

tauchsportverband österreichs



Nitrox *

Alle in diesem Skriptum enthaltenen Angaben, Daten, Lehrmeinungen etc. wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und von ihnen und den Komitees und Kommissionen des TSVÖ mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Inhaltliche Fehler können jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Daher erfolgen sämtliche Angaben, Daten etc. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des TSVÖ oder der Autoren. Weder der TSVÖ noch die Autoren übernehmen irgendeine Verantwortung und Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden nicht besonders gekennzeichnet. Aus dem Fehlen solcher Hinweise kann nicht geschlossen werden, dass es sich um freie Warennamen handelt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung sind an die Zustimmung des TSVÖ gebunden und daher diesem vorbehalten. Kein Teil des Werks darf in irgendeiner Form (Kopie, Mikrofilm, elektronische Aufbereitung oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des TSVÖ reproduziert werden oder unter Verwendung irgend eines Systems verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Auflage:	2006, Version 06
Herausgeber und Verleger:	Tauchsportverband Österreichs (TSVÖ)
Autor:	Thomas Holzmann
Redaktion und Layout:	KAT
Copyright:	KAT-TSVÖ

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	3
1.1. Verwendungsmöglichkeiten	3
1.2. Ausbildungsstufen	4
1.3. Voraussetzung TSVÖ Nitrox Taucher	4
1.4. Kursprogramm	4
1.5. Berechtigung nach positivem Abschluss dieses Kurses	4
1.6. Weiterbildungsmöglichkeiten	4
2. Geschichte des Nitroxtauchens	5
3. Physiologie	6
3.1. Pathophysiologie von Sauerstoff	6
3.1.1. Die Sauerstoff-Uhr	7
3.1.2. Sauerstoffüberlebensbereiche	8
3.1.3. Partialdruck von Sauerstoff als Dosierung	8
3.1.4. Pulmonare/Ganzkörper Sauerstoffvergiftung (<i>Lorraine-Smith Effekt</i>)	8
3.1.5. Neurotoxische Vergiftung des ZNS (<i>Paul Bert Effekt</i>)	9
3.1.6. Einsatzgrenzen des Sauerstoffs	10
3.1.7. Beeinflussende Faktoren einer Sauerstoffvergiftung	10
3.1.8. Sauerstoffgrenzen - Zusammenfassung	11
3.2. Stickstoff–Blasenbildung und Dekompression	11
3.2.1. Einfluss des reduzierten Inertgasanteils/Stickstoffanteils	11
3.2.2. Risiko einer Dekompressionskrankheit (DCS)	12
3.2.3. Bestimmung der Dekompressionsdaten für Nitrox-Tauchgänge	12
3.2.4. Verwendung vom Tauchcomputer	13
3.3. Einflussfaktor Kälte	13
3.4. Erste Hilfe bei Tauchunfällen mit Nitrox	14
4. Berechnungen	15
4.1. ZNS–Berechnung (CNS)	15
4.2. OTU-Berechnung	16
4.3. Mathematische Prinzipien von Gasgemischen	18
4.4. Das „T im Kreis“	19
4.5. Die maximale Tauchtiefe (MOD)	20
4.6. Das optimale Gasgemisch (Best Mix)	20
4.7. äquivalente Lufttiefe (EAD)	21
5. Nitrox-Tauchausrüstung	22
5.1. Eigenschaften des Sauerstoffs	22
5.1.1. Sauerstoffrein	22
5.1.2. Sauerstoffverträglich	23
5.1.3. Oxygen Service – Sauerstoffeinsatzfähigkeit/Sauerstofftauglich	23

5.2. Tauchausrüstung - Normen	24
5.2.1. Tauchflaschen	24
5.2.2. Flaschenventile	27
5.2.3. Atemregler	29
5.2.4. Tariermittel	29
5.2.5. Trockentauchanzüge	30
5.2.6. Tauchcomputer	30
5.2.7. Pflege und Wartung der Tauchausrüstung	30
6. Gaslogistik	31
6.1. Nitrox-Herstellung	31
6.1.1. Mischen nach Partialdruck	31
6.1.2. Mischen nach Gewicht	32
6.1.3. Vereinfachte kontinuierliche Mischung	32
6.1.4. Mischen durch Mitteldruck	32
6.1.5. Lufttrennung-/Membranverfahren	32
6.2. Die Gasanalyse	34
6.2.1. Verfahren	34
6.2.2. Vorgangsweise	35
6.2.3. Sicherheitshinweise	35
6.2.4. Kalibrierung	36
7. Tauchtechnik	37
7.1. Tauchgangsplanung	37
7.1.1. Vor dem Tauchgang	37
7.1.2. Während des Tauchganges	38
7.1.3. Nach dem Tauchgang	38
7.2. Checkliste und Nitrox-Kontrollblatt	39
7.2.1 Checkliste	39
7.2.2. Nitrox-Kontrollblatt	40
8. Anhang	41
8.1. ZNS O ₂ % Tabelle (NOAA-Tabelle)	41
8.2. OTU Tabelle	42
8.3. EAD Tabellen	43
8.3.1. Höhenbereich 0 – 700 müM für pO ₂ ^{max} 1,6 bar	43
8.3.2. Höhenbereich 700 - 2500 müM für pO ₂ ^{max} 1,6 bar	43
8.3.3. Höhenbereich 0 – 700 müM für pO ₂ ^{max} 1,4 bar	44
8.3.4. Höhenbereich 700 - 2500 müM für pO ₂ ^{max} 1,4 bar	44
8.4. Hilfsmittel zur Berechnung nach Zauchner	45
9. Quellenverzeichnis	46

1. Einführung

Nitrox ist eine Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff. Um menschliches Leben zu ermöglichen muss der Anteil des Sauerstoffes zwischen 16% und 50% liegen. Außerhalb dieser Werte kann es zu hypo- oder hyperoxischen Erscheinungen kommen. Auch die gewöhnliche Atemluft ist ein Sauerstoff-Stickstoffgemisch, weshalb man sie als auch als Nitrox 21 (da 21 % Sauerstoffanteil) oder „Normox“ bezeichnet. Generell werden jedoch nur jene Gasgemische als Nitrox bezeichnet, die eine andere Sauerstoff-Stickstoff-Zusammensetzung als unsere Luft haben.

Beim Sporttauchen hat sich in den letzten Jahren Nitrox mit erhöhtem Sauerstoffanteil mehr und mehr durchgesetzt. Gemische mit weniger als 21% Sauerstoffgehalt sind einerseits schwer herzustellen und andererseits der Tauchsicherheit nicht dienlich.

1.1. Verwendungsmöglichkeiten

Nitrox kann die Sicherheit beim Tauchen erhöhen, wenn man einiges beachtet. Denn wie alles hat Nitroxtauchen Vor- und Nachteile, die man gegeneinander abwägen muss.

Die Verwendung von Nitroxgemischen beim Tauchen hat dadurch für uns folgende **Vorteile**

- Es verlängert die Nullzeit oder verkürzt die Dekopausen, wenn die Nullzeit überschritten wurde
- Es verringert die Gefahr des Tiefenrausches
- Es reduziert die Reststickstoffbelastung im Vergleich zu einem Tauchgang mit Pressluft
- Es reduziert die Wahrscheinlichkeit von Dekompressionskrankheit durch geringere Gasblasenbildung
- Es reduziert die Oberflächenpausen(OFP) im Vergleich zum Presslufttauchen
- Es steigert das Wohlbefinden nach dem Tauchen

Dem muss man jedoch folgende **Nachteile** gegenüber stellen

- geringere Maximaltiefe als bei einem Tauchgang mit Pressluft, da der Sauerstoff bei erhöhtem Partialdruck toxisch wirkt.
- Brand- und Explosionsgefahr durch die Kombination von Sauerstoff und nicht sauerstoffverträglichen Materialien (zB Ausrüstung oder Kompressor).
- Nitrox ist daher teurer als normale Pressluft, sowohl bei der Flaschenfüllung als auch durch die spezielle Nitrox-Ausrüstung.
- da sich durch die Gasmischung die Zusammensetzung unterscheidet, muss immer gemessen und wesentlich genauer geplant werden.

Aufgrund der Gefahren beim Umgang mit Sauerstoff und der Atmung von Sauerstoffangereicherter Luft unter Wasser ist

Ausbildung und Selbstdisziplin für den sicheren Umgang mit Nitrox

unerlässlich.

Bewährt hat sich Nitroxtauchen bei:

- Jojo-Tauchgänge (Tauchlehrer, Berufstaucher)
- mehrfache Aufstiege
- viele Wiederholungstauchgänge
- lange Tauchgänge in Tiefen bis 30 m

1.2. Ausbildungsstufen

Nitroxtauchen wird in zwei Ausbildungsstufen ausgebildet, dem „CMAS/TSVÖ Nitrox Diver“ („TSVÖ Nitrox Taucher“), der die Basis für das Nitroxtauchen bietet, und dem „CMAS/TSVÖ Advanced Nitrox Diver“ („TSVÖ Technischer Nitrox Taucher“), bei dem die Kenntnisse vertieft und intensiviert werden. Darüber hinausgehende Ausbildungsstufen sind in Planung.

1.3. Voraussetzung TSVÖ Nitrox Taucher

- Mindestalter 16 Jahre (bei Minderjährigen nur mit schriftlicher Einverständniserklärung des Erziehungsberechtigten).
- TSVÖ – Mitgliedschaft für das laufende Jahr
- Tauchsportärztliches Attest mit festgelegtem nicht abgelaufenem Gültigkeitszeitraum.
- CMAS – Brevet * oder Äquivalent.
- Nachweis von mindestens 35 Tauchgängen bestätigt im Logbuch, davon 20 Tauchgänge in mittlerer Tiefe (10 – 30m).

1.4. Kursprogramm

- Theorieausbildung
- Theorieprüfung
- 2 Tauchgänge im Freiwasser

1.5. Berechtigung nach positivem Abschluss dieses Kurses

Der Inhaber des Spezialbrevets „Nitrox-Taucher“ ist ausgebildet, Tauchgänge bis in mittlere Tiefe (10 – 30 m), jedoch nur bis zur maximal erlaubten Tauchtiefe (MOD), mit einem Nitrox-Atemgasgemisch bis zu 40 % Sauerstoffanteil durchzuführen.

1.6. Weiterbildungsmöglichkeiten

Wie schon oben erwähnt besteht nach dem erfolgreichen Abschluss des „Nitrox-Taucher“-Kurses die Möglichkeit, durch den „Technischer Nitrox Taucher“-Kurs die Kenntnisse auf dem Gebiet des sauerstoffreichen Atemgemisches (auch über 40 % Sauerstoff) bei offenen Systemen zu intensivieren.

2. Geschichte des Nitroxtauchens

Vor nun mehr als 200 Jahren wurde Sauerstoff entdeckt und man erkannte die wichtige physiologische Bedeutung dieses Gases. Die Vorteile sauerstoffangereicherter Luft als Atemgas waren schon damals offensichtlich und sind heute in der medizinischen Behandlung von größter Bedeutung

1773

Der französische Chemiker Antoine Lavoisier entdeckt den Sauerstoff. Im folgenden Jahr führte der englischer Physiker und Arzt, Reddoes, das Inhalieren von sauerstoffangereicherter Luft als medizinische Behandlungsmethode ein. Gleichzeitig schlug J. F. Zöllner die Benutzung von Sauerstoff beim Tauchen vor.

1878

Paul Bert erkennt nach über 600 Versuchen, dass durch die Verwendung von Sauerstoff und sauerstoffangereicherter Luft die Dekompressionszeit verkürzt werden kann. Er stellte bei diesen Versuchen auch fest, dass zuviel Sauerstoff eine Art Sauerstoffübersättigung verursacht. Er beschreibt, dass eine Überdosis dieses Gases das zentrale Nervensystem beeinträchtigt, wobei epileptischen Anfällen ähnliche Krämpfe verursacht werden.

1957

Die kommerzielle Nutzung von Nitrox erfolgt unter André Galerne, der ein Nitrox 50 (Sauerstoffanteil 50 %) bei Arbeitstauchgängen in Frankreich verwendete. Die Arbeitstiefe betrug zwischen 18 und 20 Meter.

Für den Sporttauchunterricht wird in einem der ersten Handbücher bereits erwähnt, dass die offensichtlichste Art dem Dekompressionsproblem zu begegnen, die Erhöhung des Sauerstoffanteils ist.

1959

Die U.S. Navy setzt mit Sauerstoff angereicherte Luft zum Tauchen ein.

1962

Mit dem Kreislaufgerät MK-6 beginnt der standardmäßige Einsatz von Nitrox in der U.S. Navy.

1970

Dr. Morgan Wells, Ph.D., Tauchoffizier der National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) begann mit Sauerstoff angereicherter Luft bei Tauchgängen zu experimentieren. Er standardisierte das Stickstoff-Sauerstoffgemisch (bis 40 m), nannte es NOAA-NITROX 1 und entwickelte die Standard „NITROX I-Tauchtabellen“. Als O₂ Partialdruckgrenze wird 1,6 bar propagiert.

1980

Die ersten funktionsfähigen Tauchcomputer für Luft erscheinen auf dem Markt.

1985

Dick Rutkowski, ein früherer Mitarbeiter der NOAA, unterrichtet als Erster das Nitroxtauchen auch für Sporttaucher. Er gründet dazu die International Association of Nitrox and Technical Divers (IANTD).

Ab 1995

CMAS beginnt mit der Ausbildung von Nitrox-Tauchern.

1997

Der erste TSVÖ Nitrox-Tauchlehrerkurs wird abgehalten und eröffnet die Nitrox-Ausbildung in Österreich.

3. Physiologie

Prinzipiell ist jede Mischung von Stickstoff (NiTROgen) und Sauerstoff (OXygen) „Nitrox“. Der Ausdruck „Nitrox“ bedeutete außerhalb der Taucherwelt eine Stickstoff-Sauerstoffmischung mit geringerem Sauerstoffanteil (weniger als 21%.) als die gewöhnliche Luft. Demnach wäre der tauchspezifische Ausdruck „Nitrox“, als die mit Sauerstoff angereicherte Luft, eine Fehlbezeichnung.

Gängige Bezeichnungen bei Tauchern für Sauerstoff angereicherte Luft sind:

- Angereicherte Luft
- Nitrox
- SafeAir
- EAN
- EANx
- hyperoxic Nitrox

Dabei darf man nicht vergessen, dass auch **Luft Nitrox (21)** ist!

Luft ist eine Nitrox-Mischung aus:

20,95%	Sauerstoff
78,05%	Stickstoff
1,00%	andere Gase

(Anmerkung: die Gase, die das restliche 1% bilden, sind: 9340 ppm Argon (parts per million), 314 ppm Kohlendioxyd, 18 ppm Neon, 5 ppm Helium, 1 ppm Krypton, und 0,09 ppm Xenon.)

3.1. Pathophysiologie von Sauerstoff

Die Mechanismen der **Sauerstoffvergiftung** und ihre Auswirkungen sind nicht vollkommen geklärt. Bekannt ist, dass Sauerstoff ein ausgesprochen aktives Molekül ist und daher leicht mit anderen organischen und anorganischen Substanzen reagiert. Innerhalb unseres Körpers werden organische Bestandteile oft durch ihre Verbindung mit Sauerstoff geschädigt. Sogar bei 0,21 bar Partialdruck (pO_2) neigt Sauerstoff dazu, kleine Mengen unangenehm korrodierender Substanzen zu bilden, sogenannte **Oxydantien**. Diese beinhalten Substanzen, wie Hydrogen Peroxid, Epoxid und Superoxide. Kurzfristig kommt es sogar zur Bildung ungebundener freier Sauerstoffatome (mit einzelnen freien Elektronen), den sogenannten „Freien Radikalen“.

Das äußerst reaktionsfreudige Molekül O_2 ist wesentlich stabiler als das ungebundene Sauerstoffatom „ O_2 “, welches das perfekte Oxydantium darstellt. Um dieses im Zaum zu halten, reagiert der Körper mit Anti-Oxydantien, wie Vitamin E und Superoxid Dismutase (Enzyme), um die diese Oxydantien unschädlich machen.

Ein erhöhter Sauerstoffpartialdruck erzeugt ein höheres Oxydantienniveau. Der Körper kann mit Oxydantien nur bis zu einem bestimmten Punkt schadlos fertig werden. Die Erreichung der Schranke setzt sowohl Zeit als auch erhöhten Druck voraus. Es handelt sich hier um einen sehr komplexen Vorgang mit verschiedenen gleichzeitig ablaufenden chemischen Reaktionen. Dank der großen Reaktionsfreude des Sauerstoffmoleküls, dient er in den Zellen zur Energieerzeugung.

Kohlehydrate, Fette und Proteine werden im Beisein von Sauerstoff zu Energie, Wasser und Kohlendioxid umgewandelt. Umso mehr Energie benötigt wird, desto größer wird der Sauerstoffbedarf und folglich die Produktion von Kohlendioxid. Dieses Kohlendioxid wird unter normalen Atembedingungen einfach ausgeatmet. Bei anstrengenden Tätigkeiten, besonders unter erhöhtem Partialdruck, kommt es zusätzlich zur Bildung von Kohlendioxid im Blutkreislauf.

Dies beeinträchtigt einen Taucher, der die **Grenzen der Oxydantien überschreitet** gleich zweifach.

- Ein erhöhter Kohlendioxidanteil erweitert die Blutgefäße im Gehirn und erhöht dadurch die Sauerstoffzufuhr, wodurch das Gehirn noch mehr Sauerstoff ausgesetzt wird.
- Das Blut wird säurehaltiger, das Hämoglobin verliert in Folge rascher Sauerstoff und das Gehirn wird einem erhöhten Sauerstoffniveau ausgesetzt.

Kohlendioxid ist der vorrangige Katalysator für eine Sauerstoffvergiftung. Bei sehr anstrengenden Tauchgängen (Strömung, Arbeiten,...) ist es daher unbedingt erforderlich, eine viel konservativere (also niedrigere) Sauerstoffdosis zu verwenden.

Auf die Bedeutung ordentlich gewarteter Atemgeräte kann nicht genug hingewiesen werden. Sie reduzieren ebenfalls einen möglichen Aufbau von CO₂ (Hyperkapnie). Mit zunehmender Tauchtiefe und wachsenden Umgebungsdruck steigt auch die Dichte des Atemgases, so dass Turbulenzen entstehen. Der Atemwiderstand steigt an, und die Atemmuskulatur wird stärker belastet. Als Folge treten Ermüdungserscheinungen auf, die Atmung wird flacher und schneller. Dabei verschiebt sich die Atmung in den Bereich der inspiatorischen Reserve, also den Bereich der zwischen normaler und tiefster Atmung liegt. Die dadurch gesteigerte Kohlendioxidkonzentration verursacht die vorher beschriebenen Probleme.

3.1.1. Die Sauerstoff-Uhr

Die Notwendigkeit Stickstoffzeiten (t_N) zu kontrollieren, wurde schon vor langer Zeit erkannt. Ein ähnliches Zeit/Partialdruck-Verhältnis ist auch bei Sauerstoff zu berücksichtigen. Da wir Sauerstoff unter erhöhtem Partialdruck atmen (über 0,5 bar), muss die t_0 (Zeitgrenze der Sauerstoffbelastung) auch überwacht werden.

Dass es eine Sauerstoff-Uhr gibt, wurde vor Sport- und Freizeittauchern lange geheim gehalten. Vermutlich wurde angenommen, dass diese nie Bereiche betauen würden, in denen Informationen darüber benötigt werden.

Die Wahrscheinlichkeit einer Sauerstoffvergiftung ist dann sehr hoch, wenn bei einem anstrengenden Tauchgang die Grenzen der Einwirkungszeit erreicht und überschritten werden.

Dadurch erscheint es sinnvoll bei Einfluss erschwerender Faktoren (Strömung, Arbeit, viele Wiederholungstauchgänge mit Nitrox,..) den Partialdruck (pO_2) weiter zu reduzieren. Eine Senkung des geplanten max. Partialdruck (pO_2) um 0,05 pro erschwerenden Faktor gilt als ausreichend.

Der TSVÖ empfiehlt als Grenzwert 1,4 bar pO_2 .

3.1.2. Sauerstoffüberlebensbereiche

Bezüglich aller Sauerstoffgemische gibt es drei verschiedene Zustände:

- < 0.21 bar Hypoxie
- = 0.21 bar Normoxie
- > 0.21 bar Hyperoxie

3.1.3. Partialdruck von Sauerstoff als Dosierung

0.10 bar	nicht ausreichend (führt zum Tod)
0.12 bar	lebenserhaltende Funktionen an der Grenze (man schläft ein) Hypoxie
0.16 bar	Minimumgrenze zur Funktionsaufrechterhaltung, Ausruhfunktion
0,21 bar	normale Luft
0,35 bar	normale Sättigung
0,50 bar	maximale Sättigung
1,40 bar	TSVÖ-Limit für Sporttauchen
1,60 bar	maximales Limit für Dekompression/USN-Limit für Arbeiten
2,40 bar	60 : 40 Nitrox Therapiegas bei 6 bar
3.00 bar	50 : 50 Nitrox Therapiegas bei 6 bar

Bei atmosphärischem Druck ist es möglich, durch Variieren des Sauerstoffprozentsatzes einen Partialdruck zwischen 0 bar und 1 bar zu erreichen. Was passiert aber, wenn der Sauerstoffpartialdruck variiert?

Bei einem pO_2 von 0,21 bar funktioniert alles bestens. Dies ist der normoxische Zustand auf den der menschliche Körper eingestellt ist. Unter normalen Umständen atmen wir rund 21 % O_2 ein und 15 -17 % O_2 , sowie 1 - 6 % CO_2 aus.

Verringert man den verfügbaren Sauerstoff, ist der menschliche Körper nur bis zu einem pO_2 von 0,16 bar funktionstüchtig und in der Lage normal zu arbeiten. Unter diesem Wert fällt der Körper in einen hypoxischen Zustand. Solang dies im Ruhezustand oder Schlaf passiert geht das Leben weiter. Ein pO_2 von 0,1 bar ist jedoch zu wenig um zu überleben.

Daraus folgt, dass jede Atemgas Mischung einen pO_2 von zumindest **0,16 bar** haben muss. Damit ist nicht 16 % sondern 0,16 bar gemeint! Unter normalen atmosphärischen Bedingungen gibt es keinen Unterschied zwischen diesen Werten. Der Partialdruck des Sauerstoffs kann entweder durch Erhöhung des Sauerstoffanteils oder durch Erhöhung des Gesamtdrucks in einer Atemgas Mischung erreicht werden. Wird der Sauerstoffpartialdruck jedoch **zu hoch** gehalten kommt es zu einer Sauerstoffvergiftung (**Hyperoxie**).

3.1.4. Pulmonare/Ganzkörper Sauerstoffvergiftung (Lorraine-Smith Effekt)

Wenn der menschliche Körper für längere Zeit (24h) einem erhöhten Sauerstoffpartialdruck ausgesetzt wird, kommt es zu einer negativen physischen Reaktion. In den frühen 60er Jahren erforscht, wird diese Krankheit nach ihrem Entdecker „Lorraine-Smith-Effekt“ genannt, ist aber auch unter den Namen Ganzkörper-chronische oder pulmonare Sauerstoffvergiftung bekannt. Manche Symptome sind denen einer Lungenentzündung nicht unähnlich.

Eine Pulmonare Sauerstoffvergiftung liegt normalerweise weit außerhalb der Reichweite des Sport- und Freizeittauchens, dennoch muss zumindest auf die Möglichkeit hingewiesen werden.

Ganzkörper - Sauerstoffvergiftungssymptome

- Husten ohne Schleimauswurf
- Erhöhung des Atemwiderstandes
- Schwierigkeiten komplett einzuatmen
- Verringerung der Vitalkapazität
- Erkennbare Ungeschicklichkeit und/oder
- Koordinationsprobleme
- Schmerzen im Bereich der Brust und des Brustbeines

Diese Symptome können in jeder beliebigen Reihenfolge auftreten!

3.1.5. Neurotoxische Vergiftung des ZNS (Paul Bert Effekt)

Bei höherem Sauerstoffpartialdruck ($> 1,6$ bar) und längerer Einwirkungsdauer können neurotoxische Effekte auftreten. Obwohl viele Warnsymptome beschrieben sind (Blässe, Schwitzen, Pulsverlangsamung (Bradykardie), Sehstörung, Spontangeräusche, seltsame Geschmacks- und Geruchswahrnehmungen, Übelkeit, Muskelzucken, Krämpfe) treten die gefährlichen Symptome oft auch ohne jede Vorwarnung auf.

Die Krämpfe sind einem epileptischem Anfall sehr ähnlich. Dabei verkrampft sich der Taucher plötzlich zu einem Bogen („**tonic phase**“ – erhöhter Muskeltonus), die Atmung setzt aus und er verliert das Bewusstsein. Zu diesem Zeitpunkt verschließt sich der Kehlkopf und jeder Versuch den Taucher an die Oberfläche zu bringen endet für ihn mit einer massiven Embolie.

Diese Phase dauert etwa 30 Sekunden, bevor der Taucher in die nächste Phase („**clonic Phase**“) fällt, in der anhaltende massive Kontraktionen aller Muskeln den Taucher verkrampfen. In der Regel bleibt der Kehlkopf auch während dieser Periode, die etwa eine Minute dauert, verschlossen. Danach entspannen sich die Muskeln wieder und der Taucher beginnt tief zu atmen wegen des aufgestauten Kohlendioxids. Nun ist es möglich den Taucher an die Oberfläche zu bergen, jedoch muss darauf geachtet werden, dass der Regler im Mund bleibt. Dennoch besteht die Gefahr einer Embolie und des Ertrinkens gleichzeitig.

Nach Normalisierung des Sauerstoffpartialdruckes klingen die Symptome in der Regel ohne bleibende Schädigungen ab.

Ein Sauerstoffpartialdruck von mehr als 1,6 bar kann zwar für kurze Zeit toleriert werden, ohne dass es zu Vergiftungsproblemen kommt, dies ist aber nur im Ruhezustand möglich. Ein pO_2 von **2,0 bar** wird routinemäßig und ohne Nebeneffekte bei **hyperbaren Therapien** verabreicht. Dabei liegt der Patient in Ruhe ohne zu sprechen auf dem Rücken. Auf diese Weise kann das CO_2 unter Kontrolle gehalten werden. Sollten Vergiftungserscheinungen auftreten, kann die O_2 -Dosierung reduziert werden bis die Probleme verschwinden.

Krämpfe können sogar noch Minuten nachdem die hohe Zufuhr beendet wurde auftreten. Die Berücksichtigung von Krampfanfällen ist allerdings von geringer Bedeutung, da diese leicht zu stoppen sind und es keine Dauerschäden nach Krämpfen, die durch Sauerstoffvergiftung hervorgerufen wurden, gibt, solange eine normale Atmung aufrechterhalten wird.

Krämpfe unter Wasser mit normaler Tauchausrüstung führen allerdings meist zum Tod durch ertrinken.

Die einfachste Methode eine ZNS-Sauerstoffvergiftung zu vermeiden ist, sich an die **Partialdruckgrenze von 1,4 bar** und die **Zeitlimits der NOAA-Tabelle** zu halten.

Die wichtigsten Symptome einer ZNS Vergiftung sind

VITBEND

V	Visuelle Störungen
I	(Irritability) Gereiztheit
T	(Twitching of muscles), Muskelzucken
B	(Breathing diff.) Atembeschwerden
E	(Ears), Ohrensausen
N	(Nausea), Übelkeit
D	(Dizziness), Schwindel, Unkoordiniertheit

Ein weiterer Merksatz dazu:

CONVENTID

CON vulsion	Krampfanfall
V isual	Sehstörungen
E ar	Hörstörungen
N ausea	Übelkeit
T rembling	Muskelzuckungen (Gesicht, Mund)
I rritation	Reizbarkeit, Angst, Verwirrtheit
D izziness	Benommenheit, Schwindel

3.1.6. Einsatzgrenzen des Sauerstoffs

Das Atmen hyperoxischer Gemische im Bereich 0,5 - 1,4 bar pO₂ bringt dem Sport- und Freizeittaucher große physiologische Vorteile. Die Sauerstoffzeitgrenzen (tO₂ max.) erlauben extrem lange Tauchprofile (2½ - 6 Stunden) ohne Sauerstoffrisiken.

Sofern man dem Körper erlaubt die Sauerstoffuhr „neu einzustellen“, können Wiederholungstauchgänge innerhalb sicherer Grenzen durchgeführt werden. Um dies zu erreichen ist es unbedingt empfehlenswert eine Oberflächenpause von mindestens 45 min bei normaler Luft einzuhalten, um die durch den erhöhten Sauerstoffpartialdruck entstandenen Oxydantien abzubauen. In dieser Pause sollte man zur Unterstützung dem Körper ausreichend Flüssigkeit zuführen. Dies ermöglicht es dem Körper, sich auf die jeweiligen Veränderungen einzustellen und sich anzupassen.

3.1.7. Beeinflussende Faktoren einer Sauerstoffvergiftung

Umgebungsbedingungen

Die O₂-Toleranz ist in kalter und warmer Umgebung sehr unterschiedlich. Im Wasser, meist ein kaltes Medium, ist die Toleranzgrenze deutlich niedriger als in der trockenen warmen Druckkammer.

Arbeitsleistung

Auch körperliche Anstrengung (Arbeiten, Strömung) setzt die Sauerstofftoleranz deutlich herab. Die Erhöhung des alveolären CO₂, das zu einer Erweiterung der Hirngefäße und somit zu einer vermehrten Durchblutung des Gehirns führt, erklärt dieses Phänomen teilweise. Eine gesicherte Erklärung gibt es dafür bislang jedoch nicht.

Wiederholte O₂ Expositionen

Wiederholungstauchgänge reduzieren die O₂-Toleranz.

Erhöhter pCO₂ (Hyperkapnie)

Ein erhöhter pCO₂ im Blut vermindert die Sauerstofftoleranz (siehe oben bzw. Kapitel 3.1.).

Individuelle Unterschiede

Nicht jeder Taucher zeigt gleiche O₂-Toleranzgrenzen. Es werden zudem unterschiedliche Toleranzwerte bei der gleichen Person (ähnlich der Inertgasnarkose) beobachtet.

Dehydration

Wenn man dehydriert ist, wird das Blut dicker und der Gastransport vermindert.

3.1.8. Sauerstoffgrenzen - Zusammenfassung

Es gibt zwei Arten der Sauerstoffintoleranz. Beide stehen in einem Druck/Zeit-Verhältnis, überschneiden einander und werden von verschiedenen Arten der Exponierung verursacht. Die üblichen Symptome sind aufgelistet.

- **Niedrige Dosierung/lange Zeit** (Lorraine-Smith Effekt)
pulmonare Sauerstoffvergiftung oder Ganzkörper Sauerstoffvergiftung;
kumulierte Zeiten hyperoxischer Exponierung greifen die Lunge und andere Körperfunktionen an
- **Hohe Dosierung/kurze Zeit** (Paul Bert Effekt)
ZNS Vergiftung;
Ein hoher Sauerstoffpartialdruck kann nur für kurze Zeit ausgehalten werden. Das Zentrale Nervensystem, im speziellen das Gehirn, ist ernsthaft betroffen.

Oft wird auch der **Unterschied** zwischen einer “**normalen Stickstoffnarkose**“ und Sauerstoffproblemen nicht erkannt. Große Tiefen jenseits der Sporttauchergrenze von 40 m und besonders Tauchgänge über 66 m mit normaler Pressluft sind ein zu großes Risiko. Wenn diese Tiefen erforscht werden sollen, muss das Atemgas den maximal erlaubten Werten des Sauerstoffpartialdruckes angepasst werden. Viel zu viele ungeklärte Todesfälle sind auf diesen Leichtsin zurückzuführen.

3.2. Stickstoff–Blasenbildung und Dekompression

Nitrox kann bei vernünftiger Anwendung bezüglich Blasenbildung und Dekompression zusätzliche Sicherheit bringen. Werden die Möglichkeiten von Nitrox jedoch voll ausgenutzt (Maximierung der Grundzeit und Minimierung der Dekozeit), reduzieren sich wieder die Sicherheitsvorteile.

In den folgenden Kapiteln wird darauf näher eingegangen.

3.2.1. Einfluss des reduzierten Inertgasanteils/Stickstoffanteils

Der Hauptgrund für die Verwendung von Nitrox besteht darin, dass der Körper einem geringeren Inertgasanteil gegenüber Pressluft ausgesetzt ist. Daher wird die Blasenbildung im arteriellen Blut unwahrscheinlicher. Jojo–Tauchgänge mit Nitrox sind aus der Sicht der Mikrogasblasenbildung weniger risikobehaftet als mit Normox. Dennoch sind solche Tauchgänge aus anderen Gründen (Barotraumen) zu vermeiden.

Zusätzlich ist bei der Verwendung von Nitrox mit einer Reduktion der Inertgasnarkose zu rechnen.

Wenn man Luft und Nitrox bezüglich Blasenbildung und Dekompression vergleicht, muss der Taucher zwei unterschiedliche Ausgangslagen beachten.

- Der Taucher gestaltet seine **Tauchgänge** im Wesentlichen **gleich wie mit Luft**. In diesem Fall stehen eine Erhöhung der Sicherheit und/oder eine Reduktion der Dekompression (Dekompression nach Luft) im Vordergrund.
- Der Taucher **dehnt** unter Verwendung von Nitrox **seine Tauchzeit (Nullzeit) aus**. Hier steht nicht das Sicherheitsargument im Vordergrund. Der Tauchgang wird im Verhältnis zu Luft – TG länger bei gleicher Stickstoffbelastung. Die Risiken bezüglich der Sauerstoffbelastung sind hier besonders zu beachten

3.2.2. Risiko einer Dekompressionskrankheit (DCS)

Grundsätzlich gilt: je kleiner die Inertgasaufnahme, desto geringer das Risiko einer Dekompressionskrankheit. Machen also zwei Taucher den gleichen Tauchgang und taucht der eine mit Nitrox, so wird der Nitrox-Taucher weniger Stickstoff in seinen Geweben aufnehmen. Sein Risiko an einer DCS zu erkranken ist somit geringer. Schöpfen aber beide Taucher ihre Nullzeit voll aus (d.h. der Nitrox Taucher taucht länger und /oder tiefer) so wird das Risiko einer DCS für beide wieder gleich.

Die größte Sicherheit wird erreicht, wenn der Nitrox-Taucher nach einer Lufttabelle (oder mit Luftcomputer) taucht. Gerade bei mehreren Wiederholungstauchgängen an aneinanderfolgenden Tagen (Tauchsafari) empfiehlt sich diese Vorgangsweise.

Auch eine geringe Müdigkeit nach dem Tauchgang wird von vielen Nitrox-Tauchern erwähnt und unterstreicht hier zusätzlich den Sicherheitsgedanken.

3.2.3. Bestimmung der Dekompressionsdaten für Nitrox-Tauchgänge

Der Taucher hat zwei Möglichkeiten zum Bestimmen seiner Dekompressionsverfahren. Zum einen steht die klassische Tauchtabelle, die jedoch immer mehr in den Hintergrund tritt, und zum anderen modernste Tauchcomputer zur Verfügung.

Untersuchungen haben gezeigt, dass gerade aber die Tauchcomputer zu unterschiedlichsten Ergebnissen (Stopps) kommen. Deshalb ist es für den ambitionierten Taucher, wie es ein Nitrox-Taucher ist, unerlässlich seine Tauchgangspläne auch mit der Tabelle zu überprüfen.

Für die Verwendung von Tabellen beim Nitrox Tauchen gibt es drei Möglichkeiten.

- Dekompressionstabelle Pressluft
- Dekompressionstabelle Pressluft bei Verwendung der äquivalenten Lufttiefe
- Dekompressionstabelle für Nitrox

Dekompressionstabelle Pressluft

Mit einer Pressluft Tabelle kann grundsätzlich ohne Veränderungen gearbeitet werden, da die Dekompressionszeit nach Luft immer konservativer ist als nach Nitrox. Es resultiert für den Taucher eine Sicherheitsreserve bei gleich bleibender Tauchzeit im Vergleich zur Luft. Auf die Bestimmungen und Einhaltung der maximalen Tauchtiefe und der Sauerstofftoxizität darf dabei keinesfalls vergessen werden!

Dekompressionstabelle Pressluft bei Verwendung der äquivalenten Lufttiefe

Über die äquivalente Lufttiefe/Narkosetiefe (EAD/END) kann auch mit einer Pressluft-Tabelle für ein Nitrox-Gemisch angepasst dekomprimiert werden. Die Ermittlung kann über einen Rechenvorgang oder unter Benützung einer Tabelle erfolgen. Die Bestimmungen und die Einhaltung der maximalen Tauchtiefe und der Sauerstofftoxizität dürfen keinesfalls vergessen werden! Der Umgang mit solchen Tabellen und die erforderlichen Rechenvorgänge werden im Kapitel 4 näher erklärt.

Dekompressionstabelle für Nitrox

Die bequemste Methode zur Bestimmung der Dekompression sind eigene Nitrox-Tabellen. Dafür braucht es allerdings für jedes Gemisch eine eigene Tabelle.

3.2.4. Verwendung vom Tauchcomputer

Tauchcomputer erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Viele Modelle sind bereits „nitroxtauglich“. Jeder Computer ist jedoch nur so zuverlässig, wie sein Benutzer. Stellt der Taucher den Computer falsch ein, kann das unter Umständen fatale Folgen haben. Deshalb muss die Einstellung des Tauchcomputers vor jedem Tauchgang kontrolliert werden!

Ist der Computer auf den gemessenen Wert nicht einstellbar, so wird der gemessene pO_2 abgerundet, da der Tauchcomputer dem Taucher erstrangig Informationen über die Dekompression gibt. Er rechnet somit mit einem scheinbar höheren Stickstoffanteil als tatsächlich vorhanden und wird so dem Taucher früher als notwendig einen Dekompressionsstopp vorschreiben. Die maximal erlaubte Tauchtiefe (gemäß dem gemessenen Wert) darf jedoch nicht überschritten werden und die Information bezüglich Sauerstofftoxizität ist folglich nicht richtig. Da bei Nitrox-Tauchen jedoch kaum Belastungen des ZNS über 35 % vorkommen, kann hierbei so vorgegangen werden.

Die sicherste Methode ist, den Tauchcomputer auf Luft eingestellt zu lassen. Hierbei gilt gleiches wie bei der Benützung von Dekompressionstabellen nach Pressluft. Die Bestimmungen und Einhaltung der maximalen Tauchtiefe und der Sauerstofftoxizität darf keinesfalls vergessen werden!

3.3. Einflussfaktor Kälte

Da Nitrox längere Tauchgänge ermöglicht, muss auf die Kälteeinwirkung und ihre Folgen ein besonderes Augenmerk gelegt werden.

Unter Wasser ist die Wärmeleitfähigkeit (Konvektion), dank dem dichtem Medium, wesentlich größer als in der Luft (ca 25 Mal größer). Dies bewirkt, dass der Körper schneller auskühlt als an Land. Der Körper reagiert darauf mit Gegenmaßnahmen (Kreislaufzentralisation, Wärmeproduktion durch Muskelzittern), die aber auf Dauer trotz ausreichender Wärmeschutzmaßnahmen nicht vor einer Unterkühlung bewahren können, was mit entscheidenden Funktionsausfällen verbunden ist.

Hauttemperatur	Körpertemperatur
➤ < 20 °C Gänsehaut	➤ < 36 °C Kompensationsphase
➤ < 15 °C gestörter Tastsinn	Kältezittern, erhöhter O_2 -Verbrauch
➤ < 10 °C gestörte Muskelfunktion	➤ < 34 °C Dekompensationsphase
➤ < 5 °C Schmerzen, Gefühlslosigkeit	Nachlassen des Zitterns, Absinken der Temperatur
	➤ < 30 °C Verlust motor. Funktionen, Herzrhythmusstörungen, Blutdruckabfall, Bewusstseinsverlust, LEBENSGEFAHR

Selbst bei einem geringen Abfall der Körpertemperatur (1 – 2 °C) werden **Reaktionszeit, Orientierung, Kurzzeitgedächtnis** und die **allgemeine Leistungsfähigkeit** massiv beeinträchtigt!

3.4. Erste Hilfe bei Tauchunfällen mit Nitrox

Die Erste Hilfe bei Nitrox-Tauchunfällen mit offenen Systemen unterscheidet sich kaum von der, bei Tauchunfällen mit gewöhnlicher Pressluft (Barotraumen, DCS, Unterkühlung etc).

Besonders zu beachten ist aufgrund des höheren Sauerstoffanteils die Sauerstoffvergiftung (**Hyperoxie**). An Land auftretende Hyperoxie kann durch Atmen von normalem (0,21 bar) Sauerstoffpartialdruck erfolgreich therapiert werden (also gewöhnliche Luft oder normobarer Sauerstoff). Tritt sie hingegen unter Wasser auf und gelingt es, den Verunfallten an die Oberfläche zu bringen, muss sowohl mit der Möglichkeit des Ertrinkens, wie auch mit einer Embolie gerechnet werden. Hier sollte man gemäß der jeweiligen Symptomatik handeln.

Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass trotz der erfolgreichen Behandlung der Hyperoxie der Verunfallte gleichzeitig an einer Bläschenerkrankung leiden kann, weshalb auch bei Hyperoxie die Therapie mit 100 % **normobarem Sauerstoff** zu empfehlen ist.

4. Berechnungen

Beim Tauchen mit Nitrox muss nicht nur sorgfältig mit der Ausrüstung umgegangen werden, sondern auch die Tauchgangsplanung und die Berechnungen müssen genauesten durchgeführt werden. Vor jedem Tauchgang muss die Belastung, die auf den Körper einwirkt, berechnet und in ein entsprechendes Kontrollblatt eingetragen werden. Nach dem Tauchgang müssen die Daten kontrolliert und eventuell abgeglichen werden.

4.1. ZNS-Berechnung (CNS)

Bei wiederholtem Tauchen mit Nitrox ist es notwendig, über die Sauerstoff- und Stickstoffmengen, denen man ausgesetzt war, Aufzeichnungen zu führen.

Das geht am einfachsten mit der **NOAA-pO₂-Zeitlimittabelle** als Basis für periodische und tägliche Tauchlimits.

pO ₂	einzelner Tauchgang	tägliches Maximum
1,6	45	150
1,5	120	180
1,4	154	180
1,3	179	210
1,2	213	240
1,1	238	270
1,0	303	303
0,9	357	357
0,8	455	455
0,7	556	556
0,6	714	714

Erreichen ein oder mehrere Tauchgänge das Limit für einzelne Tauchgänge, muss eine Pause von 2 Stunden an der Oberfläche gemacht werden, bevor das Tauchprogramm fortgesetzt wird. Der Prozess darf dann bis zum Erreichen des täglichen Maximums fortgesetzt werden. Wenn das tägliche Maximum erreicht wird, muss eine 12-stündige Pause eingelegt werden. In dieser Zeit muss die Luft an der Oberfläche geatmet werden.

Wenn für einen Tauchgang nicht die gesamte Zeit verwendet wurde, so kann man sowohl der unverbrauchten Tauchzeit (NOAA-Zeit), als auch dem O₂ Abbau während der Pause an der Oberfläche einen bestimmten Wert anrechnen. Diesen ermittelt man mit einer Formel, die den Prozentsatz der NOAA-ZNS-Sauerstoffbelastung, der man während des Tauchganges ausgesetzt war, angibt.

Die Formel lautet:

$$(T/S) \times 100 = \text{ZNS-Belastung eines Tauchganges}$$

T...aktuelle Tauchzeit

S...Einzelzeitlimit für den Sauerstoffteildruck der beim Tauchgang erreicht wurde

Zum Beispiel würde ein Tauchgang mit 60 min Tauchzeit und 1,2 pO₂ wie folgt berechnet werden:

$$(60/213) \times 100 = 28,17 \% \text{ ZNS Belastung}$$

Die ZNS-Belastung vermindert sich mit einer Halbwertszeit von 90 Minuten. Nach 12 Stunden kann man den Körper daher als rein bezeichnen.

Multiplikatoren für die Reduktion der ZNS O₂ Dosis:

Intervallzeit	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	4:00	5:00	6:00	9:00
Multiplikator für ZNS O ₂ %	0,80	0,63	0,50	0,40	0,31	0,25	0,16	0,10	0,06	0,00

Zum Beispiel würde ein Taucher, der den Tauchgang mit 30 % ZNS-Belastung beendet, nach einer Oberflächenpause von 2 Stunden eine ZNS Belastung von 12 % haben.

$$30 \times 0,4 = 12\%$$

4.2. OTU-Berechnung

Aus Gründen der Vollständigkeit und für jene, die extremen Exponierungszeiten vorwegnehmen, folgt hier eine Abhandlung geringer Dosierungen in ihrer Relation zur Sauerstoffuhr.

Formel zur Berechnung:

$$OTU = t [\text{min}] \left\{ \frac{pO_2 - 0,5}{0,5} \right\}^{0,83}$$

In den frühen 60er Jahren wurde die UPTD (unit pulinonary toxic dose) als Zeit-Druck-Einheit festgelegt. Sie wird auch OTU (Oxygen tolerance unit) oder CPTD (cumulative pulmonary toxic dose.) genannt.

Ein OTU entspricht etwa (siehe Tabelle) der Verabreichung von 1 bar O₂ für 1 Minute. So ist zum Beispiel 1,5 bar pO₂ für 30 Minuten gleich 53 OTU.

OTU Dosierung pro Bar

Bar	OTU / min	Bar	OTU / min
0,50	0,00	1,25	1,39
0,55	0,15	1,30	1,48
0,60	0,27	1,35	1,56
0,65	0,37	1,40	1,63
0,70	0,47	1,45	1,70
0,75	0,56	1,50	1,78
0,80	0,65	1,55	1,85
0,85	0,74	1,60	1,92
0,90	0,83	1,65	2,00
0,95	0,92	1,70	2,07
1,00	1,00	1,75	2,14
1,05	1,07	1,80	2,22
1,10	1,16	1,85	2,28
1,15	1,23	1,90	2,35
1,20	1,32	2,00	2,49

Maximum für ...

1 Tag = 850 Einheiten

2 Tage = 700 im Durchschnitt pro Tag (1400 total)

3 Tage = 620 im Durchschnitt pro Tag (1860 total)

4 Tage = 525 im Durchschnitt pro Tag (2100 total)

5 Tage = 460 im Durchschnitt pro Tag (2300 total)

6 Tage = 420 im Durchschnitt pro Tag (2520 total)

7 Tage = 380 im Durchschnitt pro Tag (2660 total)

Das Zählen von OTU/UPTD ist die derzeit einzige standardisierte Methode um Sauerstoffexponierungen zu messen, sollte jedoch nur als Richtwert genommen werden. Es ist im Bereich des technisch-wissenschaftlichen Tauchens ein nützliches Instrument um kumulative Exponierungen zu berechnen, im Bereich des Sport- und Freizeittauchens allerdings nicht wirklich von Nutzen.

4.3. Mathematische Prinzipien von Gasgemischen

In diesem Kapitel wird auf die mathematischen Zusammenhänge von Gasgemischen, die auf Dalton's Gesetz basieren, eingegangen. Diese Information ist die Basis für alle Gasgemische, nicht nur für Luft und Nitrox. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Tabellen. Diese werden im Kapitel 8 genauer erläutert.

Verwendete Abkürzungen

Bevor wir fortfahren, wird es notwendig sein, die Abkürzungen und Symbole zu erläutern, die in den folgenden mathematischen Formeln laufend verwendet werden. Die Abkürzungen beruhen hauptsächlich auf dem "Old British/U.S. System of Units of measurement". Jedoch werden ein paar Ausnahmen gemacht um die Übernahme des „metric System of units“ in die Mathematik zu ermöglichen.

p = Gesamtdruck - normalerweise in Bar, aber merke ,auch Tiefe kann Druck sein.

bar = gesamte Druckeinheit - kann auch ein metrischer Wert sein.

T = Tiefe

Alle genannten Abkürzungen sind Bezeichnungen oder Abwandlungen für Druck.

fG = Anteil eines Gases im Gemisch

(dezimaler Ausdruck des prozentuellen Anteiles eines nicht näher genannten Gases in einem Gasgemisch)

fO = Anteil des genannten Gases im Gemisch

pG = Druck eines nicht näher genannten Gases im Gemisch

(Einheiten in Bar pO_2 , = Druck des genannten Gases im Gemisch (PN, etc.))

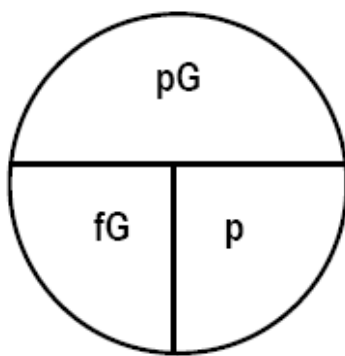
4.4. Das „T im Kreis“

$$fG = \frac{pG}{p}$$

$$pG = fG \cdot p$$

$$p = \frac{pG}{fG}$$

pG = Partialdruck des Gases [bar]
 p = Gesamtdruck [bar]
 fG = Anteil (fraction) des Einzel-Gases



Der abgedeckte Teil im Formelkreis ist der gesuchte Wert

Beispiel:

Wir wollen den maximal zulässigen Gesamtdruck (Umgebungsdruck) berechnen. Es wird ein Nitroxgemisch mit 40 % verwendet und der maximale Partialdruck beträgt 1,4 bar. Wir decken den Gesamtdruck (p) ab und es ergibt sich:

$$p = \frac{pG}{fG} = \frac{1,4}{0,4} = 3,5 \text{ bar}$$

4.5. Die maximale Tauchtiefe (MOD)

Die maximale Tauchtiefe ergibt sich aus dem Sauerstoffgehalt des Nitrox-Gemisches und dem Grenzwert für Sauerstoff. Für die maximale Tauchtiefe wird im englischen Sprachbereich der Ausdruck MOD (Maximum Operation Depth) benützt. Diese Bezeichnung hat sich auch im deutschsprachigen Raum durchgesetzt. Als Grundlage für die Berechnung dient wieder unser „T im Kreis“.

Die Formel lautet:

$$\text{MOD} = \left(\frac{p\text{O}_2}{f\text{O}_2} - 1 \right) * 10$$

$p\text{O}_2$ = max. Partialdruck O₂ = **1,4 bar** (TSVÖ Limit)
 $f\text{O}_2$ = faktischer Anteil (z.B.: Nitrox 32 = 0,32)

Beispiel:

Für ein Nitrox 40 und einem maximal zulässigen $p\text{O}_2$ 1,4 bar ergibt sich:

$$\text{MOD} = [(1,4/0,4) - 1] * 10 = 25 \text{ m}$$

Die MOD für Nitrox 40 ist 25 Meter.

4.6. Das optimale Gasgemisch (Best Mix)

In der Praxis wird meist das optimale Gasgemisch für einen Tauchgang durch den Tauchplatz (Wrack, Riff,...) vorgegeben. Für die Berechnung verwenden wir eine weitere Formel aus dem „T im Kreis“.

$$f\text{O}_2 = \left(\frac{p\text{O}_2}{\left(\frac{T}{10} \right) + 1} \right)$$

$f\text{O}_2$ Best Mix (z.B. 0,32 = Nitrox32)
 T Tauchtiefe

Beispiel:

Für einen Tauchgang auf 36 Meter ergibt sich:

$$f\text{O}_2 = [1,4 / (36/10) + 1] = 0,30$$

entspricht „Nitrox 30“

4.7. äquivalente Lufttiefe (EAD)

Wie bereits im Kapitel 3.2.3. ausgeführt, besteht auch die Möglichkeit normale Presslufttabellen für die Dekompressionsberechnung zu verwenden. Auch hier wird die englische Abkürzung EAD (Equivalent Air Depth) verwendet.

Die Formel lautet:

$$EAD = \left(\frac{(1,00 - fO_2) * (T + 10)}{0,79} - 10 \right)$$

EAD Equivalent Air Deep

fO₂ faktischer Anteil (z.B. 0,32 = Nitrox32)

T Tauchtiefe in m

Beispiel:

Für einen Tauchgang auf 39m mit einem Nitrox 28 ergibt sich:

$$EAD = [(1 - 0,28) * (39 + 10) / 0,79 - 10] = 35 \text{ m vergleichbare Lufttiefe}$$

5. Nitrox-Tauchausrüstung

Die notwendige Tauchausrüstung zum Tauchen mit Nitrox unterscheidet sich in einigen Bestandteilen von der Tauchausrüstung für das Presslufttauchen. Im wesentlichen müssen Teile, die mit dem sauerstoffangereicherten Gasgemisch in Berührung kommen gewisse Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen sind in Normen geregelt um die Verwendung von Nitrox so sicher, wie möglich zu gestalten.

5.1. Eigenschaften des Sauerstoffs

Sauerstoff ist ein farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas. Sauerstoff ist das am häufigsten vorkommende Element. 21 % unserer Atemluft und 55 % der Erdkruste bestehen aus Sauerstoff. Außerdem sind die meisten Erze Metalloxide.

Sauerstoff ermöglicht pflanzliches und organisches Leben. Er ist für die Verbrennung und für die Korrosion der meisten Metalle zuständig.

Wie kann Sauerstoff gefährlich sein, wenn wir ihn ständig atmen und ihn verwenden um Leben zu retten? Er ist nicht einmal brennbar!

Sauerstoff, der richtig gehandhabt wird, ist eine sichere und wertvolle Annehmlichkeit. Wenn aber die Temperatur und/oder der Druck genau passen, oxidiert beinahe alles. Da durch Sauerstoff alles schneller und leichter brennt, und Sauerstoff unter gewissen Umständen zu schweren Explosionen führen kann, sollte man die Handhabung des reinen Sauerstoffs Fachleuten überlassen.

5.1.1. Sauerstoffrein

Tauchflaschen und Ventile, die für den Einsatz mit Nitrox oder reinem Sauerstoff bestimmt sind, müssen frei von jeder Verunreinigung sein. Sie müssen sauerstoffrein (**Oxygen Clean**) sein. Sauerstoffrein bedeutet, von jeder Verunreinigung frei zu sein. Da Sauerstoff mit gewissen Substanzen sehr heftig reagiert, ist es unbedingt erforderlich, diese getrennt zu halten. Dies ist besonders in Drucksystemen wichtig.

Die bei Tauchausrüstungen üblicherweise vorkommenden **Sauerstoffverunreinigungen** sind:

- Maschinenöle und Gewindeschmiermittel
- Schmierfette und Reinigungslösungsmittel
- Farbe und Markierungsstifte
- diverse metallische Ablagerungen
- Roststaub und andere Metalloxide
- Staub und Ruß aus der Luft
- ölige Fingerabdrücke
- Dichtungsmaterial für Schlauchgewinde
- Seifenwasser, das verwendet wurde um Undichtigkeiten festzustellen
- Stofffasern von Putztüchern, um oben genannte Verschmutzungen zu entfernen

Es darf nie angenommen werden, dass ein Produkt sauerstoffrein ist, wenn es nicht ausdrücklich als sauerstoffrein beschriftet und verpackt ist. Es gibt zahlreiche, von speziell ausgebildeten Servicetechnikern angewandte, Methoden um Tauchausrüstung sauerstoffrein zu machen. Zahlreiche Hersteller liefern nun auch sauerstoffreine Tauchausrüstungen.

5.1.2. Sauerstoffverträglich

Materialien, die in Luft brennen, brennen wesentlich heftiger in Sauerstoff und explosionsartig in Drucksystemen. Ab einem gewissen Punkt, wenn der Sauerstoffpartialdruck in einem Gemisch zunimmt (abhängig von Temperatur und Druck), wird sich dieses Gemisch immer mehr und mehr wie Sauerstoff verhalten.

Temperatur, Partialdruck und Gesamtdruck sind alles Bestandteile der Sauerstoffgleichung. Jegliche Diskussion über die Reaktionsfähigkeit von Sauerstoff ist unvollständig, wenn nicht alle drei Punkte berücksichtigt werden. Die Auswahl der mit Sauerstoff zu verwendenden Materialien ist von extremer Wichtigkeit.

- Weiches Teflon
- Buna-N O-Ringe
- Ventile und Membranen aus Neopren
- Schmiermittel auf Silikonbasis
- Dichtungsmaterialien für Schlauchgewinde

Diese und sehr viele andere Materialien werden bei entsprechender Temperatur und unter entsprechenden Druckverhältnissen **in einer Sauerstoffumgebung brennen**. Manche werden sich nur bei relativ hohen Temperaturen entzünden, aber auch sie oxidieren und nützen sich in einer Sauerstoffumgebung schneller ab, auch bei geringen Temperaturen. Die Zunahme des Sauerstoffpartialdrucks beschleunigt die oben genannten Wirkungen.

Kurz gesagt, **Sauerstoffverträglichkeit** bedeutet, dass sämtliche mit dem Gas (Sauerstoff) in Kontakt kommende Materialien, bei den genau angegebenen Druck- und Temperaturverhältnissen, nicht reaktiv sind. So sind zum Beispiel manche Plastikarten bei normalen Temperaturen (20 °C) und Atmosphärendruck verträglich, aber bei einem Ansteigen der Temperatur oder des Drucks sinkt der Pegel der Verträglichkeit beträchtlich. Ein Bestandteil kann sauerstoffrein, aber nicht sauerstoffverträglich sein oder sauerstoffverträglich, aber nicht sauerstoffrein sein. So können beispielsweise manche Gummiprodukte für die Verwendung mit Sauerstoff geeignet sein (Entfernung der Verunreinigungen), aber nie sauerstoffverträglich werden. Ähnlich ist es mit Messingbestandteilen, die zwar sauerstoffverträglich sind, deren Oberflächen jedoch verunreinigt sein können.

5.1.3. Oxygen Service – Sauerstoffeinsatzfähigkeit/Sauerstofftauglich

Dies bezieht sich auf die Eignung eines Materials oder Bestandteils für die Verwendung in Verbindung mit Sauerstoff. „Sauerstoffeinsatzfähigkeit“ verlangt sauerstoffreine, sauerstoffverträgliche und für Sauerstoff entwickelte Bestandteile. Die meisten als Sauerstoffeinsatzfähigkeit eingestuften Materialien haben Temperatur- und Druckbeschränkungen als Grenzen ihrer Eignung für Sauerstoff.

Eine sauerstofftaugliche Tauchausrüstung muss beide Bedingungen (Sauerstoffrein und Sauerstoffverträglichkeit) erfüllen. Es gilt daher:

Sauerstofftauglich = sauerstoffverträglich + sauerstoffrein

5.2. Tauchausrüstung - Normen

Beim Tauchen mit Nitrox sind aufgrund erwähnter Gefahren eigene Ausrüstungsgegenstände seitens der Hersteller auf den Markt gebracht worden. Die für das Nitrox-Tauchen relevanten Ausrüstungsgegenstände werden hier näher beschrieben. In Österreich gibt es keine gesetzlichen Regelungen für Nitrox im Bereich des Sporttauchen. Es gibt nur Normen, die mangels gesetzlicher Vorschriften im Gerichtsverfahren herangezogen werden. Weiters gibt es Standards von Verbänden und Firmen.

Der TSVÖ orientiert sich an den Normen.

5.2.1. Tauchflaschen

Die Tauchflaschen für das Nitroxtauchen unterscheiden sich äußerlich durch die Stempelung und die Farbkennzeichnung von normalen Pressluftflaschen. Aufgrund der besonderen Anforderungen hinsichtlich der Reinheit muss die Verwechslung beim Füllen ausgeschlossen werden.

Die ÖNORMEN 1089/1-3 regeln

- die Stempelung
 - den Gefahrzettel
 - die Farbcodierung
- von Druckbehältern.

Stempelung - EN 1089-1

„SAUERSTOFF-TG“ statt „DRUCKLUFT-TG“

Gefahrzettel - EN 1089-2

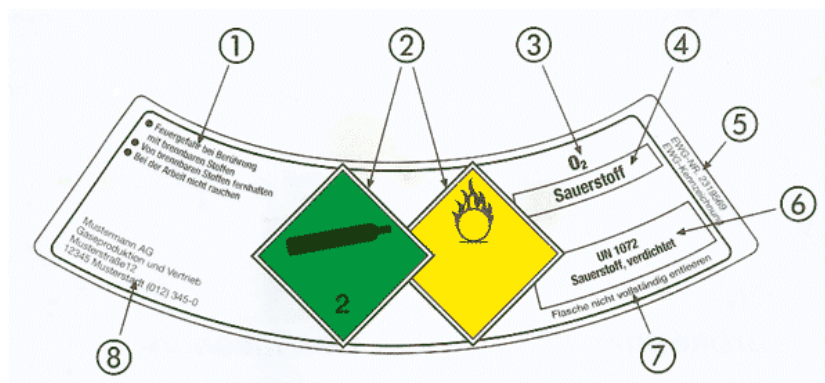
Gefahrzettel Nr. 2

- grünes Quadrat
- kleine Ziffer „2“
- schwarzes oder weißes Flaschensymbol



Gefahrzettel Nr. 5 oder 5.1

- gelbes Quadrat
- kleine Ziffer „5.1“
- schwarzes Flammensymbol



1. Risiko und Sicherheitssätze

- Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen!
- Bei der Arbeit nicht rauchen!

2. Gefahrzettel

3. Zusammensetzung des Gas(Gemisches)

4. Produktbezeichnung des Herstellers

5. EWG-Nummer bei Einzelstoffen oder das Wort "Gasgemisch"

6. Vollständige Stoffbezeichnung nach ADR

- O₂:UN-Nummer:1072
Bezeichnung: SAUERSTOFF, VERDICHET
- Nitrox:UN-Nummer:3156
Bezeichnung: VERDICHETES GAS, OXIDIEREND, N.A.G.

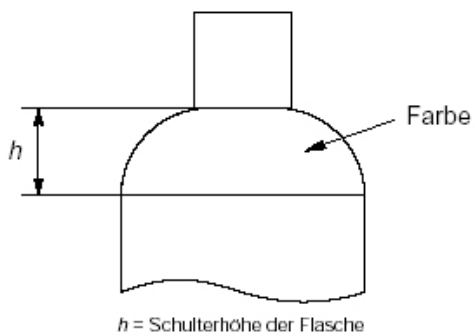
7. Herstellerhinweis

- Flasche nicht vollständig entleeren

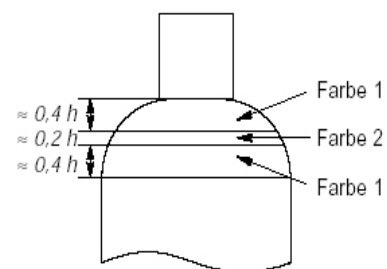
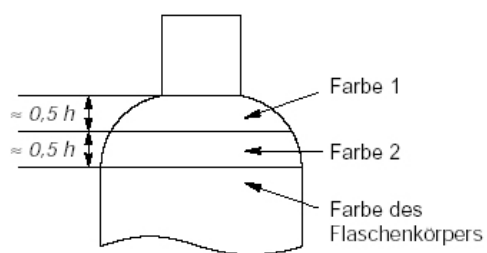
8. Name, Anschrift und Telefonnummer des Herstellers

Farbcodierung - EN 1089-3

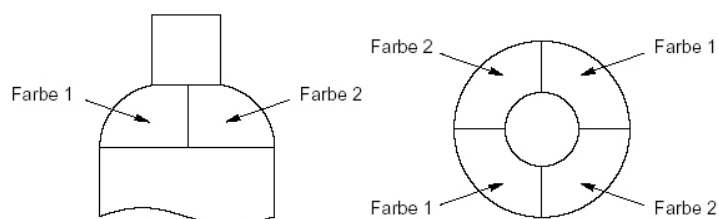
- Farbe des Flaschenrumpfes nicht vorgeschrieben.
- Im Bereich der Flaschenschulter muss das in der Flasche enthaltene Gasgemisch durch die verwendete(n) Farbe(n) gekennzeichnet werden.
- „N“ auf der Flaschenschulter weist auf Verwendung der EN 1089-3 hin.



mit einem Farbring



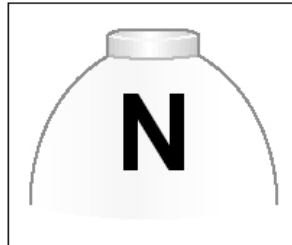
mit zwei Farbringen



mit Farbsegmenten

Österreich > 21 % O₂-Anteil, wie Sauerstoff zu behandeln

- Flaschenschulter weiß
- „N“ auf Flaschenschulter

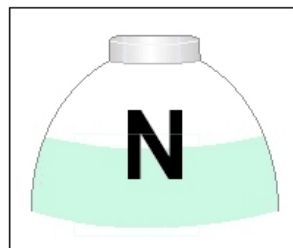


Sauerstoff

oder für über 23 % Sauerstoff

- blauer Streifen auf der Flaschenschulter
- „N“ auf Flaschenschulter

Druckluft



Für Sauerstoffkonzentrationen
< 20%

5.2.2. Flaschenventile

Auch die Flaschenventile unterliegen einer Norm (ÖNORM EN 13949). Bisher wurden bereits verschiedene Ventilarten benutzt. Hauptzweck ist es, unter keinen Umständen eine Verwechslung einer Pressluft- und Nitroxflasche zu ermöglichen.

Es gibt Außengewinde

- Industrienorm für Sauerstoff G 3/4“
- Aircon, Dräger
- bleibt für reinen Sauerstoff
-



und die im Tauchsport bisher verwendeten **M 24 x 2**

- Dräger, Scubapro
- Produktion eingestellt
- kann aber weiter verwendet werden



Mit der neuen Norm wurde auch auf ein neues Ventil umgestellt. Die neue Anschlussnorm ist wie bei den Presslufttauchgeräten ein Innengewinde. Der Vorteil an dieser Gewindeform ist die geringere Beschädigungsgefahr gegenüber der Außengewinde.

Innengewinde M26 x 2 ISO

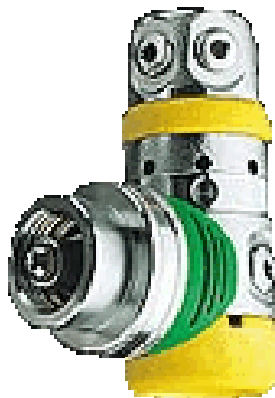
Die Dichtsitze, O-Ringe und Schmiermittel sind sauerstoffverträglich und gilt ab 2008 für alle neuen Ventile, die in Umlauf gebracht werden.



5.2.3. Atemregler

Die Atemregler müssen für den Betrieb mit Nitroxgasgemischen bzw für die Verwendung von Sauerstoff geeignet sein. Die Hersteller haben dafür schon seit einigen Jahren eigene Modelle in ihrem Programm. Da diese Regler mit eigenen Anschlussgewinden ausgestattet sind ist eine Verwechslung bei der Montage auf Presslufttauchgeräten, und somit eine evtl Verschmutzung nicht möglich. Die genauen Anforderungen an die Materialien und die Sauberkeit wurden bereits unter Kapitel 5.1. erwähnt.

Besonders ist auf die Tauglichkeit des Finimeters zu achten. Eigene Modelle sind hier ebenfalls bereits auf dem Markt.



„altes“ M 24 x 2 Anschlussgewinde



neues M 26 x 2 ISO Anschlussgewinde

5.2.4. Tariermittel

Hier geht es um die Verwendung von Nitroxgemischen im Mitteldruckbereich. Nitrox-Zulassung bis 40 % Sauerstoffanteil sind herstellerabhängig. Einige Hersteller geben Ihre Tariermittel für den Gebrauch frei. Diese Angaben sind strikt zu befolgen.

- Scubapro
- Cressi
- Mares

5.2.5. Trockentauchanzüge

Hier ist wie bei den Tauchermitteln die Anweisung des Herstellers ausschlaggebend. Wichtige Punkte die zu beachten sind:

- keine Wärmebeutel oder -kissen mit oxydierenden Materialien
- keine batteriebetriebenen Heizsysteme
- Risiko durch Unterzieher, wegen elektrostatischer Funkenbildung

5.2.6. Tauchcomputer

Bei der Verwendung von Nitroxtauglichen Tauchcomputern muss darauf geachtet werden, den richtigen Sauerstoffwert (immer abrunden) einzustellen. Zu Bedenken ist das ein möglicher Gewinn an Sicherheit durch die Verwendung eines Nitroxcomputers wieder verloren geht. Die Informationen bezüglich ZNS-Belastung sind besonders zu beachten.

Tauchcomputer – 50 % Sauerstoff

- A.P. Valves: Nexus
- Beuchat: CX 2000
- Cressi: Archimede
- Dive Rite: Bridge
- Mares: M1, Nemo
- Suunto: Cobra

Tauchcomputer – 100 % Sauerstoff

- Cochran: Nemesis
- Suunto: Vitec, Vyper
- Uwatec: Aladin-Air Z, Aladin-Prime, Smart, Smart Pro, Smart-Tec

5.2.7. Pflege und Wartung der Tauchausrüstung

Gerade durch die besonderen Anforderungen beim Umgang mit Sauerstoff und Nitrox ist der sorgfältige Umgang mit der Tauchausrüstung äußerst wichtig. Die wichtigsten Regeln sind:

- Niemals Silikonspray, -öl, - fett verwenden!
- Füllen nur in Geschäften mit entsprechender Füllanlage!
- Jährliche Revision!

6. Gaslogistik

6.1. Nitrox-Herstellung

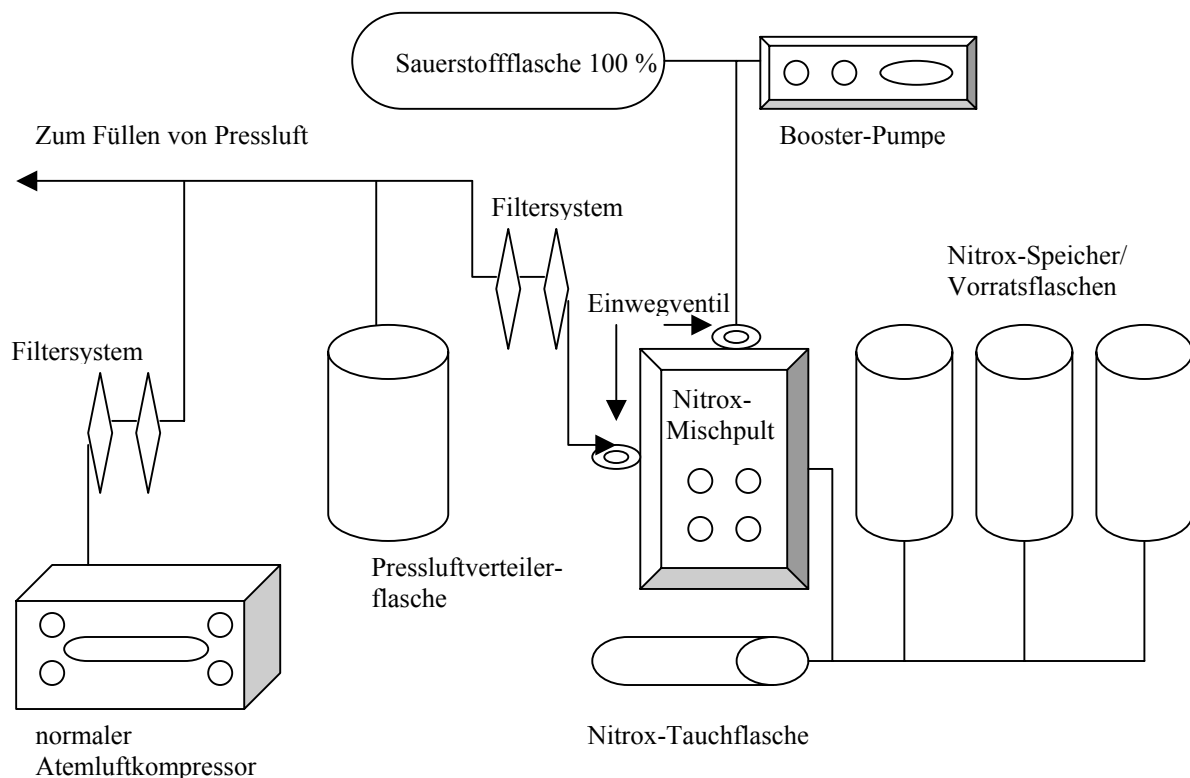
Es gibt mehrere Arten, Nitrox herzustellen. Die zur Zeit dieser Auflage verfügbaren Methoden sind folgende:

- Mischen nach Partialdruck
- Mischen nach Gewicht
- Kontinuierliches Mischen
- Mischen durch Mitteldruck
- Mischen durch Lufttrennung/Membranverfahren

6.1.1. Mischen nach Partialdruck

Die Partialdruckmethode wird gerne von neuen Nitroxfüllstationen angewandt, die bereits einen Kompressor besitzen, da hierbei die Anschaffungskosten am geringsten sind. Wenn das Gas in der Nitroxflasche selbst gemischt wird, ist strengstens auf den sauberen Zustand der Tauchflasche zu achten. Bei einem einfachen System wie diesem kann nicht der gesamte zur Verfügung stehende Sauerstoff genutzt werden. Normalerweise bleiben die letzten 30 bar unbenutzt. Dies lässt sich durch kaskadenartige oder dekantierende Techniken verbessern oder wenn zwei oder mehr Sauerstoffflaschen verwendet werden.

Bei der Partialdruckmethode hängt die Genauigkeit der Endmischung von dem verwendeten Manometer ab, das den Anteil jedes zugefügten Teilgases misst. Besonders wichtig ist hierbei der exakte Anteil des Sauerstoffes. Deshalb sollte man ein großes, geeichtes Manometer, oder besser noch, ein digitales Messgerät verwenden.



6.1.2. Mischen nach Gewicht

Beim Mischen nach Gewicht wird eine ähnliche Vorrichtung, wie eben bei der Partialdruckmethode, verwendet. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass die zu füllende Gasmenge nach Gewicht, und nicht nach Druck gemessen wird. Mit der richtigen Ausrüstung ist diese Methode sehr genau. In der Praxis wird sie allerdings nur selten angewandt.

6.1.3. Vereinfachte kontinuierliche Mischung

Diese Methode darf nur mit einem ölfrei arbeitenden Kompressor angewandt werden. Der Ausstoß wird mit einem Sauerstoffanalysegerät gemessen. Der prozentuale Sauerstoffanteil lässt sich regeln, indem man den Strom reinen Sauerstoffes zum Kompressor verändert. Mit Hilfe eines Computers lässt sich der Mischvorgang automatisieren.

6.1.4. Mischen durch Mitteldruck

Auch das Mischen nach Volumen ist theoretisch möglich. Beide Gase werden in einem großen Behälter bei sehr niedrigem Druck gemischt und dann auf Hochdruck gebracht. Für Sporttaucher ist diese Methode jedoch nicht geeignet und wird daher nicht angewendet.

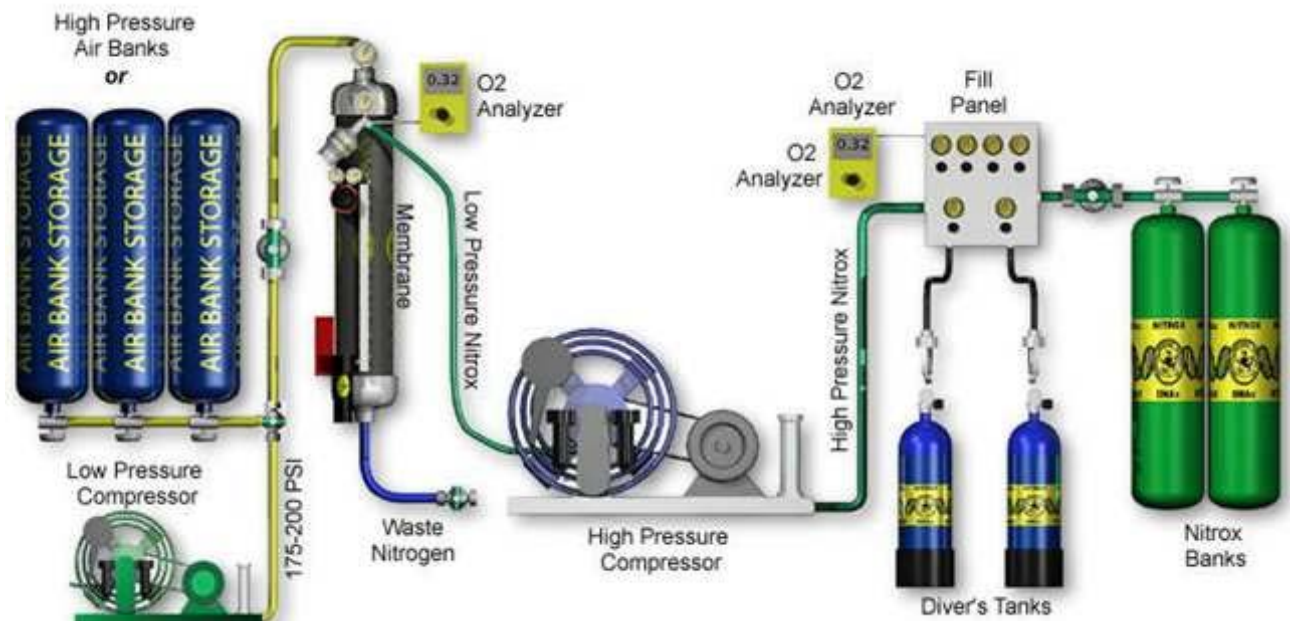
6.1.5. Lufttrennung-/Membranverfahren

Dies ist die neueste Technologie, wobei ein Teil des Stickstoffes aus der Luft entfernt wird und somit Nitrox entsteht. Auf diese Art werden normalerweise maximal 40 % Nitrox produziert. Der Hauptvorteil liegt darin, dass man keinen reinen Sauerstoff benötigt, was eine ideale Methode für die Gebiete darstellt, in denen reiner Sauerstoff nur schwer erhältlich ist.

Durch Druckabsorption mit Hilfe von Molekularsieben oder eine spezielle Membrane wird Stickstoff beseitigt. In beiden Fällen steht die produzierte angereicherte Luft anfangs unter niedrigem Druck und muss dann auf den Enddruck erhöht werden. Um dies zu erreichen, benutzt das System einen ölgeschmierten Kompressor mit sauerstoffkompatiblem Öl.



Kompressor beim Lufttrennung-/Membranverfahren



**Der Sauerstoffgehalt einer Flasche muss nach dem Füllen
immer überprüft werden.**

6.2. Die Gasanalyse

Nach dem Befüllen einer Flasche mit Nitrox und vor einem Tauchgang muss das Gasgemisch analysiert werden. Die Prüfergebnisse müssen protokolliert werden. Zum Bestimmen der einzelnen Gasanteile gibt es mehrere Möglichkeiten. Für den Tauchsport hat sich im Wesentlichen eine Methode (Galvanische Zelle) durchgesetzt.

6.2.1. Verfahren

- Prüfröhrchen
- Massenspektroskopie
- Gaschromatografie
- Wärmeleitverhalten der Gase
- Sauerstoff-Paramagnetismus
- Galvanische Zelle/elektrochemisches Element/micro fuel cell
(üblicherweise im Tauchsport verwendete Methode)

Elektrochemisches Verfahren (*Galvanische Zelle*)

Das Gerät besteht aus einer Stromquelle und einem Sensor, in dem chemische in elektrische Energie umgewandelt wird.

Die Messung funktioniert sowohl unter Druck als auch bei expandiertem Gas.

Ein Sauerstoffsensor funktioniert wie eine Batterie. Die Potentialdifferenz (Elektronenfluss) zwischen Anode (Plus-Pol) und Kathode (Minus-Pol) ist proportional zur Sauerstoffmenge, die durch eine semipermeable (halbdurchlässige) Teflonmembran dringt. An der Anode kommt es zur Oxidation, an der Kathode zur Ionisation. Je höher der Sauerstoffanteil ist, der durch die Membran diffundiert, desto größer ist der erzeugte Strom, der über einen Widerstand in ein Spannungssignal umgewandelt wird.

Die Bleianode und die mit Gold überzogene Kathode befinden sich in einer kaliumhaltigen Pottaschemischung. Die semipermeable Teflon-Membran ermöglicht das Durchdringen des Gases, verhindert aber den Austritt der Elektrolytmischung. Ein zusätzliches Thermoelement kompensiert Temperaturschwankungen.

Ionisation

Abtrennung oder Anlagerung von Elektronen aus/an einem neutralen Atom beziehungsweise Molekül. Bei Abtrennung eines Elektrons ist das Ion positiv, bei Anlagerung negativ geladen.

Messgerät

Der vom Sensor gelieferte Strom wird elektronisch umgesetzt und meist digital angezeigt. Die Messgenauigkeit liegt bei $\pm 1\%$.



6.2.2. Vorgangsweise

- Einschalten und Sauerstoffsensor mindestens eine Minute in die Luft halten.
- Kalibrieren des Analysegerätes.
- Anschluss des Analysegerätes an die Flasche.
- Flaschenventil langsam öffnen und leichten Durchfluss über den Sensor erzeugen (cirka 2 l / min).
- Warten bis sich die Anzeige stabilisiert hat (~ 1 min).
- Wert ablesen.
- Festhalten des O₂-Anteils auf der Flasche.
- Messergebnis schriftlich dokumentieren.
- Flaschenventil abkleben.
- Analysegeräte reinigen und versorgen.
- Tauchcomputer für O₂-Anteil konfigurieren.

6.2.3. Sicherheitshinweise

- Vor jeder Prüfung muss das Analysegerät kalibriert werden.
- Am Ort der Prüfung muss auf ausreichende Belüftung geachtet werden.
- Nach dem Füllvorgang sollte mindestens eine Stunde gewartet werden um mit der Analyse zu beginnen.
- Beim Übernehmen der Flasche ist ein Übernahmeprotokoll (siehe Anhang) zu erstellen.
- Die Abweichung darf maximal $\pm 1\%$ vom errechneten Wert ergeben.

6.2.4. Kalibrierung

Eine Kalibrierung des Messgerätes ist unbedingt notwendig da der Sensors eine beschränkte Lebensdauer hat. Das Messergebnis ist abhängig vom Luftdruck, der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur.

Das Gerät wird eingestellt auf 20,9 % bei Luft und 99,9% bei Sauerstoff.

Eine endgültige Gemischanalyse muss von jedem Taucher vor dem Gebrauch des Nitrox–Gemisches selbst durchgeführt werden.

7. Tauchtechnik

7.1. Tauchgangsplanung

Die Planung und Durchführung eines Nitrox-Tauchganges unterscheidet sich nur geringfügig von einem „normalen“ Presslufttauchgang. In diesem Kapitel werden daher nur die zusätzlichen Aspekte beleuchtet. Im Wesentlichen können wir diese zeitlich in 3 Bereiche unterteilen.

- Vor dem Tauchgang
- Während des Tauchganges
- Nach dem Tauchgang

7.1.1. Vor dem Tauchgang

Tauche ich mit einem Partner, der nicht mit Nitrox taucht bzw, keine Nitroxtauch-Ausbildung hat, so muss ich meinen Tauchpartner über die wichtigsten Punkte des Nitroxtauchens aufmerksam machen. Diese sind unbestritten die **Einhaltung der MOD**. Je nach Können und Ausbildungsstandes meines Tauchpartners werde ich bei der Planung meines Tauchganges hinsichtlich der Tiefe genügend Sicherheitsreserven einbauen (Planung des TG nicht an die MOD, sondern 3 – 5 m oberhalb).

Entspricht der interessierte Tiefenbereich des Tauchplatzes meinem zur Verfügung stehenden Nitrox–Gemisch und sind zusätzliche Faktoren zur Verminderung des max. zulässigen Sauerstoffpartialdrucks (Strömung, Kälte, Dunkelheit,...) nicht vorhanden so kann der Tauchgang entsprechend den bekannten Empfehlung des TSVÖ aufgebaut werden.

Die Sicherheitsbestimmungen sowie das Notfallmanagement bleiben gleich dem Tauchen mit Pressluft. Die Ausrüstung muss den Normen und Vorschriften für das Tauchen mit Nitrox entsprechen.

Bei der Planung des Tauchganges muss die maximale Tiefe (MOD), dem verwendeten Gasmisch angepasst werde. Vor dem Tauchgang muss das **Nitrox–Gasmisch analysiert** werden und am Flaschenetikett sowie im **Nitrox–Kontrollblatt** (siehe Anhang) eingetragen werden. Die MOD sowie die zu erwartende **ZNS–Belastung** ist zu **errechnen** und gemeinsam mit dem Flaschendruck auf das Nitrox–Kontrollblatt zu übertragen. Die MOD und der Flaschendruck sind ebenfalls gemeinsam mit **Datum und Unterschrift** am Flaschenetikett einzutragen.

Berechnungen zur Bestimmung der Dekompressionsvorschrift sind gemeinsam mit dem Tauchpartner/der Tauchgruppe anzustellen.

- Die MOD wird durch das höchste - fetteste (Sauerstoffanteil) Nitroxgasmisch vorgegeben
- Die Dekompression wird durch das niedrigste – magerste Nitroxgasmisch angegeben.

7.1.2. Während des Tauchganges

Die maximale Tauchtiefe (MOD) darf während des Tauchganges niemals überschritten werden. Das geplante Tauchprofil ist unbedingt einzuhalten. Eine Selbst- und Partnerkontrolle auf Anzeichen einer O₂-Vergiftung ist regelmäßig durchzuführen. Bei geringsten Anzeichen muss sofort in eine geringer Tiefe aufgetaucht bzw. der Tauchgang beendet werden.

TSVÖ–Limits Nitrox Tauchen

maximaler pO₂ 1,4 bar
maximale ZNS Belastung 80 %

7.1.3. Nach dem Tauchgang

Der absolvierte Tauchgang wird auf dem Nitrox–Kontrollblatt eingetragen. Die ZNS–Belastung wird nachgerechnet und eingetragen. Der Tauchgang sollte mit allen Angaben im Logbuch eingetragen werden.

Der Restdruck der Tauchflasche wird am Flaschenetikett eingetragen und das Flaschenventil abgeklebt.

7.2. Checkliste und Nitrox–Kontrollblatt

7.2.1 Checkliste

Um bei einem Nitrox Tauchgang nichts zu vergessen kann die folgende Checkliste als Hilfsmittel verwendet werden.

Checkliste

Vor dem Tauchgang

- Nitrox Gemisch analysieren
- Gemisch auf Etikett eintragen
- Nitrox–Computer einstellen
- Max. Sauerstoffpartialdruck pO_2 max. festlegen
- Maximale Tauchtiefe (MOD) bestimmen
- Äquivalente Lufttiefe (EAD) bestimmen
- Tauchgangablauf planen
- ZNS–Belastung errechnen
- Daten im Kontrollblatt eintragen

Nach dem Tauchgang

- Tauchzeit und max. Tiefe notieren
- Effektive ZNS–Belastung errechnen (ablesen vom Computer)
- Restdruck des Atemgases auf Etikett notieren
- Flaschenventil abkleben
- Daten im Kontrollblatt und im Logbuch notieren

7.2.2. Nitrox–Kontrollblatt

Das Nitrox–Kontrollblatt dient zur Planung und Kontrolle von Nitrox–Tauchgängen. Es ist ein Hilfsmittel bei der Ermittlung nitroxspezifischer Daten.

Während der Durchführung von Nitrox–Ausbildungskursen ist das Ausfüllen eines Kontrollblattes pro Tauchgruppe Pflicht.

Ein sauberes und lückenloses Ausfüllen des Kontrollblattes verhindert Risikosituationen, hervorgerufen durch Flüchtigkeitsfehler oder mangelhafte Planung.

NITROX Tauchgang Kontrollblatt

Datum	
Uhrzeit	
Ort	
Tauchplatz	
TG Nummer	
Tauchpartner	

Bei Wiederholungstauchgang

Wiederholungsgruppe vor dem TG	
ZNS O ₂ % Dosis vor dem TG	

Atemgas

Gasgemisch [%O ₂]	
Gasvorrat	
Max. Sauerstoffpartialdruck [bar]	
Max. Tauchtiefe (MOD)	

Tauchgang	geplant	effektiv
Max. Tauchtiefe		
Äquivalente Tauchtiefe (EAD)		
Tauchzeit (Grundzeit)		
Zeitzuschlag (wenn Wiederholungs-TG)		
Dekoplan		
ZNS O ₂ % Zunahme		
ZNS O ₂ % am Ende des TG		
Gasverbrauch		
Unterschrift		

8. Anhang

8.1. ZNS O₂ % Tabelle (NOAA-Tabelle)

pO ₂ [bar]	ZNS O ₂ % [%/min]	max. Tauchzeit [min.]	pO ₂ [bar]	ZNS O ₂ % [%/min]	max. Tauchzeit [min.]
0,50	0		1,22	0,48	208
0,60	0,14	714	1,24	0,51	196
0,64	0,15	667	1,26	0,52	192
0,66	0,16	625	1,28	0,54	185
0,68	0,17	588	1,3	0,56	179
0,70	0,18	556	1,32	0,57	175
0,74	0,19	526	1,34	0,6	167
0,76	0,2	500	1,36	0,62	161
0,78	0,21	476	1,38	0,63	159
0,80	0,22	455	1,4	0,65	154
0,82	0,23	435	1,42	0,68	147
0,84	0,24	417	1,44	0,71	141
0,86	0,25	400	1,46	0,74	135
0,88	0,26	385	1,48	0,78	128
0,90	0,28	357	1,5	0,83	120
0,92	0,29	345	1,52	0,93	108
0,94	0,3	333	1,54	1,04	96
0,96	0,31	323	1,56	1,19	84
0,98	0,32	313	1,58	1,47	68
1,00	0,33	303	1,6	2,22	45
1,02	0,35	286	1,62	5	20
1,04	0,36	278	1,65	6,25	16
1,06	0,38	263	1,67	7,69	13
1,08	0,4	250	1,7	10	10
1,10	0,42	238	1,72	12,5	8
1,12	0,43	233	1,74	20	5
1,14	0,43	233	1,77	25	4
1,16	0,44	227	1,79	31,25	3
1,18	0,46	217	1,8	50	2
1,20	0,47	213	1,82	100	1

Multiplikatoren für die Reduktion der ZNS-O₂-Dosis:

Intervallzeit	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	4:00	5:00	6:00	9:00
Multiplikator für ZNS O ₂ %	0,80	0,63	0,50	0,40	0,31	0,25	0,16	0,10	0,06	0,00

8.2. OTU Tabelle

(Replex oxygen exposure limits)

pO ₂ [bar]	OTU [OTU/min]	Ungefähre max. Tauchzeit/Tag für totale Anzahl d. Tauchtage						
		1 Tag (850 OTU/d)	2 Tag (700 OTU/d)	3 Tag (620 OTU/d)	4 Tag (525 OTU/d)	5 Tag (460 OTU/d)	6 Tag (420 OTU/d)	7 Tag (380 OTU/d)
0,50	0,00	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
0,60	0,27	24	24	24	24	24	24	23 ½
0,70	0,47	24	24	22	18 ½	16 ¼	15	13 ½
0,80	0,66	21 ½	17 ¾	15 ¾	13 ¼	11 ½	10 ½	9 ½
0,90	0,84	16 ¾	14	12 ¼	10 ½	9 ¼	8 ¼	7 ½
1,00	1,00	14 ¼	11 ¾	10 ¼	8 ¾	7 ¾	7	6 ¼
1,10	1,17	12	10	8 ¾	7 ½	6 ½	6	5 ½
1,20	1,33	10 ¾	8 ¾	7 ¾	6 ½	5 ¾	5 ¼	4 ¾
1,30	1,48	9 ½	8	7	6	5 ¼	4 ¾	4 ¼
1,40	1,63	8 ¾	7 ¼	6 ¼	5 ¼	4 ¾	4 ¼	4
1,50	1,78	8	6 ½	5 ¾	5	4 ¼	4	3 ½
1,60	1,93	7 ¼	6	5 ¼	4 ½	4	3 ¾	3 ¼
1,70	2,01	7	5 ¾	5 ¼	4 ¼	3 ¾	3 ½	3 ¼
1,80	2,20	6 ½	5 ¼	4 ¾	4	3 ½	3 ¼	3

8.3. EAD Tabellen

Die maximale Tiefe jedes Gasmisches entspricht der MOD unter einem max. Sauerstoffpartialdruck von **1,6 bar**.

8.3.1. Höhenbereich 0 – 700 müM für pO_2^{\max} 1,6 bar

Tiefe [m] unter Verwendung des Gemisches 0 – 700 müM									EAD
EAN26	EAN28	EAN30	EAN32	EAN34	EAN36	EAN38	EAN40	EAN42	
10	10	11	12	12	13	14	15	16	9
13	14	14	15	16	17	18	19	20	12
16	17	18	19	20	20	21	23	24	15
19	20	21	22	23	23	25	27	27	18
23	24	25	26	27	28	29	29		21
26	27	28	29	30	32	31			24
29	30	31	33	34	33				27
32	33	35	36	36					30
35	37	38	39						33
39	40	41							36
42	43	42							39
45	45								42
48									45
51									48

8.3.2. Höhenbereich 700 - 2500 müM für pO_2^{\max} 1,6 bar

Tiefe [m] unter Verwendung des Gemisches 700 - 2500 müM									EAD
EAN26	EAN28	EAN30	EAN32	EAN34	EAN36	EAN38	EAN40	EAN42	
10	10	11	12	12	13	14	14	15	9
13	14	14	15	16	17	17	18	19	12
16	17	18	18	19	20	21	22	23	15
19	20	21	22	23	24	25	26	28	18
23	23	24	25	27	28	29	30		21
26	27	28	29	30	31	32			24
29	30	31	32	34	34				27
32	33	35	36	37					30
35	37	38	39						33
39	40	41	40						36
42	43	43							39
45	47								42
48									45
51									48

Die maximale Tiefe jedes Gasgemisches entspricht der MOD unter einem max. Sauerstoffpartialdruck von **1,4 bar**.

Der TSVÖ empfiehlt ausschließlich mit dieser zu berechnen!

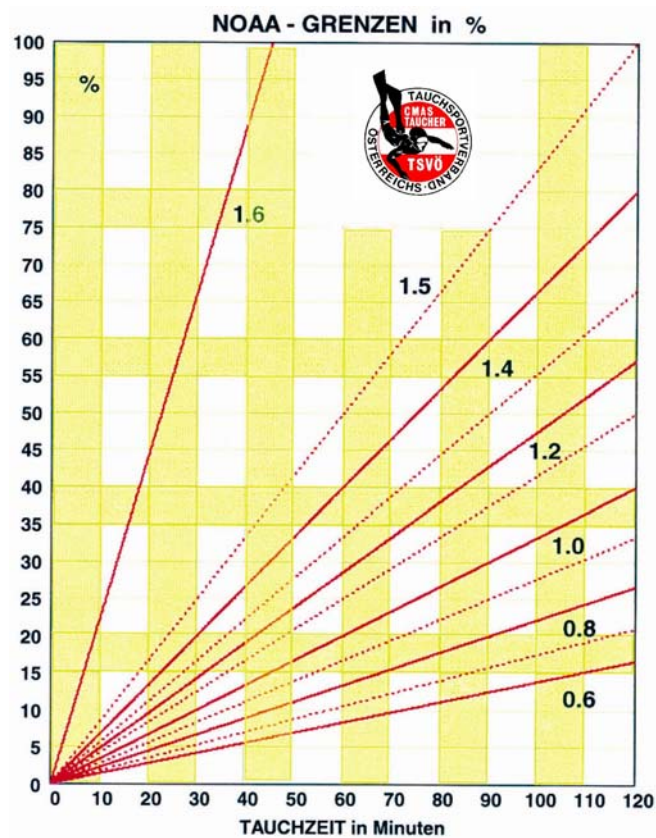
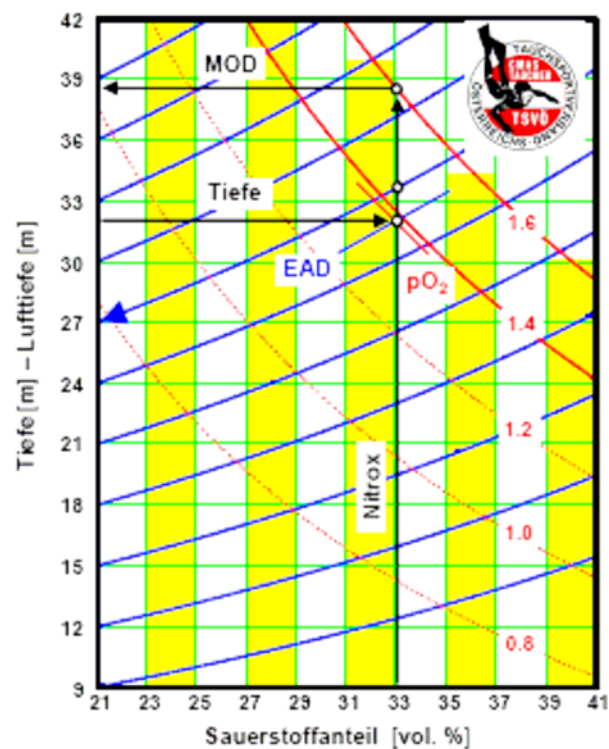
8.3.3. Höhenbereich 0 – 700 müM für pO_2^{\max} 1,4 bar

Tiefe [m] unter Verwendung des Gemisches 0 – 700 müM									EAD
EAN26	EAN28	EAN30	EAN32	EAN34	EAN36	EAN38	EAN40	EAN42	
10	10	11	12	12	13	14	15	16	9
13	14	14	15	16	17	18	19	20	12
16	17	18	19	20	20	21	23		15
19	20	21	22	23	23	25			18
23	24	25	26	27	28				21
26	27	28	29	30					24
29	30	31	33						27
32	33	35							30
35	37								33
39	40								36
42									39

8.3.4. Höhenbereich 700 - 2500 müM für pO_2^{\max} 1,4 bar

Tiefe [m] unter Verwendung des Gemisches 700 - 2500 müM									EAD
EAN26	EAN28	EAN30	EAN32	EAN34	EAN36	EAN38	EAN40	EAN42	
10	10	11	12	12	13	14	14	15	9
13	14	14	15	16	17	17	18	19	12
16	17	18	18	19	20	21	22		15
19	20	21	22	23	24	25			18
23	23	24	25	27	28				21
26	27	28	29	30					24
29	30	31	32						27
32	33	35							30
35	37								33
39	40								36
42									39

8.4. Hilfsmittel zur Berechnung nach Zauchner



9. Quellenverzeichnis

- TDI Nitrox Diving
2.Ausgabe, 1996
- Handbuch Technisches Tauchen, 2004
- Mit Nitrox Tauchen aber sicher!
Lehrbuch des SUSV 3.Auflage, 1998
- Nitrox Tauchen Foliensatz
KAT/TSVÖ 1997
- Nitroxplaner
von Helmuth Zauchner