann. Die durchgeführten Experimente auf die narkotische Wirkung und die die Löslichkeit verfolgten, führten zu der Schlussfolgerung, dass Helium die geringste narkotische Wirkung hat, da es viermal weniger schädlich ist als Stickstoff.

Die mit HELIOX-Gasgemischen durchgeführten Sättigung und Tiefe Tauchgänge, erreichten Tiefen von hunderte von Metern. Zum Beispiel die Taucher von den Tauchzentrum von Constanța, haben durchgeführt in das Hyperbaren Labor die sogenannte „Pontus“ Tauchserie, innerhalb dessen die tiefe von 500 m erreicht wurde.

Gemäß dem Physiologen J.S. Haldane, für bestimmte Gewebekompartimente beträgt die Halbwertszeit von Helium etwa das 2,7 länger als der für Stickstoff. Also, die Berechnungsmethoden die für das Tauchen mit Stickstoff verwendet sind, können auch für Helium übertragen werden wenn man für die Halbwertszeiten um das Wert von 2,7 berücksichtigen. Daher können die Berechnungsmethoden für das Senken mit Stickstoff auch auf Helium angewendet werden. Für die Halbwertszeit, sollte jedoch der Wert von 2,7 berücksichtigt werden.

Für das Tieftauchen durchgeführt mit HELIOX-Gasgemisch, und insbesondere für längeren Arbeitszeitdauern wo der Taucher an hohen Druckwerten ausgesetzt ist, um das Dekompressionsverfahren zu optimieren, ist es ratsam während dieses Prozesses der HELIOX-gasgemisch mit NITROX Mischung zu wechseln [2].

Je größer die Heliumsättigung der Gewebekompartimente mit langsamer Sättigung ist, je länger die Zeit ist, um in eine stickstoffhaltige Atmungs Umgebung zu gelangen. Die allmähliche Erhöhung des Stickstoffpartialdrucks erhöht die Abgabe von Helium, verringert aber auch die Stickstoffaufnahme in den Kompartimenten. In

ähnlicher Weise erleichtert die Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks die Eliminierung aller Inertgase, aber das kann jedoch zu Hyperoxie führen [14].

Die Verwendung von HELIOX führt zu Stimmverzerrung, wodurch die Kommunikation zwischen den Teammitgliedern schwieriger wird. In diesem Fall werden elektronische Geräte verwendet, um die Stimmverzerrungen zu korrigieren.

Ein Hauptproblem bei der Verwendung von Helium in Gasgemische ist die Durchdringungskraft, die oft zur Zerstörung von Messgeräten und elektronischen Geräten führt, was bei Stickstoff nicht der Fall ist.

Obwohl Helium weiterhin zum Tieftauchen verwendet wird, Stickstoff erleichtert die Dekompression, verbessert die Stimmverzerrung und versichert dem Taucher ein besserer thermischer Komfort.

3.3 Das HYDROX Gasgemisch

Da Wasserstoff das leichteste Gas ist, kann man vermuten, dass es einen geringen Atemwiderstand liefert. Das führt zum einen schnellen Transfer von Sauerstoff und Kohlendioxid in den Organismus.

In Anbetracht ihrer Löslichkeit und Diffusivität sollte die Absorptions- und Ausscheidungsrate in und aus Blut und Gewebe höher sein als für Stickstoff und sogar für Helium. Als Atemgas betrachtet aber, seine Leistung stellen ihm zwischen Stickstoff und Helium. Trotz aller potenziellen Vorteile der Gasmischungen die durch die Vermengung von Wasserstoff und Sauerstoff hergestellt werden, wegen den Explosionseigenschaften und entflammbare Eigenschaften die Taucher haben diese Art von Atemgasgemische generell vermieden.

Am Anfang der '50 Jahre die Ergebnisse einer der durchgeführten Studien, haben zu der Schlussfolgerung geführt, dass ein Sauerstoffanteil von weniger als 3% (bis 4%) die Sicherheitsmarge hinsichtlich der Entzündbarkeit und Explosivität dieses Gases gewährleistet. Ein 97/3 Verhältnis von Wasserstoff / Sauerstoff, kann verwendet werden bis 60 m, bei dem der Sauerstoffpartialdruck gleich dem Partialdruck auf der Meereshöhe ist. Die Laborexperimente auf Mäuse haben herausgegeben, dass das narkotische Potentiell des Wasserstoffs niedriger ist als der des Stickstoffs, aber höher als das des Heliums. Im Gegensatz zu Helium, Wasserstoff ist relativ erreichbar und billiger [14].

3.4 Das TRIMIX Gasgemisch

Tauchen mit HELIOX mix unter 400 m ist nicht nur unpraktisch, sondern auch ein Hindernis, wenn man die damit verbundenen Risiken bedenkt. Das Hochdrucknervensyndrom ist ein Hauptproblem beim Tiefseetauchen. Für seine Verminderung, in die Helium – Sauerstoff Gasgemische wird ein Anteil von 5...10% (

$r_{N_2} = 0,05 \dots 0,1$) Stickstoff eingeführt. Das so gebildete Gasgemisch besteht aus drei Komponenten und ist TRIMIX genannt.

Dies Gasgemisch ist verwendet für Tauchen zwischen 150 und 600 m. Wegen seines narkotischen Effektes, der Stickstoffgehalt in das Atemgasgemische muss unter 10 % sich befinden.

Die Dekompressionsverfahren für das Tauchen mit TRIMIX ähneln denen für die Verwendung anderer Atemgasgemische. Die Aufnahme und Beseitigung von sowohl Helium als auch Stickstoff kann durch kritische Spannungen begrenzt sein. Durch Verwendung einer Datensätze mit den Halbwertszeiten und kritischen Belastungen und die Werte der entsprechenden Halbwertszeiten für Helium, die für dieselbe Gewebegruppe, etwa dreimal grösser als die des Stickstoffs sind, die Absorption und Eliminierung des Inertgas können als Summe der Stickstoff- und Heliumfraktionen im TRIMIX-Gemisch betrachtet werden. Für diesen Zweck werden die üblichen Exponentialausdrücke für jede Inertgas Komponente verwendet. Dieser Ansatz wurde für die Dekompressionsphase in vielen Experimenten im Zusammenhang mit TRIMIX-Tauchen getestet [2].

Kapitel 4

Die Herstellung der Atemgasgemische verwendet für Tauchen

Die aus zwei oder die aus drei Komponenten entstehenden Atemgasgemische kann man durch aufeinanderfolgende und kontrollierte Injektion der Gase in konstante Volumenbehälter machen, während der Druck in dem Behälter permanent verfolgt ist, oder durch eine simultane und kontinuierliche Injektion in den gewünschten Anteil der Komponenten. Bei der Anwendung der zweiten Herstellungsmethode, für die Injektion der Gaskomponenten werden Geräte mit kalibrierten Düsen verwendet, die im kritischen Bereich arbeiten. Diese gewährleisten ein konstanten Massenstrom der Komponenten.

Zur Bestimmung der Zusammensetzung der Gasgemische hergestellt aus zwei oder drei Komponenten, in die bibliographischen Hinweise [3], wird eine suggestive Methode vorgeschlagen, die die Durchführung der erforderlichen Berechnungen erleichtert (Bild 4.1).

Volumetrische Beteiligung des Gases g_i		Enddrücke	
Endwert	pro Lieferung	Partialdruck	Der Druck des Gasgemisches
$r_{g_i,f}$	$r_{g_i}^{(n)}$	Lieferung (n) $r_{g_1}^{(n)} + r_{g_2}^{(n)} + \dots + r_{g_i}^{(n)} + \dots + r_{g_n}^{(n)} = 1$	$p_{g_n,f}$
	$r_{g_i}^{(3)}$	Lieferung (3) $r_{g_1}^{(3)} + r_{g_2}^{(3)} + \dots + r_{g_i}^{(3)} + \dots + r_{g_n}^{(3)} = 1$	$p_{g_3,f}$
	$r_{g_i}^{(2)}$	Lieferung (2) $r_{g_1}^{(2)} + r_{g_2}^{(2)} + \dots + r_{g_i}^{(2)} + \dots + r_{g_n}^{(2)} = 1$	$p_{g_2,f}$
	$r_{g_i}^{(1)}$	Lieferung (1) $r_{g_1}^{(1)} + r_{g_2}^{(1)} + \dots + r_{g_i}^{(1)} + \dots + r_{g_n}^{(1)} = 1$	$p_{g_1,f}$
			$p_{am,f}$

Bild 4.1 Allgemeines Berechnungsschema für die Herstellung eines [3]

Bei der Anwendung der Methode wird zunächst ein Rechteck gezeichnet, dass des Behälter in dem die Mischung hergestellt wird, dargestellt. Da das Verfahren davon ausgeht, dass die Gase in Schichten bleiben, befinden sie sich jeweils in einem Abteil des Behälters. In die rechte Seite des Rechtecks werden die partielle Enddrücke jeder Komponente $p_{g_i,f}$ geschrieben und auch das Enddruck der Mischung $p_{am,f}$. Alle Werte sind als Relativdruckwerte gegeben. In die linke Seite werden die volumetrischen Anteile $r_{g_i}^{(j)}$ des Reingases i der Mischungen, die durch jede

Injektionscharge geliefert werden, j , eingetragen, sowie die gewünschte Endkonzentration dieses Gases $r_{g_i,f}$ aus der Mischung, die im Behälter erhalten werden soll.

In Anbetracht des Schemas 4.1 und der in Absatz 1.3.3 dargestellten Zusammenhänge, ergibt sich der endgültige Partialdruck einer Komponente aus der folgenden Gleichung:

$$p_{g_i,f} = p_{am,f} \cdot r_{g_i,f} = p_{g_1,f} \cdot r_{g_i}^{(1)} + p_{g_2,f} \cdot r_{g_i}^{(2)} + \dots + p_{g_j,f} \cdot r_{g_i}^{(j)} + \dots + p_{g_n,f} \cdot r_{g_i}^{(n)} \quad (4.1)$$

wo der Exponent $(j)[(j) = (1),(2)\dots(n)]$ ist die Nummer der Injektionscharge (Lieferung des Gases) in den Behälter.

4.1 Die Herstellung von Binären Atemgasgemische

4.1.1 NITROX Gemische

Ausgehend von dem oben beschriebenen Berechnungsverfahren, das entsprechende Schema für die Herstellung aus Sauerstoff und Stickstoff bestehenden NITROX-Gasgemisch, ist im Bild 4.2 gegeben.

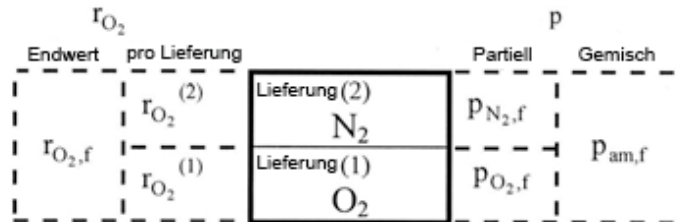


Bild 4.2 Berechnungsschema für die Herstellung eines NITROX- Gasmischung [3]

wo:

$$p_{O_2,f} = p_{am,f} \cdot r_{O_2,f} = p_{O_2,f} \cdot r_{O_2}^{(1)} + p_{N_2,f} \cdot r_{O_2}^{(2)} \quad (4.2)$$

Für die Herstellung eines NITROX-Gemischs gebildet aus 30% Sauerstoff und 70% Stickstoff (30/70) bei einem Druck von 200 bar (Relativdruck) durch die Verwendung des dazugehörigen Berechnungsschema (Bild 4.2) die mathematische Beziehung (4.2) wird geschrieben als:

$$200 \cdot 0,3 = x \cdot 1 + (200 - x) \cdot 0 \quad (4.3)$$

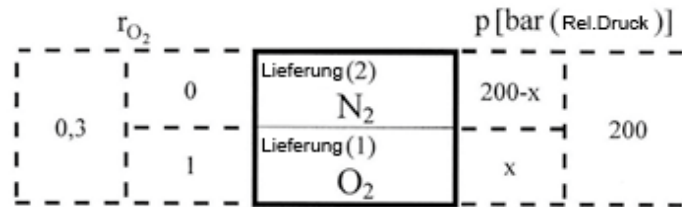


Bild 4.3 Berechnungsschema für die Herstellung eines NITROX- 30/70 (Sauerstoff/Stickstoff) [3]

Daraus folgt $x = 60$ bar (Relativdruck), dass sowohl der Wert des Sauerstoffpartialdrucks als auch der Druck am Ende der ersten Lieferung von reinem Sauerstoff ist.

Die folgenden Schritte sind erforderlich, um eine 30/70 NITROX Mischung unter den angegebenen Druckbedingungen herzustellen:

- der Behälter ist zuerst mit reinem Sauerstoff unter Druck gesetzt, bis der innere Druckwert 60 bar (Relativdruck) ist;
- das Druckaufbau wird weiter mit Stickstoff fortgesetzt, bis der Druck im Tank 200 bar (Relativdruck) erreicht.

Die Herstellung eines NITROX-Gemisches aus Sauerstoff und Luft erfordert besondere Maßnahmen zum Umgang mit reinem Sauerstoff. Um hohe Sauerstoffdruckwerte zu vermeiden, wird über dem in dem Behälter gelagerten reinen Sauerstoff, Luft (21% Sauerstoff und 79% Stickstoff) hineingeliefert.

In der Abbildung 4.4 ist vorgestellt das geeignete Berechnungsschema für die Herstellung des 30/70 NITROX-Gemisches bei 200 bar (Relativdruck) gebildet aus Sauerstoff und Luft.

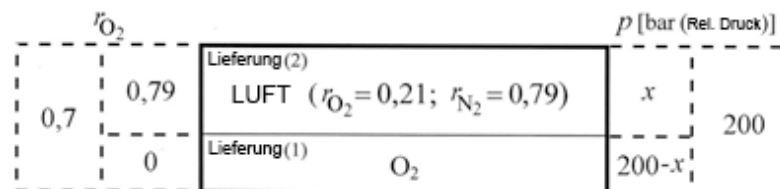


Bild 4.4 Berechnungsschema für die Herstellung eines NITROX- 30/70 (Sauerstoff/Luft) [3]

Die Gleichung die im Zusammenhang mit die Abbildung 4.4 ist:

$$p_{am,f} r_{N_2,f} = p_{O_2,f} r_{N_2}^{(1)} + p_{aer,f} r_{N_2}^{(2)} \quad (4.4)$$

$$200 \cdot 0,7 = (200 - x) \cdot 0 + x \cdot 0,79, \quad (4.5)$$

wo: $x = 177,2$ bar (Relativdruck).

Die Schritte, im Falle der Herstellung dieses Atmungsgemischs unternommen werden müssen, sind:

- der Behälter ist zuerst mit reinem Sauerstoff unter Druck gesetzt, bis der innere Druckwert $200 - 177,2 = 22,8$ bar (Relativdruck) wird;
- das Druckaufbau wird weiter mit Luft fortgesetzt (177,2 bar), bis der Druck im Tank 200 bar (Relativdruck) erreicht.

Die NITROX-Gemische sind am meistens verwendet für verschiedene Arten von Tauchgängen. Die Herstellungsmethode die am meistens verwendet ist, ist die sukzessive Injektion von Sauerstoff und Luft. Aus diesem Grund wurden Tabellen mit der Werten der Druckschwankungen, erzeugt durch die zwei Druckstufen. Ein solcher Beispiel ist in die Tabelle 4.1 vorgestellt.

Tabelle 4.1 NITROX-Mischungen hergestellt durch die sukzessive Injektion von Sauerstoff und Luft [3]

NITROX [%O ₂ / %N ₂]	Druck im Behälter nach Druckbeaufschlagung mit reinem Sauerstoff [bar]	Druckerhöhung durch Luftinjektion [bar]	Enddruckwert der Mischung [bar (Rel. Druck)]
60/40	98,7	101,3	200
50/50	73,4	126,6	200
40/60	48,1	151,9	200
32,5/67,5	29,1	170,9	200
32/68	27,8	172,2	200
30/70	22,8	177,2	200

Für die Herstellung NITROX-Gemische ist verwendet Sauerstoff mit einer hohen Reinheit (mindestens 99,5% O₂), und Luft mit einem Inhalt von 21% O₂ und 79% N₂. [3]

Um NITROX-Mischungen zu erhalten verwendet man am meisten die folgenden Verfahren:

- Herstellung des Gemisches unter Berücksichtigung von Partialdrücken - Nitrox-Gemisch mit Luft angereichert;
- Abtrennung von Stickstoff durch Membranen - denitrierte Luft;
- kontinuierliche Homogenisierung der die Mischung bildenden Gase - NITROX angereicherte Mischung.

Das Verfahren zur Herstellung der Mischung unter Berücksichtigung von Partialdrücken besteht aus der Lieferung, erstens, von Sauerstoff in einen Behälter, woraufhin "saubere" Luft, auch Sauerstoff kompatible Luft genannt ist, eingeführt wird. Dadurch entsteht die gewünschte Gasmischung. Der Begriff "sauber" ist ein relativ. Die Qualität der Atemluft wird in Normen wie CGA-Klasse E, BS4275 oder DIN 3188 festgelegt.

Bezüglich auf die „Kompatibilität“ der Luft die für die Herstellung der NITROX-Mischungen verwendeten ist, dieses Begriff bezieht sich auf eine Reihe von Betriebskriterien, die sich auf das Mischen von Luft mit reinem Sauerstoff oder einer sauerstoffreichen Umgebung beziehen. Es ist zu beachten, dass es keinen einzigen

Luftqualitätsstandard gibt, der zur Erstellung von NITROX-Mischungen verwendet wird [16].

Im Jahre 1992 bei dem Treffen in Orlando, Florida, die Tauchausbildungsbehörden und andere verschiedene Regierungsbehörden der USA haben sich auf eine Reihe von Standards geeinigt bezüglich auf die „Luft verträglich mit Sauerstoff“. Diese Standards sind eine einstimmige Bestätigung, basierend auf dem Wissen, der Erfahrung und der derzeit verfügbaren Technologie. Die Werte für die Luftqualität sind in Tabelle 4.2 angegeben.[16]

Tabelle 4.2 Qualitätsindikatorwerte der mit Sauerstoff verträglichen Luft bei der Herstellung von NITROX-Mischungen [16]

Kondensierte Kohlenwasserstoffe	0,1mg/m ³
Kohlenwasserstoffe im gasförmigen Zustand	15 ppm
Wasser (Taupunkt)	- 50°C
Kohlendioxid	500 ppm
Kohlenmonoxid	2 ppm

Abbildung 4.5 zeigt eine Anlage zur Herstellung von NITROX-Gemischen nach dem auf Gaspartialdruck basierenden Verfahren.

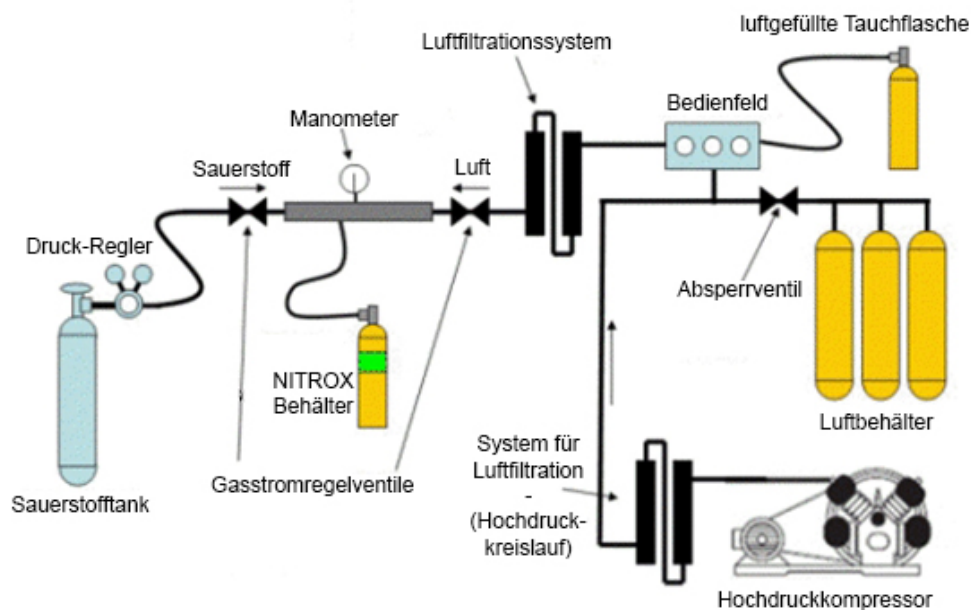


Bild 4.5 Das Schema der Anlage für NITROX-Gemischen Herstellung nach dem Gaspartialdruck basierenden Verfahren [11]

Die Vorteile des Verfahrens sind:

- niedrige Anfangskosten;
- fähig, Mischungen mit einem beliebigen Prozentsatz herzustellen.

Nachteile:

- das Laden der Tauchflaschen erfordert viel Arbeit und ist langsam, etwa 20 bis 30 Minuten pro Tauchflasche;

- die Tauchflaschen und das Füllsystem müssen der Reinheit Normen für Sauerstoffs entsprechen;
- potenziell gefährlich, wenn in die Tauchflasche versehentlich Öl erreicht (Dieseleffekt das zur Explosion führt);
- es ist nicht möglich die ganze Sauerstoffmenge gespeichert in dem Behälter zu verwenden; um diesen Mangel zu überwinden, ist eine spezielle Druckerhöhungspumpe erforderlich;
- die korrekte und genaue Herstellung der Mischung hängt von dem Verständnis der Bedienungsperson über die Installation ab;
- es ist notwendig ein Vorrat an Sauerstoffflaschen.

Das Verfahren zur Herstellung des NITROX-Gemisches durch die Abtrennung von Stickstoff durch Membranen wurde ursprünglich verwendet in der Schweißindustrie für die Stickstoffproduktion. Erfordert die Verwendung einer Luftversorgung mit niedrigem Druckwert. Der so gebildete Strom wird durch ein spezielles Membransystem geführt. Es sind zwei Arten von Membranen, eine für den Stickstoffdurchgang und die andere für den Permeat, das an den Hochdruckkompressor verteilt wird.

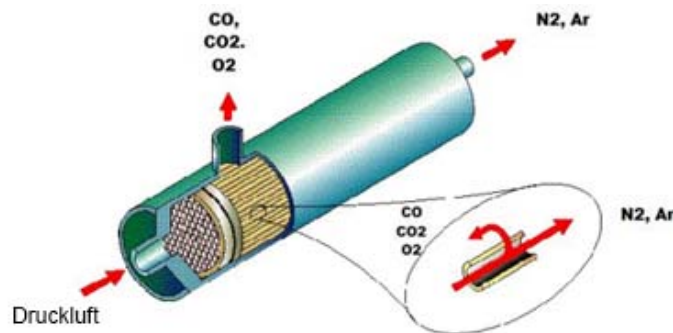


Bild 4.6 Membran Trennvorrichtung [11]

Der Sauerstoffgehalt wird entweder durch Variieren des Versorgungsdrucks der Membranen oder durch Einstellen der Stickstoffdurchtrittsöffnung reguliert. Der optimale Betrieb des Membransystems erfolgt etwa 30 Minuten nach der Inbetriebnahme.

Der Hochdruckkompressor wird entweder direkt an die Tauchflaschen angeschlossen, oder an Behältern für NITROX Lagerung.[11]

Vorteile der Methode:

- benötigt keinen in Flaschen gelagerten Sauerstoff (Unabhängigkeit von Sauerstoffproduzenten);
- NITROX kann sicher hergestellt werden (bis zu 40%);

- das Abfüllsystem und die Tauchflaschen dürfen in der Anfangsphase müssen nicht die Anforderungen an die Abwesenheit von Sauerstoff erfüllen.

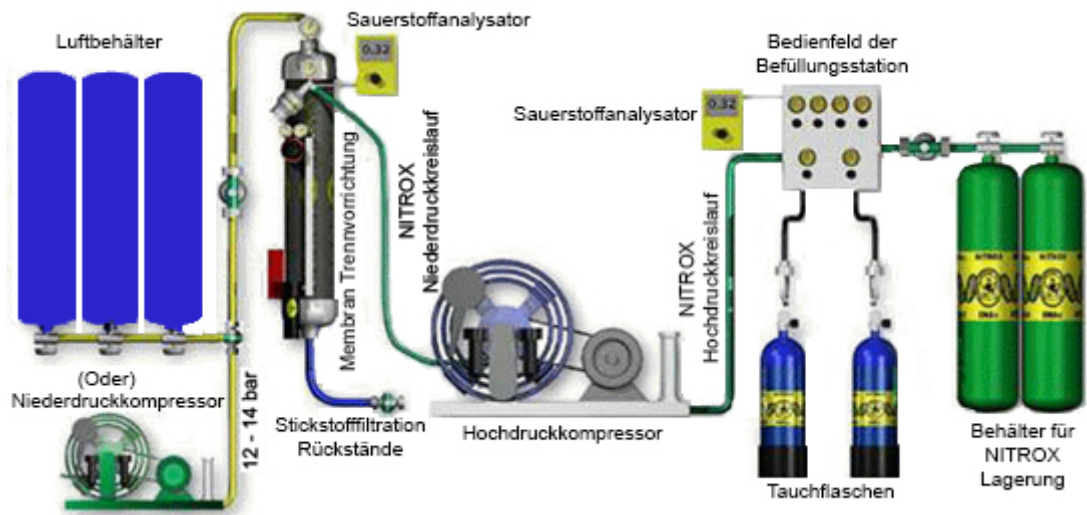


Bild 4.7 Das Schema der Anlage für die Herstellung der NITROX-Gemische mit Membran Trennvorrichtung [11]

Nachteile:

- hoher Anschaffungspreis;
- die Inbetriebnahme des Systems ist umständlich und seine Nutzung schwierig; das Einstellen der Sauerstoffmischung ist schwer zu erreichen; die erwärmte Luft, die mit der Membran in Kontakt kommt, verursacht eine chemische Reaktion im Sauerstoffsensor, die zur Dekalibrierung des Sauerstoffanalysators führt;
- zusätzliche Kosten (Strom / Wartung), die mit dem Betrieb des Niederdruckkompressors, der dem Membransystem Luft zuführt, verbunden sind;
- wenn die Luftbehälter anstelle des Niederdruckkompressors als Luftquelle zur Versorgung des Membransystems verwendet werden, dann, als Folge des Anstiegs des Stromverbrauchs, steigen die Betriebskosten, und ebenso der Verschleiß des Hochdruckkompressors;
- wenn die Filter zur Verbesserung der Luftqualität nicht rechtzeitig gewechselt werden, besteht die Möglichkeit, dass die Membranen während des Füllvorgangs mit Partikeln verstopft werden;
- die Membranen sind empfindlich und, wenn das System nicht ordnungsgemäß ausgenutzt wird, können leicht beschädigt werden; im Falle einer Hochdruckluft Stromversorgung, oder wenn der Strom keine geeignete Temperatur hat, die innere Struktur des Materials kann

beschädigt werden, was zu der Notwendigkeit der Membranersetzung führt;

- der Austausch der Membran eines Niederdruckkompressor, kostet etwa wie die Hälfte des Preises des ganzen Systems;
- während des Betriebs muss das System permanent überwacht werden;
- die Herstellung von NITROX-Mischung mit diesem System führt zu den höchsten Kosten pro Tauchflasche.

Der Kontinuierliche Homogenisierungsprozess der Komponenten verwendet ein spezielles, patentiertes, Gerät (NITROX Stick), dass die Homogenität von Luft und reinem Sauerstoff gewährleistet, bevor es in den Hochdruckkompressor eingelassen wird. Das Prinzipschema eines "NITROX Stick" ist in Abbildung 4.9 dargestellt.

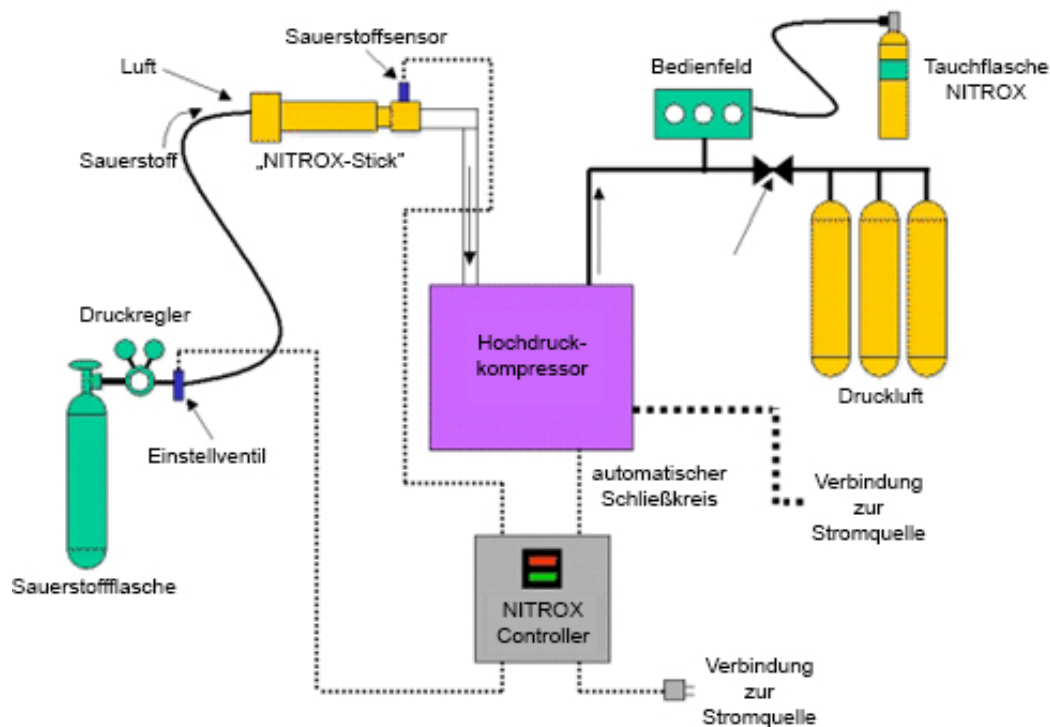


Bild 4.8 Das Schema der Anlage für die Herstellung der NITROX-Gemische durch kontinuierliche Homogenisierung [11]

Um das System in Betrieb zu nehmen, muss man zunächst die vorhandene Luft aus der Anlage entfernen. Dann, während der Kompressor in Betrieb ist, um die entsprechende Gasmenge für die gewünschte Konzentration der Mischung zu liefern, wird die Sauerstoffflasche mit dem Kreislauf verbunden. Der Reinigungsprozess sollte fortgesetzt werden, bis der Sauerstoffanalysator, der die Kompressor Entladung überwacht, die gewünschte Sauerstoffkonzentration anzeigt. Ab diesem Moment gelten der Kompressor, die Filter und die Rohrleitungen des Systems als sauber. Der gesamte Vorgang von der Inbetriebnahme der Anlage bis zum Befüllen der Flaschen oder der Lagertanks dauert etwa 5 bis 10 Minuten [11].

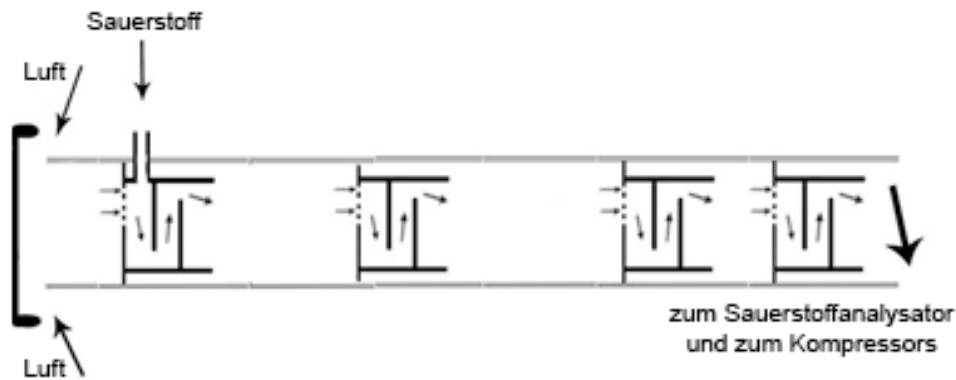


Bild 4.9 Prinzipschema der „NITROX Stick“ [12]

Die Vorteile eines solchen Systems sind:

- ein günstiger Kaufpreis des Geräts und die sichere Herstellung eines Gemisches von bis zu 40%;
- es gibt keine Belastungsbeschränkungen für die Anwesenheit von Sauerstoff in den Behältern;
- das Vorhandensein des NITROX-Controllers (Abb. 4.8) gibt dem Betreiber die Möglichkeit, während des Flaschenfüllvorgangs andere Tätigkeiten auszuführen;
- niedrige Arbeitskosten;
- gute Genauigkeit bei der Herstellung der NITROX-Mischung;
- erhöhte Betriebssicherheit;
- niedrigsten Kosten im Vergleich zu anderen Systemen verwendet zur Herstellung von NITROX-Mischungen.

Die Nachteile des Systems sind die Notwendigkeit einer permanenten Überwachung, wenn es nicht mit dem NITROX-Controller ausgestattet wurde, und die Notwendigkeit einer permanenten Sauerstoffversorgung. Also dieses System ist besonders leistungsfähig, wenn es mit dem NITROX-Controller versehen ist. [11]

Eine ähnliche Anlage kann man verwenden auch für die Herstellung von TRIMIX Atemgasmischungen. Weil es sich in diesem Falle um drei Gase handelt, ist im Vergleich zu der Nitrox-Variante, sein konstruktiver Aufbau ist komplexer (Abb. 4.10).

Das Gerät ist verbunden zu der Sauerstoff- und Heliumquelle durch zwei Druckregler, die eine sehr genaue Regelung der Gasmenge ermöglichen. Jeder dieser Druckregler ist in Verbindung mit einer Steuereinheit, auf deren Bildschirm der Prozentsatz beider Gase angezeigt ist.

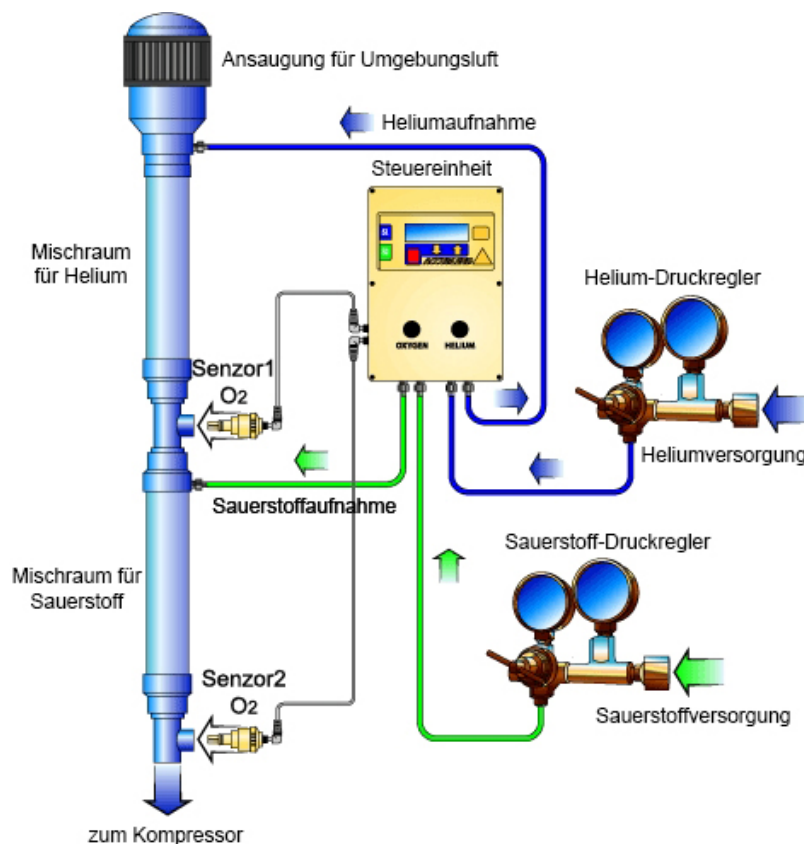


Bild 4.10 Anlage für die Herstellung NITROX oder TRIMIX Atemgasmischungen [13]

Die Steuereinheit sorgt für die Unterbrechung der Versorgung von Sauerstoff oder Helium, wenn:

- die automatische Kalibrierung ist aktiv, während der Kompressor in Betrieb ist;
- ein Spannungsabfall erscheint;
- der Sauerstoffsensor erkennt ein Wert von 39,9%;
- die Sensorkabel sind nicht angeschlossen;
- der Netzschalter ist ausgeschaltet;
- der Betrieb des Kompressors ist unterbrochen.

Durch seine Software, die Steuereinheit ermöglicht die Einstellung verschiedener NITROX und TRIMIX Atemgasmischungen. Gleichzeitig kann es die äquivalente Tiefe angeben, bei der die Narkose auftreten kann. Durch diese Einheit kann man das Verhältnis zwischen den Bestandteilen der Mischungen geändert werden, ohne die Behälter zu entleeren.

4.1.2 Die Herstellung von HELIOX Atemgasgemische

Ausgehend von der allgemeinen Methode die am Anfang dieses Kapitel vorgestellt wurde, für die Herstellung einer bestimmter HELIOX Gasmischung wird das Berechnungsschema in der Bild 4.1 für den gewünschten Fall angepasst. Also, für die Herstellung einer HELIOX-Mischung mit Anteilen von 20% Sauerstoff und 80% Helium (HELIOX 20/80), bei 200 bar (relativen Druck), die entsprechende Berechnungsschema ist in Abbildung 4.11 dargestellt.

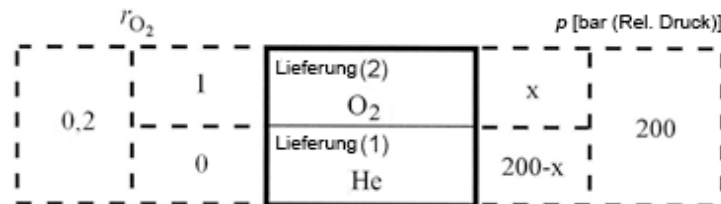


Bild 4.11 Allgemeines Berechnungsschema für die Herstellung eines HELIOX 20/80 Atemgasgemischung aus Helium und Sauerstoff [3]

Die Gleichung gültig für diesen Fall ist:

$$p_{am,f} \cdot r_{O_2,f} = p_{He,f} \cdot r_{O_2}^{(1)} + p_{O_2,f} \cdot r_{O_2}^{(2)} \quad (4.6)$$

oder:

$$200 \cdot 0,2 = (200 - x) \cdot 0 + x \cdot 1 \quad (4.7)$$

wo $x = 40$ bar (rel. Druck).

Wegen den Großen Dichteunterschied, dass zwischen Sauerstoff und Helium gibt, die Herstellung einer HELIOX Mischung beinhaltet erstens die Injektion von Helium und dann die von Sauerstoff. Um eine bessere Homogenisierung der Mischung zu erreichen, die Injektion sollte man so gewalttätig wie möglich sein. Also, für die Herstellung der betrachteten HELIOX 20/80 Mischung, wird zuerst der Behälter mit Helium unter einem 160 bar relativen Druckwert gesetzt, und dann der Druckaufbau läuft weiter mit reinem Sauerstoff, bis zu einen relativen Druckwert von 200 bar. Das heißt einen 40 bar Druckaufbau, dass mit reinem Sauerstoff läuft.

4.2 Herstellung der drei Komponenten bestehende Atemgasgemische - TRIMIX

Um drei Komponenten bestehende Atemgasgemische zu erhalten, werden dieselben Aufbereitungsmethoden wie im Falle der binären Gemische verwendet. Eine Mischung hergestellt aus Helium, Stickstoff und Sauerstoff, kann entweder aus Helium und Luft oder aus eine Helium- und Stickstoff-Sauerstoff Mischung (NITROX) erhalten werden.

Es gibt mehrere Varianten um TRIMIX Mischungen Herzustellen. Die erste Methode, die am meist verwendet ist, besteht aus den folgenden Schritten:

- die leeren Flaschen werden teilweise gefüllt mit Helium;
- der Druckaufbau, durchgeführt mit Luft oder mit zuvor hergestellter NITROX-Mischung, wird fortgesetzt bis die Behälter gefüllt werden;
- Berechnungen und Messungen des Sauerstoff- und Heliumanteils werden durchgeführt.

Die Atemmischungen hergestellt aus Helium unter Druck gesetztes mit Luft sind manchmal HELIAER genannt [15].

Eine zweite Herstellungsmethode der HELIOX-Mischungen besteht aus:

- das injizieren der gewünschten Helium Menge auf dem Saugrohr des Kompressors;
- Berechnungen und Messungen des Sauerstoff- und Heliumanteils aus der Mischung.

Die letzte erwähnte Methode besteht aus den folgenden:

- die leeren Behälter werden teilweise gefüllt mit Helium;
- danach das System injiziert eine reine Sauerstoffmenge in die Behälter;
- die Behälter werden mit Luft oder NITROX-Gemisch unter Druck gesetzt;
- der Sauerstoff- und Heliumanteil aus der Mischung wird berechnet und gemessen.

Wie zuvor in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, zur Herstellung eines TRIMIX-Gemisches kann das in Abbildung 4.10 dargestellte System verwendet werden.

4.3 Verbesserung der Atemgasgemische nach ihrer Herstellung

Unabhängig davon, ob um binäre oder ternäre Gemische sich handelt, ist es notwendig, die Anteile jedes Gases, das das Gemisch bildet, ständig zu überwachen. Wie es schon bevor präsentiert wurde, der Überwachungsprozess wird mit Gasanalysatoren durchgeführt. Auf der Grundlage der erhaltenen Ergebnisse werden Verbesserungen der hergestellten Mischungen durchgeführt. Im Allgemeinen handelt es sich bei den notwendigen Vorgängen um Aktionen, die denjenigen entsprechen, die in den Schritten zur Herstellung der Mischung ausgeführt werden.

Die Homogenisierung der Gase die das Gemisch bilden, die für den Herstellungsprozess von besonderer Bedeutung ist, hat als Grundlage die Molekulare und die turbulente Diffusion. Beide Phänomenen sind spezifisch für die Turbulenz des Strahls, der bei der Injektion des Gases in den Mischbehälter entsteht.

Da der Prozess des Homogenisierens einer Mischung sehr lange dauern kann (je nach Art der beteiligten Gase manchmal Wochen), werden, um die Bildung einer homogenen Atmungsmischung zu unterstützen, verschiedene Systeme eingesetzt. Eine Lösung ist das Mischgäret genannt „NITROX Stick“, der in den Abbildungen 4.9 und 4.10 dargestellt ist. Eine andere sehr verwendete Homogenisierungsmethode ist die mechanische Bewegung (Rotation des Behälters).

Jede der zuvor genannten Lösungen reduziert die Zeit zur Bildung einer homogenen Mischung. Zum Beispiel, die Experimente von Alfred Taylor haben gezeigt dass durch die mechanische Bewegung bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 10 - 20 rot/min, die Homogenisierung einer Argon-Kohlendioxid 75/25 Mischung ($r_{Ar} = 0,75$ $r_{CO_2} = 0,25$), die unter Ruhebedingungen dauert 45 Tage, wird reduziert auf 1,5 Stunden.

In Bezug mit der Herstellung und Lagerung in Behältern, es ist zu beachten, dass gemäß den Gesetzen die die Gasgemisch Bildung in Druckbedingungen, während der Kompression eines Gases, die Gastemperatur in dem Behälter steigt. Je höher die Kompressionsgeschwindigkeit ist, desto höher ist die Gastemperatur. Unter diesen Bedingungen ist die in den Behälter eingebrachte Gasmenge geringer als bei einem isothermen Prozess. In die bibliographischen Hinweise [3] ist angegeben, dass in solchen Zuständen, für Mischungen die mit Behälterdruckverfolgung hergestellt werden weitere Korrekturen verboten.

Da die am Mischprozess beteiligten Gase auch bei isothermen Prozessen nicht perfekt sind, können Ungleichheiten auftreten. Wenn die Mischung der Gase bei Raumtemperatur und relativ niedrigen Drücken stattfindet, sind diese Abweichungen vernachlässigbar. Das ist nicht gültig bei Mischvorgänge die bei hohem Drücken und in kleinen Behältern stattfindet [3].

Literaturverzeichnis

- [1] Albu C-tin. D., Brezeanu M. *Mică enciclopedie de chimie*; Edizura enciclopedică română; București 1974
- [2] Bruce R., Wienke and Timothy R., O'Leary, *Mixed Gas Decompression Theory with Algorithms and Statistics* RGBM Technical Series 6 NAUI Technical Diving Operations Tampa, Florida 33619
- [3] Degeratu M., Petru A., Georgescu Șt. *Aparate de respirat sub apa*, Editura MatrixRomBucuresti 2010
- [4] Degeratu, M., Petru, A., Ioniță., S. *Manualul scafandrului*. Ed. Per Omnes Artes, București, 1999
- [5] Kireev V. A. *Chimie fizică*; Editura Tehnică, București 1962
- [6] Negoiu D. *Tratat de chimie anorganică – Chimie generală*; Editura Tehnică, București 1972
- [7] Petru A. *Hidraulica proceselor hiperbare* Teză de doctorat Universitatea tehnică de construcții București 1993
- [8] Șandru E., Bianchi A.M., Mihăilă C., Caluianu V., Antonescu N. *Termotehnică și aparate termice*; Editura Didactică și Pedagogică, București 1982
- [9] The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), *NOAA Diving Manual* U.S. Department of Commerce and Best Publishing Company 2011.
- [10] *** *U.S. Navy Diving Manual*; SUPERSEDES SS521-AG-PRO-010, REVISION 5, August 2005
- [11] <http://www.nitroxmadeeasy.com/Methods.htm>
- [12] http://www.boydski.com/diving/gear/compressor/mixing_stick.htm (schemă NITROX Stick)
- [13] <http://www.amigosdivecenter.com/stick.html>
- [14] <http://www-personal.umich.edu/~lpt/mixhistory.htm> - Diving With Gas Mixes Other Than Air by Larry "Harris" Taylor, Ph:D.
- [15] http://www.techdiver.ws/trimix_eng.shtml
- [16] [http://www.seasubsea.com/airquality/Air Quality Requirement for Nitrox Blending](http://www.seasubsea.com/airquality/Air%20Quality%20Requirement%20for%20Nitrox%20Blending)