

SCUBAPRO EDUCATIONAL ASSOCIATION



NITROX TECHNIKER UND GAS MISCHER

ARBEITSBUCH



Inhaltsverzeichnis

Abbildungverzeichnis	3
Einleitung	4
Definition von EAN/Nitrox	4
Bedarf der EAN/Nitroxtaucher	6
Standardmischungen	6
Spezialmischungen	6
Teilgase des EAN/Nitrox	7
Sauerstoff	7
Luft / Stickstoff	7
Gefahren beim Umgang mit Sauerstoff	8
Das Feuerdreieck	8
Sauerstoffverträglichkeit	11
Sauerstoffverträglichkeit	11
Sauerstoffkompatibel	11
Sauerstoffrein	11
Füllmethoden	12
Einleitung	12
Mischen nach Partialdruck	12
Mischen nach Gewicht	13
Kontinuierliches Mischen	13
Mischen durch Mitteldruck	14
Lufttrennung	14
Bauart und Konstruktion der Füllstation	14
Verwendung von Speicherflaschen	15
Umfüllpumpen	16
Vorbereitung der Tauchausrüstung	16
Allgemein	16
Reinigungsverfahren	16
Flaschen	17
Ventile	18
Wasserdichte Manometer	18
Mitteldruckteile	18
Gasanalyse und Aufzeichnung der Meßwerte	19
Analyse des Sauerstoffanteils	19
Gebrauch von EAN/Nitrox Füllprotokollen)	21
Überwachen der Luftqualität	23
Berechnungen zur Gasmischung	23
Einleitung	23
Mischen durch Partialdruck	23
Mischen von gespeichertem EAN/Nitrox und Luft	24
Mischen von Luft und Sauerstoff - ein komplexer Vorgang	24
Mischtabellen für Standardmischungen	26
Kontinuierliches Mischen / Berechnungen zur Lufttrennung	26



Abbildungverzeichnis

<i>Abb. 1 Gase in der Luft</i>	5
<i>Abb. 2 Häufig angewendete EAN/Nitroxmischungen</i>	5
<i>Abb. 3 Beste Mischung für verschiedenen Tiefen</i>	6
<i>Abb. 4. Sauerstoff kompatible Luft</i>	8
<i>Abb. 5 Das Feuerdreieck</i>	9
<i>Abb 6 Vereinfachte System für Mischen nach Partialdruck</i>	13
<i>Abb 7: Vereinfachte kontinuierliche Mischung</i>	14
<i>Abb 8. Maximal Tauchtiefen für EAN/Nitrox</i>	20
<i>Abb. 9. Partialdruck Mischtablette für 32% EAN/Nitrox 220 bar</i>	26
<i>Abb 10 Kontinuierliche Mischung Tabelle (36% EAN/Nitrox 220 bar)</i>	28

Dieses Buch wurde von Mark Caney für SCUBAPRO EDUCATIONAL ASSOCIATION,
Mumpferfährstraße 13, 79713 Bad Säckingen im Herbst 1995 verfaßt.

Stand Juli 1997

Überarbeitet von: David Jackson, Scubapro Educational Association.
Karl Hering, Bauer Kompressoren GmbH.

Korrektur Dicksy Maluschka, Scubapro GmbH Deutschland.

SCUBAPRO Taucherausrüstungen GmbH
Mumpferfährstrasse 13
D-79713 Bad Säckingen

Tel.: 07761 9210-0
Fax.: 07761 0210-30

Achtung:

Dieses Buch ist Begleitmaterial für den SEA EAN/Nitrox Techniker und Gasmischerlehrgang. Es ist kein Lehrbuch für das Tauchen mit EAN/Nitrox.



Einleitung

Obwohl Preßluft eigentlich nicht das optimale Luftgemisch zum Tauchen darstellt, wird es von Sporttauchern bereits seit über 50 Jahren verwendet. Andere Atemgemische oder Luftgemische mit veränderten Anteilen an den enthaltenen Gasen waren Berufs- und Militäertauchern vorbehalten. Erst vor kurzem haben nun auch Sporttaucher damit begonnen, Luft zu verwenden, die mit Sauerstoff angereichert ist. Damit läßt sich die Sicherheit unter Wasser erhöhen und die Tauch- oder Grundzeit verlängern.

Da man bei der Herstellung von Preßluft ohnehin mit Hochdruck arbeitet, sind die Betreiber von Kompressoren schon mit den entsprechenden Vorgehensweisen vertraut. Allerdings muß der Betreiber bei der Herstellung von EAN/Nitrox in der Regel reinen Sauerstoff, d.h. 100%igen Sauerstoff handhaben. Dieser reagiert im Vergleich zu Luft sehr unterschiedlich mit bestimmten Materialien, und erfordert daher besondere Vorsichtsmaßnahmen. Der Hersteller von EAN/Nitrox (Betreiber der Füllstation) muß sich daher der Gefahren im Umgang mit erhöhten Sauerstoffanteilen bewußt sein, und strengste Sicherheitsmaßnahmen bei der Herstellung von angereicherter Luft befolgen.

Auch Techniker und Verkaufspersonal müssen mit den spezifischen Verfahren und mit der Handhabung von Nitroxgeräten vertraut sein. Dieses Arbeitsbuch soll dabei unterstützen, folgende Lernziele zu erreichen:

1. Die Begriffe „Nitrox“ und EAN definieren, und den Unterschied zur Luft zu beschreiben.
2. Warum atmen Taucher EAN/Nitrox?
3. Das Feuerdreieck zu beschreiben.
4. Die Begriffe Sauerstoffverträglich, Sauerstoffrein und Sauerstoffkompatibel definieren.
5. Unfallverhütungsmaßnahmen bezüglich dem Umgang mit Sauerstoff aufzulisten.
6. Fünf verschiedene Füllmethoden auflisten und beschreiben.
7. Den Umgang mit EAN/Nitrox Tauchausrüstung zu beschreiben, bezüglich Handlung, Reparatur, Wartung, Reinigung und Service.
8. Wie wird der Sauerstoffgehalt einer EAN/Nitrox Flasche festgestellt und niedergelegt, (Umgang mit Analysengeräten und Füllprotokoll).
9. Die Berechnungen zur Gasmischung.

Achtung:

Siehe hierzu auch Unfallverhütungsvorschriften VBG 62 Sauerstoff, EG Sicherheitsdatenblatt nach TRG's 220 Sauerstoff, VBG 16 Verdichter sowie die Verordnung über Druckbehälter, Druckluftbehälter und Füllanlagen (Druckluftbehälterverordnung) gültig für die Bundesrepublik Deutschland.

Definition von EAN/Nitrox

Als Nitrox bezeichnet man jegliche Mischung aus Sauerstoff (O₂) und Stickstoff (N₂). Daher ist auch Luft ein Nitroxgemisch, das zu 20.95% aus Sauerstoff, zu 78.05% aus Stickstoff und zu 1% aus Edelgasen, vorwiegend Argon, besteht. Da Edelgase und Stickstoff nicht am menschlichen Stoffwechsel beteiligt sind, werden sie normalerweise zu einer Gruppe zusammengefaßt. Somit läßt sich hinsichtlich praktischer Tauchzwecke vereinfacht sagen, daß Luft aus 21% O₂ und 79% N₂ besteht.

Für den Taucher gibt es praktisch keinen Anlaß, ein Nitroxgemisch mit einem Sauerstoffanteil unter 21% zu verwenden, da dies die Wahrscheinlichkeit der Stickstoffnarkose und deren Eintreten noch erhöhen bzw beschleunigen würde. Wenn wir also von Nitrox sprechen, meinen



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

wir normalerweise Nitroxgemische mit einem Sauerstoffanteil von über 21%. Ein besserer Ausdruck zur Beschreibung solcher Gemische ist der Begriff „angereicherte Luft“ (EAN = Enriched Air Nitrox). Damit bezeichnen wir jegliches EAN/Nitroxgemisch mit einem Sauerstoffanteil zwischen 22% und 99%. In diesem Handbuch werden EAN/Nitroxgemische nach ihrem jeweiligen Sauerstoffgehalt definiert, so besteht z.B. 40% EAN/Nitrox aus 40% Sauerstoff und 60% Stickstoff. Als S.E.A. EAN/Nitrox Füllstation und somit Hersteller von Mischgasen, werden sie überwiegend EAN/Nitroxgemische mit einem Sauerstoffanteil von bis zu 50% herstellen.

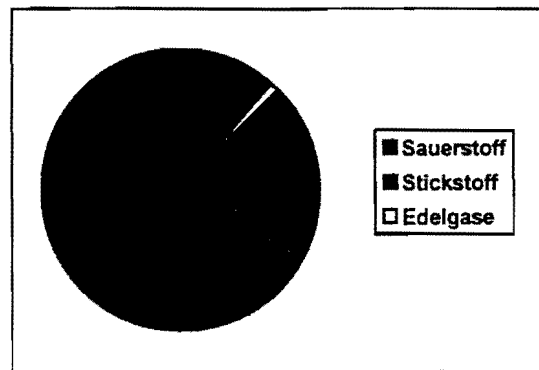


Abb. 1 Gase in der Luft

Das folgende Diagramm beschreibt typische EAN/Nitroxgemische mit ihrem Anteil an Sauerstoff und Stickstoff. Mit steigendem Sauerstoffanteil nimmt die zulässige maximale Tauchtiefe ab.

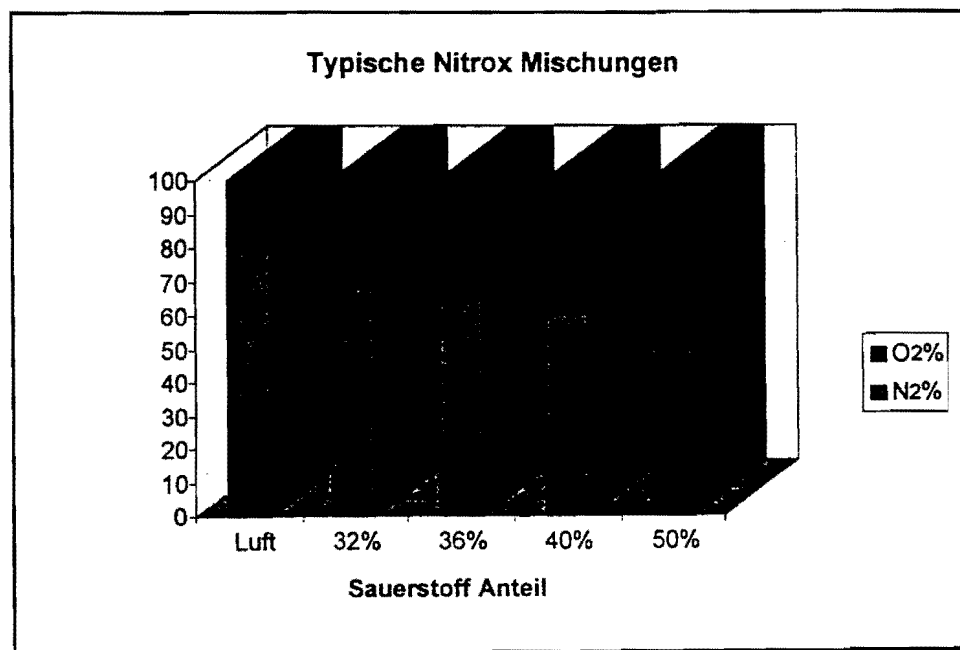


Abb. 2 Häufig verwendete EAN/Nitroxmischungen



Bedarf der EAN/Nitroxtaucher

Standardmischungen

Sporttaucher verwenden bestimmte EAN/Nitrox Gemische häufiger als andere. Der Grund hierfür liegt nicht darin, daß eine Mischung besser ist als die andere. Vielmehr existieren für bestimmte Standardmischungen bereits standardisierte Tauchtabellen. Wenn Taucher beabsichtigen, angereicherte Luft lediglich aus Sicherheitsgründen zu verwenden, und sie den Tauchgang trotzdem gemäß Luft- Tauchcomputer oder Luft-Tauchtafel durchführen, kommt es auf die exakte Nitroxmischung nicht an. Der Taucher sollte jedoch niemals die maximal zulässige Tauchtiefe einer gegebenen EAN/Nitroxmischung überschreiten.

Die beiden beliebtesten, und am weitesten verbreiteten Mischungen sind 32% EAN/Nitrox und 36% EAN/Nitrox, auch bekannt als NOAA Nitrox I bzw. NOAA Nitrox II. 50% EAN/Nitrox wird gerne in der Dekompressionsphase benutzt, denn die Stickstoffentsättigung geht so effizienter von statten und läßt sich mit entsprechenden Tabellen verkürzen. Wenn ein EAN/Nitroxgemisch mit einer bestimmten Tabelle verwendet werden soll, ist eine exakte Mischung erforderlich. Eine Tabelle kann jedoch auch mit einer höherprozentigen Mischung benutzt werden, z.B. kann man eine Tabelle für 32% EAN/Nitrox, auch für 34% EAN/Nitrox benutzen, nicht aber für 30% EAN/Nitrox.

Spezialmischungen

Für spezielle Tauchplätze lassen sich Taucher häufig nicht standardisierte EAN/Nitroxgemische mischen, um in der geplanten maximalen Tiefe den geringstmöglichen Stickstoffpartialdruck zu haben und damit die maximale Grundzeit auszuschöpfen. Dabei muß aber auch darauf geachtet werden, daß der maximal zulässige Sauerstoffpartialdruck (pO₂) von 1.6 bar nicht überschritten wird (1,6 bei normalen Tauchgängen, 1.4 bar bei anstrengenden Tauchgängen). Das Personal der Füllstation weiß in der Regel, welche Mischung für den jeweiligen Tauchplatz optimal ist. Die folgende Tiefentabelle (basierend auf einem pO₂ von 1.6 bar) kann für die Berechnung herangezogen werden.

Beste Mischung für verschiedene Tiefen			
Tiefe	Beste Mischung pO ₂ 1,6		
18	57,1%	34	36,4%
19	55,2%	35	35,6%
20	53,3%	36	34,8%
21	51,6%	37	34,0%
22	50,0%	38	33,3%
23	48,5%	39	32,7%
24	47,1%	40	32,0%
25	45,7%	41	31,4%
26	44,4%	42	30,8%
27	43,2%	43	30,2%
28	42,1%	44	29,6%
29	41,0%	45	29,1%
30	40,0%	46	28,6%
31	39,0%	47	28,1%
32	38,1%	48	27,6%
33	37,2%	49	27,1%
		50	26,7%

Abb. 3 Beste Mischung für verschiedene Tiefen.



Es empfiehlt sich, an der Füllstation eine Liste der lokalen Tauchplätze mit den jeweils besten EAN/Nitroxgemischen anzubringen

Teilgase des EAN/Nitrox

Sauerstoff

Die Atmosphäre besteht zu 20.95% aus Sauerstoff. In gasförmigem Zustand ist Sauerstoff geschmacksneutral und farblos. In flüssigem Zustand ist er hellblau. Sauerstoff selbst ist nicht brennbar, jedoch ist ohne ihn keine Verbrennung möglich. Wenn Temperatur und Druck hoch genug sind, beginnt fast alles, was reinem Sauerstoff ausgesetzt ist, zu brennen.

Sauerstoff ist in flüssigem oder gasförmigem Zustand erhältlich. Flüssigen Sauerstoff kann man zur Herstellung von EAN/Nitrox in einem kontinuierlichen Mischsystem benutzen. Man macht davon jedoch nur selten Gebrauch. Er wird normalerweise in vakuumisolierten Flaschen geliefert. Bei Erwärmung verwandelt sich flüssiger Sauerstoff in Gas und wird bei Nichtgebrauch an die Atmosphäre abgegeben. Die beste Art, flüssigen Sauerstoff zu verwenden, ist die Kombination eines kontinuierlichen Mischsystems mit einer großen Nitroxspeicherbank, denn so wird der gesamte Sauerstoff relativ schnell verbraucht. Die Flaschenventile dürfen nicht durch Vereisung blockiert werden. Gehen Sie vorsichtig mit den Behältern um, da Kälteverbrennungen möglich sind.

Gasförmiger Sauerstoff ist für Tauchzwecke die gebräuchlichste Form. Die verfügbaren Sauerstofftypen können von Land zu Land variieren. Akzeptable Typen stammen aus folgenden Bereichen:

- Medizin
- Atmungstechnik/Tauchen
- Luft- und Raumfahrt

Sauerstofftypen aus Industrie oder Technik sollten nicht benutzt werden. Man verwendet sie normalerweise zum Gasschweißen. Sie sind häufig mit Acetylen verunreinigt.

Sauerstoffflaschen sollten an einem gut gelüfteten Ort, vorzugsweise im Freien gelagert werden. Stellen Sie sicher, daß in der Nähe der Sauerstoffflaschen nicht geraucht wird und die Ventilöffnungen nicht verschmutzt werden. Bei Nichtgebrauch sollten die Ventile abgedeckt sein (siehe TRG's, UVV).

Je nach Größe der Flaschen sowie der lokalen Gegebenheiten kann man Sauerstoffflaschen auch leihen oder kaufen.

Luft / Stickstoff

Der andere Bestandteil von EAN/Nitrox ist Stickstoff. Obwohl theoretisch die Möglichkeit besteht, reinen N₂ mit reinem O₂ zu mischen, mischt man den Sauerstoff einfach halber mit normaler Luft. Dies bedeutet, daß Stickstoff einen freien Anteil an Sauerstoff im Verhältnis von 4:1 hat. Dadurch reduziert sich der benötigte Anteil an reinem Sauerstoff, allerdings werden die zur Mischung benötigten Kalkulationen etwas komplexer.

Die zur Herstellung von EAN/Nitrox verwendbare Luftqualität unterscheidet sich von der Qualität normaler Atemluft. Wegen der Feuer- oder Explosionsgefahr darf die Luft auf keinen



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

Fall Ölspuren oder Fremdkörperpartikel aufweisen. (Akzeptabel ist Atemluft gemäß DIN EN 132).

Zur Mischung der Luft mit reinem Sauerstoff oder angereicherter Luft sind folgende Mindestqualitätsansprüche erforderlich:

Substanz	Max. Inhalt
Kondensierter Kohlenwasserstoff	0.3 mg/m ³
Gasförmiger Kohlenwasserstoff	25 ppm
Fremdkörper, Staub	2 micron
CO (Kohlenmonoxid)	2 ppm
CO ₂ (Kohlendioxid)	500 ppm
Wasserdampf	- 40°C Taupunkt

Abb. 4. Sauerstoff kompatible Luft (OCA)

In diesem Handbuch wird diese zur EAN/Nitroxherstellung vorgeschriebene Luftqualität, OCA (Oxygen Compatible Air) genannt. Beachten Sie jedoch, daß die von einem normalen Tauchkompressor erzeugte Luft diesem Standard nicht immer entspricht, z. B. darf Atemluft gemäß US Definition bis zu 5 mg/m³ kondensierten Kohlenwasserstoff (Öl) enthalten. Mit Standardöl geschmierte Kompressoren sollten daher immer eine zusätzliche Filtereinrichtung aufweisen, um die Herstellung von OCA sicherzustellen. Außerdem sollte die Luft bei Verdacht auf Verunreinigungen, oder aber mindestens alle drei Monate, untersucht werden.

Die niedrigen Ölanteile, gemäß OCA, lassen sich normalerweise nicht den normalen preisgünstigen Testgeräten nachweisen. Entnehmen Sie daher am besten eine Luftprobe und schicken Sie diese an ein zuständiges Labor.

Falls Ölspuren nachgewiesen werden, muß der Kompressor sofort stillgelegt und gründlich gereinigt werden. Falls keine Mängel im gegenwärtigen Filtersystem bestehen, aber trotzdem Verunreinigungen festgestellt werden, muß die Anzahl der Filterstufen erhöht, oder die Filter häufiger ausgewechselt werden. Gefüllte Flaschen und Speicherflaschen sind ebenfalls zu leeren und erneut zu reinigen.

Gefahren beim Umgang mit Sauerstoff

Das Feuerdreieck

Das Feuerdreieck, (Abb. 5) zeigt die drei Elemente, die für das Entstehen eines Feuers entscheidend sind. Entscheidend dafür, ob es zu einer Explosion oder einem einfachen Brand/ Feuer kommt ist immer, wieviel Raum für das Feuer zur Verfügung steht. Ist der Platz ausreichend, entsteht ein Feuer. Ist der Raum sehr begrenzt, kommt es zu einer Explosion. Sauerstoff selbst ist nicht brennbar. Eine Verbrennung wird jedoch erheblich durch Sauerstoff unterstützt. Je mehr Sauerstoff vorhanden ist, desto höher wird das Risiko einer schnellen Verbrennung.



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

Ein erhöhter Sauerstoffanteil ist gegeben bei einem:

- Erhöhten prozentualen Sauerstoffanteil in einem EAN/Nitroxgemisch
- Erhöhten Sauerstoffpartialdruck

Unter günstigen Voraussetzungen ist nahezu jedes Material bei hohen Konzentrationen von Sauerstoff brennbar. Damit ein Feuer entstehen kann, sind drei Elemente nötig:

- Oxydationsmittel (z. B. Sauerstoff)
- Brennstoff
- Zündquelle

Diese drei Elemente stellen das Feuerdreieck dar. Zur Entstehung eines Feuers sind alle drei Elemente notwendig.

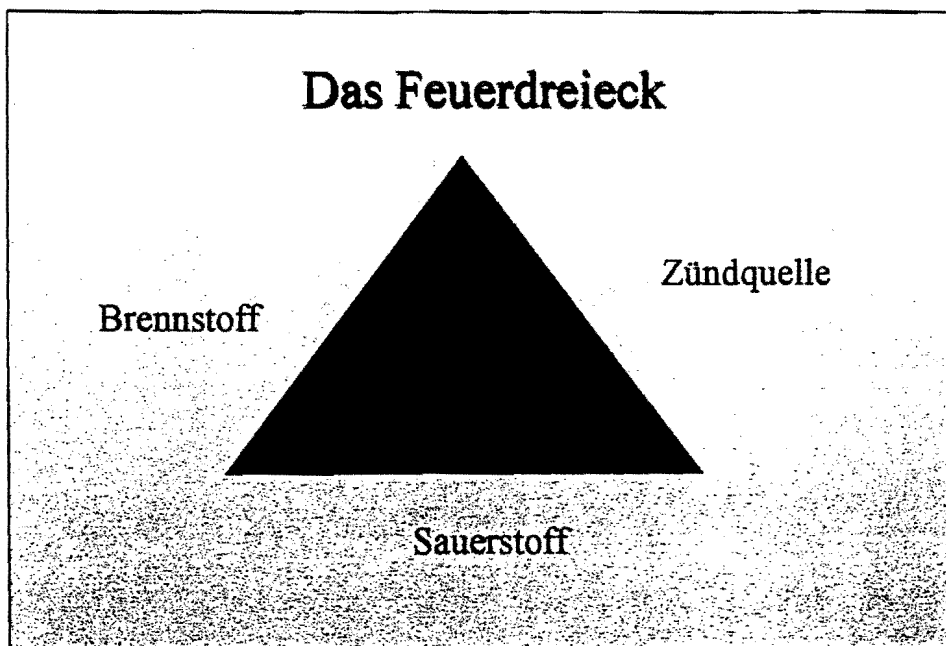


Abb. 5 Das Feuerdreieck

Um ein Feuer zu unterbinden, muß mindestens ein Element des Feuerdreiecks beseitigt werden. Sauerstoff ist in angereicherter Luft immer anwesend und lässt sich demnach nicht eliminieren. Brennstoffe können nicht vollständig beseitigt werden, da praktisch alles unter entsprechenden Bedingungen brennbar ist. Zur Erhöhung der Sicherheit müssen daher alle leicht brennbaren Bestandteile entfernt, bzw. auf ein Mindestmaß reduziert werden. Letztendlich wollen wir also erreichen, alle Zündquellen zu beseitigen.

Sauerstoff

In unserem Fall ist das Oxidationsmittel Sauerstoff. Je höher dessen Anteil, desto größer das potentielle Risiko.

Ein höherer Sauerstoffanteil ist bei zwei Gegebenheiten vorhanden:



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

- Höherer Druck an reinem Sauerstoff
- Höherer Sauerstoffpartialdruck in einer Mischung von angereicherter Luft

Die Sicherheit lässt sich durch die Reduzierung der beiden Faktoren erhöhen.

Brennstoffe

Wenn die Voraussetzungen dafür gegeben sind, können theoretisch alle Teile eines Füllsystems brennen, wobei bestimmte Materialien nur bei sehr hohen Temperaturen entzündbar sind. Ohne Brennstoffe wird das Risiko eines Feuers erheblich reduziert.

Beispiele für leicht entzündbare Brennstoffe sind:

- Fett
- Oxide wie Rostpartikel oder Aluminiumoxyd
- Öl von einem Kompressor
- Aktivkohle von einem Kompressorfilter
- Rückstände von Reinigungsmitteln
- Farbe
- Fragmente von Lappen oder Reinigungstüchern.
- Jegliche kleine Partikel oder Staub
- Metallsplitter oder Feilspäne
- Nichtpassende O-Ringe oder Dichtsitze
- Kosmetik
- Sonnencreme

Zündquellen

Während dem Füllvorgang von EAN/Nitrox gibt es mehrere mögliche Zündquellen, die durch Befolgen angemessener Vorsichtsmaßnahmen beseitigt werden können.

- Das Auftreffen von Partikeln. Wenn kleine Partikel, wie Oxydstaub, aus einem Luftstrom auf eine Fläche treffen, können sie Hitze oder Funken verursachen. Deshalb ist EAN/Nitrox tauchern anzuraten, Verunreinigungen an Flaschenventilen und den Verbindungsstücken zur 1. Stufe zu vermeiden. Passende Ventilkappen sind bei Nichtgebrauch hilfreich. Vor dem Anbringen eines Füllschlauches sollte immer etwas Gas abgelassen werden (Spülung des Systems).
- Hitze durch Kompression. Wenn in einem Raum plötzlich ein hoher Luftdruck entsteht, entsteht Hitze. Deshalb erwärmen sich Tauchflaschen während dem Füllvorgang. Daher sollten Ventile immer langsam geöffnet werden, da gewisse Bauteile sonst plötzlich einem



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

hohen Druck ausgesetzt werden und ein großes Maß an Hitze erzeugt wird. Z. B. kann eine plötzliche Druckerhöhung in einem Raum von nur 7 bar eine Temperaturerhöhung von mehr als 200 °C bewirken. Nach diesem Prinzip funktionieren beispielsweise Dieselmotoren.

- **Hitze durch Reibung.** Wenn Luft mit hoher Geschwindigkeit durch relativ kleine Öffnungen strömt, kann ebenfalls eine beträchtliche Hitze entstehen. Kugelhahnventile sind dafür besonders anfällig, denn sie erlauben eine schnelle Druckzunahme der Teile im Luftstrom. Sie sollten deshalb nie bei Füllsystemen für angereicherte Luft verwendet werden. Plötzliche Änderungen des Rohrdurchmessers oder der Strömungsrichtung sollten ebenfalls vermieden werden, um einen reibungslosen, konstanten Luftstrom zu gewährleisten.

Sauerstoffverträglichkeit

Sauerstoffverträglichkeit

Alle Bestandteile der Ausrüstung müssen bei der Verwendung von Sauerstoff oder hohen Konzentrationen an Sauerstoff sauerstoffverträglich sein. Sauerstoffverträglich heißt, daß der jeweilige Gegenstand sauerstoffkompatibel und sauerstoffrein ist.

Sauerstoffverträglich = sauerstoffrein + sauerstoffkompatibel

Das bedeutet auch, daß der jeweilige Gegenstand für den Gebrauch von Sauerstoff geeignet und dafür gebaut ist. So ist z.B. ein Nitroxanschluß das einzig anerkannte Verbindungssystem für den Gebrauch mit angereicherter Luft. Er ist damit ein wichtiger Sicherheitsfaktor dafür, daß nicht versehentlich ein herkömmlicher Lungenautomat oder Füllschlauch an eine Nitroxflasche angeschlossen werden kann. So läßt sich vermeiden, daß ein Taucher versehentlich EAN/Nitrox benutzt, weil er denkt, es handle sich um Luft, oder, daß eine EAN/Nitroxflasche mit einem nicht geeigneten Gas gefüllt wird.

Sauerstoffkompatibel

Man bezeichnet eine Substanz als sauerstoffkompatibel, wenn sie nicht brennbar ist oder nicht in der Umgebung von Sauerstoff zerfällt. Die Verträglichkeit bezieht sich auf Druck und Temperatur. Eine Substanz, die sich für den Gebrauch von Sauerstoff bei 10 bar und 30 °C eignet, ist daher nicht automatisch bei 200 bar und 100 °C geeignet. Einige Materialien, die für den Einsatz von Tauchausrüstungen bei normaler Preßluft geeignet sind, sind daher nicht für angereicherte Hochdruckluft geeignet. Dies gilt besonders für Gummiteile wie O-Ringe und Silikonfett, da diese unter hohem Sauerstoffpartialdruck leicht entzündbar sind. Diese Teile müssen durch vergleichbare Materialien ersetzt werden. Eine Alternative zu Gummi sind Fluoroelastomere, wie z.B. Urethan oder Viton. Schmiermittel, die auf Halocarbon basieren, werden weitgehend an Stelle von Silikonfett benutzt. (Scubapro Krytox Art. Nr. 41-494-103)

Sauerstoffrein

Der Begriff sauerstoffrein schließt jegliche Art von Verunreinigung aus. Es ist wichtig, die EAN/Nitroxbeständige Ausrüstung in sauerstoffreinem Zustand zu halten. Dies trifft besonders auf die Teile zu die reinem Sauerstoff ausgesetzt werden, wie z. B. das Flaschenventil. 1. Stufen und Flaschenventile sollten daher immer mit Schutzkappen versehen sein, um Verunreinigungen zu verhindern. Falls bei einem EAN/Nitroxbehälter Verdacht auf Verunreinigung besteht, muß dieser erneut gereinigt werden.

Zwei Anzeichen möglicher Probleme sind:



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

- Eine Flasche wird ohne Restdruck zum Füllen gegeben. Dies bedeutet, daß eventuell Schmutzpartikel in die Flasche gelangt sind.
- Der Sauerstoffanteil des Restgases in einer Flasche ist erheblich geringer als bei der letzten Füllung.

Achtung:

Nitroxflaschen dürfen nur von anerkannten EAN/Nitrox Füllstationen gefüllt werden, die ausschließlich sauerstoffkompatible Luft erzeugen.

Luft, die mit einem normalen Kompressor erzeugt wurde, kann Verunreinigungen enthalten, die nicht sauerstoffkompatibel sind, z.B. Ölrückstände. Die Druckluftflasche wäre dann nicht mehr sauerstoffrein.

Füllmethoden

Einleitung

Es gibt mehrere Arten, EAN/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

Mischen nach Partialdruck

Die Partialdruckmethode wird gerne von neuen EAN/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.

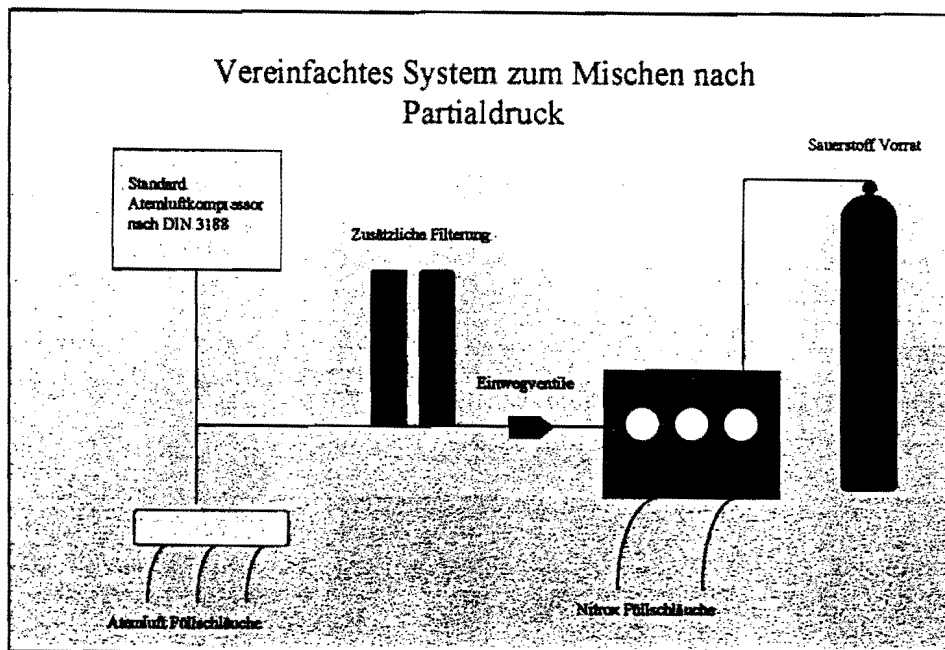


Abb 6 Vereinfachtes System für Mischen nach Partialdruck.

OCA und Sauerstoff können, wie in Abb.6 gezeigt, entweder in der Nitrox-Füllleiste gemischt werden oder jede Hälfte des Systems kann separat benutzt werden. Für diesen Fall ist an jeder Seite ein separater Füllschlauch angebracht.

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 dekantierende¹ 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.

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.

Kontinuierliches Mischen

Diese Füllmethode wurde vor allem durch die NOAA bekannt, die diese fast ausschließlich anwenden. Hierbei werden lediglich geringe Sauerstoffpartialdrücke gehandhabt, da sich EAN/Nitrox bei 1 bar sehr effektiv vermischt. Die Methode gilt als sehr sicher und erlaubt die

¹ Durch ein 2-stufiges Überströhmverfahren, d.h. durch Füllen aus 2 Vorratsflaschen nacheinander, wobei jeweils erst aus der Flasche mit geringerem Druck Gas übergeströmt wird.

vollständige Nutzung des Flascheninhaltes an Sauerstoff. Bei dieser Methode lässt sich auch flüssiger Sauerstoff verwenden.

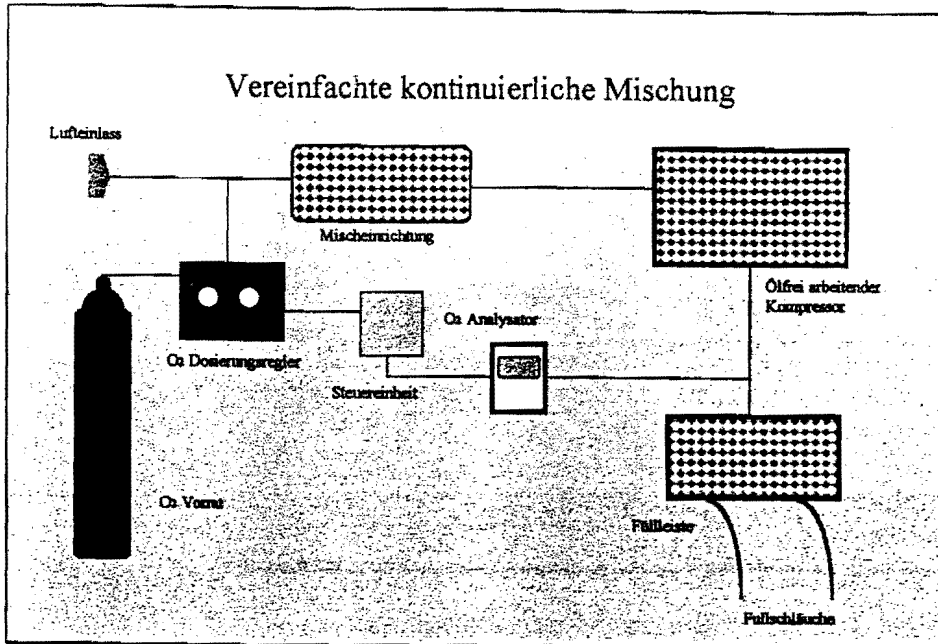


Abb 7: Vereinfachte kontinuierliche Mischung

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.

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.

Lufttrennung

Dies ist die neueste Technologie, wobei ein Teil des Stickstoffes aus der Luft entfernt wird und somit EAN/Nitrox entsteht. Auf diese Art werden normalerweise maximal 40% EAN/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.

Bauart und Konstruktion der Füllstation

Füllstationen, die den Ansprüchen einer speziellen Einrichtung entsprechen, lassen sich auf verschiedene Arten konstruieren. Zu beachten sind hierbei Gesetze und Richtlinien für die Einrichtung und das Betreiben einer Füllstation mit oxidierendem Gas (Sauerstoff). Da bei der



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

Bauart eines solchen Systems sehr komplexe Faktoren eine Rolle spielen, überläßt man dies am besten einem Fachmann. Jedoch gelten bei allen Systemen folgende Grundsätze:

- Alle Teile des Systems müssen sauerstoffverträglich sein.
- Die Strömungsgeschwindigkeit des Sauerstoffs sollte gering sein.
- Vermeiden Sie Kugelventile. Benutzen Sie langsam zu öffnende, leicht kontrollierbare Ventile.
- Kohlenstoff oder plattierter Stahl sind nicht zu benutzen. Legierungen, basierend auf Kupfer und Nickel, werden bevorzugt, Edelstahl ist ebenso dafür geeignet. Ein ideales Material für den Gebrauch von Ventilen ist Messing.
- Gummi O-Ringe oder Silikonfett dürfen nicht benutzt werden.
- Flexible Füllschläuche müssen gegenüber angereicherter Luft/Sauerstoff beständig sein.
- Auch Gewindegewandmittel müssen kompatibel sein. Normalerweise ist hochqualitatives Teflonband angemessen, doch dürfen keine losen Teilchen in den Gasstrom gelangen.
- Um den Rückstrom von Sauerstoff in die Filter zu verhindern, müssen Rückschlagventile benutzt werden. Sie müssen vor dem Gebrauch auf Ihre einwandfreie Funktion hin geprüft werden.
- Das System sollte so betrieben werden, daß auch bei Versagen eines Rückschlagventils das Gas keine sauerstoff angereicherte Luft in den Filter strömt.
- Die Qualität von OCA muß regelmäßig geprüft werden und das System sauber gehalten werden.
- Der Sauerstoffgehalt einer Flasche muß nach dem Füllen immer überprüft werden.

Verwendung von Speicherflaschen

Es gibt eine Reihe von guten Gründen, warum die Mischung von EAN/Nitrox in einer Speicherbank besser ist als in einer EAN/Nitroxflasche.

- Der Reinheitsgrad der EAN/Nitroxflasche ist von geringerer Bedeutung.
- Die Mischung in der Speicherbank kann einer exakten Mischung angeglichen werden, die dann für alle darauffolgenden Füllungen konstant ist.
- Die Speicherbank kann mit einer reichhaltigen Mischung wie z.B. 50% EAN/Nitrox gefüllt werden, die dann mit Luft verdünnt werden kann, um jede andere EAN/Nitroxmischung in einer Tauchflasche herzustellen.
- Eine Füllstation kann EAN/Nitrox in der Speicherbank während ruhigen Perioden mischen und es bei Bedarf schnell umfüllen.
- Wenn das Gas der Speicherbank erst einmal gemischt ist, braucht der Taucher nicht so lange auf das Prüfen des Sauerstoffgehaltes der Flasche zu warten.



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

In einer großen Speicherbank benötigt Sauerstoff und Luft mehr Zeit sich zu vermischen als in einer EAN/Nitroxflasche.

Umfüllpumpen

Umfüllpumpen werden mit Gas oder Strom betrieben. Umfüllpumpen müssen sauerstoffverträglich sein, um OCA, Nitrox oder reinen Sauerstoff zu pumpen. Die am häufigsten verwendeten Typen sind elektrisch.

Sie sind zwar teurer, jedoch erlauben sie den Gebrauch von Speicherbänken, und ermöglichen die Nutzung des gesamten Sauerstoffes aus einer Flasche.

Vorbereitung der Tauchausrüstung

Allgemein

Die für den Gebrauch mit normaler Luft geeignete Tauchausrüstung darf nicht mit angereicherter Luft verwendet werden. Zwar reagieren geringprozentige Nitroxgemische in Bezug auf Feuergefahr ähnlich wie Luft, doch ist die Grenze, an der Gemische eher wie reiner Sauerstoff reagieren fließend, und daher für den Anwender nicht einschätzbar.

Durch Verwendung eines unzulässigen Adapters ist es möglich, daß ein Atemregler in der Füllstation an eine Flasche angeschlossen wird, in die reiner Sauerstoff gefüllt wurde. Falls nicht zugelassene Ausrüstungen oder Adapter verwendet werden, könnte dies verheerende Folgen haben.

Allgemein läßt sich feststellen, daß jedes Teil sauerstoffverträglich sein muß, das reinem Sauerstoff oder angereicherter Luft mit einem Druck von über 40 bar ausgesetzt wird.

Reinigungsverfahren

SCUBAPRO EAN/Nitroxprodukte sind bereits ab Werk sauerstoffverträglich. Ein qualifizierter, ausgebildeter Nitroxtechniker kann die Ausrüstung zudem, falls Verunreinigungen aufgetreten sind, reinigen oder andere luftbeständige Teile der Ausrüstung auf Nitroxkompatibilität umrüsten. Diese Techniken lassen sich auch auf Teile des Füllsystems anwenden.

Der Reinigungsprozess läuft normalerweise wie folgt ab:

1. Der Gegenstand wird in seine Einzelteile zerlegt.
2. Bei der jährlichen Wartung sind alle Verschleißteile auszutauschen (z.B. Sinterfilter, dynamische O-Ringe, Dichtsitze, u.s.w). Alle anderen Teile werden einer eingehenden Sichtprüfung unterzogen (z.B. statische O-Ringe, Dichtkrater, u.s.w.). Handelt es sich nicht um die jährliche Wartung, sondern um eine Kontrollprüfung, unterliegen alle Teile lediglich der Sichtprüfung und sollten nur bei Schaden ausgewechselt werden.
3. Größere Mengen an Fett oder Ablagerungen werden mit einem Lappen oder Papiertuch entfernt.
4. Alle alten und neuen Bauteile werden nun gründlich gereinigt. Dazu müssen auch alle neuen Teile vor dem Einbau wie folgt gesäubert werden. Hierbei können zwei Methoden angewandt werden (SCUBAPRO Reg Wash Art. Nr. 41-050-000).

Option 1 - Ultraschall-Reinigungsgerät (bevorzugte Methode).



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

5. Die erste Reinigung erfolgt mit *Attar-C Heavy Duty Cleaner*. Mischen Sie das Reinigungsmittel im Verhältnis 1:9 mit warmem Wasser (ca. 52°C). Das Gerät sollte laut Herstellerangaben gefüllt werden, so daß eine effiziente Reinigung gewährleistet ist. Die Reinigungsdauer beträgt ca. 10 Minuten.
6. Spülen Sie alle Teile gründlich unter fließendem Wasser.
7. Für die Endreinigung wird DOT 111/113 mit lauwarmem Wasser (ca. 12°C) im Verhältnis 1:9 gemischt. Das Gerät sollte laut Herstellerangaben gefüllt werden, so daß eine effiziente Reinigung gewährleistet ist. Die Reinigungsdauer beträgt ca. 5 Minuten.

8. Spülen Sie alle Teile gründlich unter fließendem Wasser.

Option 2 - Tauchbad.

5. Die erste Reinigung erfolgt mit *Attar-C Heavy Duty Cleaner*. Mischen Sie das Reinigungsmittel im Verhältnis 1:9 mit warmem Wasser (ca. 52°C). Die Teile sollten gut bedeckt sein. Die Reinigungsdauer beträgt ca. 10 Minuten. Zwischendurch sollten die Teile mehrere Male bewegt werden, um rundherum eine effiziente Reinigung zu gewährleisten.

6. Spülen Sie alle Teile gründlich unter fließendem Wasser.

7. Für die Endreinigung wird DOT 111/113 mit lauwarmem Wasser (ca. 12°C) im Verhältnis 1:9 gemischt. Die Reinigungsdauer beträgt ca. 5 Minuten. Zwischendurch sollten die Teile mehrere Male bewegt werden, um rundherum eine effiziente Reinigung zu gewährleisten.

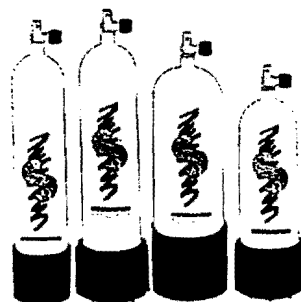
8. Spülen Sie alle Teile gründlich unter fließendem Wasser.

9. Danach werden alle Teile mit OCA getrocknet. Ölrückstände lassen sich leicht mit Hilfe eines UV-Lichts ausfindig machen (Geldscheinprüfer). Achten Sie darauf, daß die Teile dabei nicht erneut verunreinigt werden. Werkzeuge und Hände müssen sauber sein. Beim Umgang mit den Teilen, die später reinem Sauerstoff ausgesetzt sind, empfiehlt sich das Tragen sauberer Latexhandschuhe. Richten Sie sich in der Werkstatt am besten einen speziellen, sauberen Arbeitsplatz ein, an dem Sie EAN/Nitroxausrüstung handhaben. Ein separater EAN/Nitrox Werkzeugsatz ist ebenfalls empfehlenswert.

10. Die Teile können jetzt gemäß Herstellerangaben zusammengefügt werden. Als Schmiermittel dürfen nur kleine Mengen Krytox, Art. Nr. 41-494-103, verwendet werden.

11. Erledigen Sie die Papierarbeit und vergessen Sie nicht die entsprechende EAN//Nitrox Anmerkung im Service Record. Nitrox Service Aufkleber anbringen und Schutzkappen verwenden, (Art. Nr. 01-026-103).

Flaschen

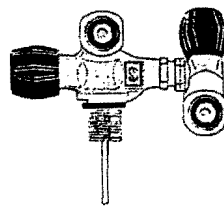




S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

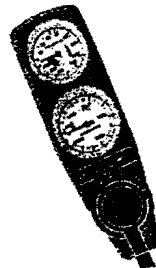
Stahl- oder Aluminiumflaschen können grundsätzlich benutzt werden, wenn sie innen absolut sauber und korrosionsfrei sind. Obwohl die Korrosion in Nitroxflaschen theoretisch durch den höheren Sauerstoffanteil beschleunigt wird, sorgt die sehr trockene Luft doch für eine längere Lebensdauer. Die Gewinde und O-Ring-Vertiefungen müssen besonders vorsichtig und sorgfältig gereinigt werden. Wenn Wasser als letzte Spülung nach der Reinigung verwendet wird, besteht Rostgefahr. Deshalb sollte der Trocknungsvorgang schnell von statten gehen. Am besten verwendet man OCA-Heissluft. Bei Verdacht auf Kontaminierung oder nach jedem hydrostatischen Test sind die Flaschen erneut zu reinigen. Wenn die Montage des Ventils nicht sofort anschließend erfolgt, sollte die Flasche unverzüglich mit einer Verschlussschraube verschlossen werden.

Ventile



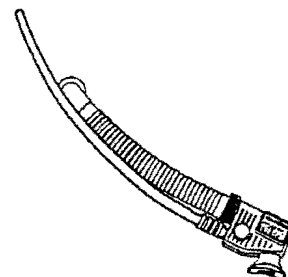
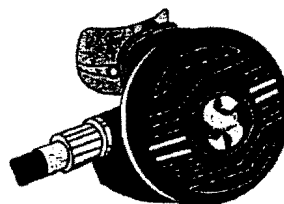
EAN/Nitroxventile müssen einen entsprechenden Sauerstoff oder EAN/Nitroxanschluß haben. Sie müssen gründlich gereinigt werden, da reiner Sauerstoff durch sie strömen kann. Stellen Sie sicher, daß die Reinigungsmittel alle inneren Bohrungen erreichen und daß sämtliche Überreste ausgespült und abgeblasen werden. Schutzkappen sind strengstens empfohlen. (Art. Nr. 01-026-103.)

Wasserdichte Manometer



Das Manometer, die Hochdruckkupplung, der HD Schlauch und alle O-Ringe an beiden Enden müssen Sauerstoffkompatibel sein. Dies gilt auch für gasintegrierte Computer.

Mitteldruckteile



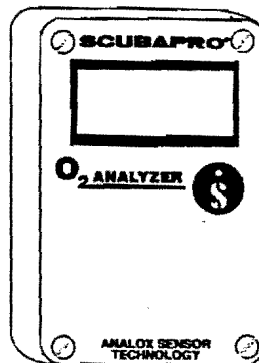
Mitteldruckteile wie 2.Stufen, Inflator, AIR II oder Vollgesichtsmasken müssen ebenfalls für EAN/Nitrox zugelassen sein. Alle Niederdruckteile, die das SCUBAPRO Werk seit Juni 1997



verlassen haben, sind bereits Sauerstoff/EAN verträglich. Sollten diese Teile zwischenzeitlich allerdings mit normaler Luft verwendet worden sein, sind sie erneut zu reinigen. EAN/Nitroxtauchgeräte sind nicht für die Belüftung von Konstantvolumenanzügen (Trockentauchanzug) zulässig. Die Belüftung des Anzuges sollte durch Atemluft erfolgen.

Gasanalyse und Aufzeichnung der Meßwerte

Analyse des Sauerstoffanteils



Die Endmischung sollte vor dem Gebrauch immer vom Benutzer geprüft werden. Im Idealfall überprüft auch der Hersteller die Mischung und markiert die Flaschen unauffällig. So kann er das Messergebnis des Tauchers gegenprüfen. Man sollte niemals annehmen, daß das Ergebnis exakt der angestrebten Mischung entspricht.

Der Sauerstoffgehalt wird meist mit Hilfe eines handlichen Analysegerätes überprüft. (SCUBAPRO Art. Nr. 41-400-500). Entscheidend für die Genauigkeit des Gerätes ist ein integrierter Sensor. Er sollte auf +/- 1% genau messen. Der Sensor arbeitet in der Regel mittels Galvanisierung einer Brennstoffzelle. Die Zelle enthält eine Chemikalie, die bei Oxydation elektrischen Strom produziert. Je größer der Sauerstoffanteil, desto schneller ist die Oxydation und um so stärker der erzeugte Strom. Die Sensoren besitzen eine beschränkte Lebensdauer und sollten daher mindestens einmal im Jahr ersetzt werden. Einen Ersatzsensor sollte man daher immer bereithalten.

Eine Flasche wird gewöhnlich wie folgt geprüft:

1. Um die gleichmäßige Vermischung der Gase sicherzustellen, sollte die Flasche nach dem Füllvorgang mindestens eine Stunde stehengelassen werden. Unter kalten Bedingungen dauert die Durchmischung noch länger.
2. Um Fehlmessungen zu vermeiden, wird die Flasche vor dem Messen kurz geöffnet. So wird jegliche Feuchtigkeit aus der Ventilöffnung geblasen.
3. Schalten Sie das Analysegerät ein und kalibrieren es auf Umgebungsluft (20.95% O₂) oder reinen Sauerstoff.
4. Erzeugen Sie einen leichten Gasstrom über dem Sensor. Der Druck darf nicht zu stark sein und sollte bei etwa 1 bar liegen. Jedoch sollte der Sensor vollständig mit Gas umgeben sein.
5. Warten Sie, bis die Anzeige konstant ist und notieren sie die Daten.



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

Wenn man mehrere Flaschen prüft, sollte das Gerät nicht zwischen jedem Test kalibriert werden, da sich meist noch EAN/Nitroxreste vom vorangegangenen Test am Sensor befinden. Jedoch sollte das Gerät bei Erstgebrauch immer kalibriert werden. Das Analysegerät kann in regelmäßigen Abständen geprüft werden, indem man es auf 100% Sauerstoff kalibriert, und dann nachprüft, ob es auf 21% abfällt, wenn es normaler Luft ausgesetzt wird. Die Lebensdauer der Sensoren lässt sich durch eine Vakuumlagerung im Kühlschrank erhöhen. (Siehe Gebrauchsanleitung).

Nach dem Prüfvorgang muß der Benutzer den Sauerstoffgehalt und die maximal zulässige Tauchtiefe auf der Flasche vermerken und in das Füllprotokoll der EAN/Nitrox-Füllstation eintragen. Beim Prüfen der Flaschen muß der Benutzer diese nach ihrem Inhalt und maximal zugelassener Tiefe markieren und in die Füllprotokolle der EAN/Nitrox-Füllstation eintragen.

MAXIMALTAUCHTIEFE		
O₂% in Mischung	Max. Tauchtiefe in Metern, für max pO₂ von:	
	Anstrengung/Kal 1.4 bar	Normal Tauchgang 1.6 bar
27 %	42	50
28 %	40	48
29 %	38	46
30 %	37	44
31 %	35	42
32 %	34	40
33 %	32	38
34 %	31	37
35 %	30	35
36 %	29	34
37 %	28	33
38 %	27	32
39 %	26	31
40 %	25	30
41 %	24	29
42 %	23	28
43 %	23	27
44 %	22	26
45 %	21	25
46 %	20	24
47 %	20	24
48 %	19	23
49 %	19	22
50 %	18	22
51 %	17	21

Abb 8. Maximal Tauchtiefen für EAN/Nitrox



Gebrauch von EAN/Nitrox Füllprotokollen

Nach dem Überprüfen der Flasche hat der Taucher immer die entsprechenden Eintragungen in das Füllprotokoll vorzunehmen. Seine Eintragungen sind Beweis dafür, daß er das Gas geprüft hat und die maximal zulässige Tauchtiefe kennt.

Der Hersteller des Mischgases kann mit Hilfe des Füllprotokolls die Anzahl der Füllungen und damit die Filterarbeitsstunden nachvollziehen. So lässt sich auch der exakte Zeitpunkt für den Filteraustausch feststellen. Auch der Filterwechsel wird im Protokoll vermerkt. Entscheidend bei dieser Methode ist, daß alle Füllungen, auch die des Personals eingetragen werden.

Ein Beispiel eines Füllprotokolls befindet sich auf der nächsten Seite.



S.E.A. EAN/Nitrox Füllprotokoll Log

Serial	Taucher Name	Brevet. nummer	Flasche S/Nr.r	O ₂ %	Max Tiefe	Datum	Unterschrift
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							



Überwachen der Luftqualität

Wie bereits erwähnt, sind tragbare Testgeräte nicht in der Lage, die niedrigen Ölanteile gemäß OCA nachzuweisen. Deshalb empfiehlt sich die Entnahme einer Luftprobe, die dann zur Gasanalyse an ein zuständiges Labor geschickt wird. Die Gasanalyse muß mindestens alle 3 Monate durchgeführt werden.

Berechnungen zur Gasmischung

Einleitung

Für die regelmäßige Produktion von EAN/Nitrox benötigt der Hersteller von Mischgas nur wenige Kalkulationen. Dies gilt besonders für die Herstellung von Standardmischungen. Wenn Taucher allerdings nach speziellen Mischungen fragen oder Tauchflaschen noch ein andersprozentiges Restgas enthalten, sind eine Reihe von Kalkulationen erforderlich. In vielen Fällen lassen sich die Berechnungen allerdings durch Tabellen ersetzen, die im Anhang dieses Handbuchs aufgeführt sind.

Mischen durch Partialdruck

Bei der Partialdruckmethode mischt man normalerweise reinen Sauerstoff und Luft, obwohl dies auch mit einer Speicherbank von beispielsweise 50% EAN/Nitrox und Luft durchgeführt werden kann. Nach Dalton's Gesetz sind die Berechnungen bei der Mischung von reinem Stickstoff und reinem Sauerstoff sehr einfach. Wird der Sauerstoff allerdings mit Luft gemischt, muß der Sauerstoffanteil in der Luft berücksichtigt werden.

Mischen von Luft und Sauerstoff - ein einfaches Beispiel, keine Mischänderung des Flascheninhaltes oder eine leere Flasche.

Die einfachste Formel lautet wie folgt, wobei:

tfO₂ = Zielanteil an Sauerstoff und
*P = Druckänderung in bar.

$$\frac{(tfO_2 - 0.21)}{0.79} \times *P = \text{Bar Sauerstoff zu Füllen}$$

Wenn sie z.B. eine Flasche mit 50 bar zu 32% EAN/Nitrox hätten, und diese 32% EAN/Nitrox auf 200 bar erhöhen wollten, würde die Rechnung wie folgt lauten:

$$\frac{(0.32 - 0.21)}{0.79} \times 150 = 21 \text{ Bar Sauerstoff zu Füllen}$$

Dies würde bedeuten, daß Sie 21 bar Sauerstoff in die Flasche geben und mit 129 bar Luft auffüllen. Das Volumen der Flasche ist bei diesen Berechnungen unwichtig. Es kann sich um eine 100 Liter Speicherbank oder eine 3 Liter Ponyflasche handeln.

Diese Formel funktioniert nur, wenn Sie entweder mit einem leeren Zylinder beginnen oder wenn das Restgas dem Zielgas entspricht.



Mischen von gespeichertem EAN/Nitrox und Luft

Fast die gleiche Formel kann zum Mischen von Luft und gespeichertem EAN/Nitrox angewandt werden, um jegliche andere Mischung in einer Flasche zu erzeugen.

Z.B. lautet die Formel bei einer Mischung von 50% EAN/Nitrox und Luft wie folgt:

$$\frac{(f_{O_2} - 0.21)}{0.29} \times P = \text{Bar 50\% EAN/Nitrox zu Füllen}$$

Wenn Sie z.B. eine Flasche mit 50 bar zu 36% EAN/Nitrox hätten und diese 36% EAN/Nitrox auf 200 bar erhöhen wollten, lautet die Kalkulation wie folgt:

$$\frac{(0.32 - 0.21)}{0.29} \times 150 = 78 \text{ Bar 50\% EAN/Nitrox zu füllen}$$

Die Zahl 0.29 erhält man, indem man f_{N_2} von dem gespeicherten Gas von 0.79 subtrahiert. Wenn die Speicherbank z.B. 51% EAN/Nitrox enthält, lautet die Rechnung wie folgt:

$$0.79 - 0.49 = 0.3$$

Mischen von Luft und Sauerstoff - ein komplexer Vorgang

Wenn das Restgas einer Flasche von dem Zielgas abweicht, sind die Kalkulationen etwas komplizierter.

Bei Vorhandensein von Restgas muß zunächst bestimmt werden, wieviel bar reiner Sauerstoff benötigt würde, um dieses Gas zu erzeugen. Dafür muß der Flaschendruck und Sauerstoffgehalt überprüft werden.

Zur selbständigen Berechnung können sie das Arbeitsblatt auf der nächsten Seite als Beispiel benutzen.



Arbeitsblatt für Mischung über Partialdruck

N.B. $fN_2 = 1 - fO_2$, z.B. 32% EAN/Nitrox hat fN_2 von 0.68

Ziel Flaschendruck{	} bar - Rest Flaschendruck{	} bar	= {	} (A)
Ziel fN_2 {	} X Zielflaschendruck{	}	= {	} (B)
Rest fN_2 {	} X Restflaschendruck{	}	= {	} (C)
			B - C	= { } (D)
			D ÷ 0.79	= { } (E)
Sauerstoff zu Addieren = A - E			= {	} bar O_2

Ziel Flaschendruck{	} bar - Rest Flaschendruck{	} bar	= {	} (A)
Ziel fN_2 {	} X Zielflaschendruck{	}	= {	} (B)
Rest fN_2 {	} X Restflaschendruck{	}	= {	} (C)
			B - C	= { } (D)
			D ÷ 0.79	= { } (E)
Sauerstoff zu Addieren = A - E			= {	} bar O_2

Ziel Flaschendruck{	} bar - Rest Flaschendruck{	} bar	= {	} (A)
Ziel fN_2 {	} X Zielflaschendruck{	}	= {	} (B)
Rest fN_2 {	} X Restflaschendruck{	}	= {	} (C)
			B - C	= { } (D)
			D ÷ 0.79	= { } (E)
Sauerstoff zu Addieren = A - E			= {	} bar O_2



Mischtabellen für Standardmischungen

In den meisten Fällen produziert man identische Mischungen für einen einheitlichen Enddruck. Dafür kann eine Standardtabelle benutzt werden. Im Anhang finden Sie dafür einige Beispiele. Die obere Zeile gibt den Prozentsatz des Restgases an. In der linken Spalte ist der Druck des Restgases in bar angegeben. Das Ergebnis gibt an, wieviel bar an reinem Sauerstoff hinzugefügt werden müssen, um 32 % Nitrox mit 220 bar zu produzieren.

Beginn							
O ₂ % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%
Bars							
0	31	31	31	31	31	31	31
10	31	31	30	30	30	29	29
20	31	30	30	29	29	28	28
30	31	30	29	29	28	27	26
40	31	30	29	28	27	26	25
50	31	30	29	27	26	25	24
60	31	30	28	27	25	24	22

Abb. 9. Partialdruck Mischtablette für 32% EAN/Nitrox 220 bar

Wenn z.B. die Flasche noch 50 bar Restgas mit 28% EAN/Nitrox enthält, müssten 26 bar reiner Sauerstoff hinzugefügt werden und dann mit Luft aufgefüllt werden. Beachten sie, daß diese Tabellen nur auf eine bestimmte Nitroxmischung und einen bestimmten Zieldruck anwendbar sind.

Kontinuierliches Mischen / Berechnungen zur Lufttrennung

Die Berechnungen für das zu füllende Gas sind für die kontinuierliche Methode und die Methode der Lufttrennung identisch. In diesen Fällen sollten Sie Ihr Füllsystem an das gewünschte EAN/Nitrox anpassen. Das Ergebnis wird auf der Ausgangsseite durch ein Analysegerät angezeigt (Siehe Tabelle auf S. 13 als Beispiel für ein kontinuierliches Mischsystem).

Ist die Flasche leer, oder bleibt die Mischung die gleiche, passen Sie lediglich die Sauerstoff-Füllmenge an die gewünschte Endmischung an und füllen die Flasche auf den gewünschten Druck. Wenn das Restgas einer Flasche vom Zielgas abweicht, sind einige Berechnungen nötig. In diesem Fall kann man das Arbeitsblatt auf der nächsten Seite verwenden.



Arbeitsblatt für kontinuierliche Mischung

Ziel O ₂ {	}	X	Zieldruck{	}	=	{	}	(A)
Rest O ₂ {	}	X	Restdruck{	}	=	{	}	(B)
			A - B		=	{	}	(C)
Zieldruck{	}	-	Restdruck{	}	=	{	}	(D) (bar zu addieren)
		C ÷ D =	{	}	=	fO ₂	EAN/Nitrox zu addieren	

Ziel O ₂ {	}	X	Zieldruck{	}	=	{	}	(A)
Rest O ₂ {	}	X	Restdruck{	}	=	{	}	(B)
			A - B		=	{	}	(C)
Zieldruck{	}	-	Restdruck{	}	=	{	}	(D) (bar zu addieren)
		C ÷ D =	{	}	=	fO ₂	EAN/Nitrox zu addieren	

Ziel O ₂ {	}	X	Zieldruck{	}	=	{	}	(A)
Rest O ₂ {	}	X	Restdruck{	}	=	{	}	(B)
			A - B		=	{	}	(C)
Zieldruck{	}	-	Restdruck{	}	=	{	}	(D) (bar zu addieren)
		C ÷ D =	{	}	=	fO ₂	EAN/Nitrox zu addieren	



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

Hierfür ein Beispiel: Sie haben eine Flasche mit 50 bar zu 34% EAN/Nitrox und möchten 200 bar zu 40% EAN/Nitrox erreichen. Die Kalkulation lautet wie folgt:

Ziel O ₂ { 0.40 }	X Zieldruck{ 200 }	= { 80 } (A)
Rest O ₂ { 0.34 }	X Restdruck{ 50 }	= { 17 } (B)
	A - B	= { 63 } (C)
Zieldruck{ 200 }	- Restdruck{ 50 }	= { 150 } (D) (bar zu addieren)
C ÷ D = { 0.42 } = fO ₂ EAN/Nitrox zu addieren		

Sie würden somit 150 bar zu 42% EAN/Nitrox hinzufügen.

Die Tabellen, die im Anhang dieses Handbuches zu finden sind, können für die Produktion herkömmlicher Mischungen benutzt werden. Wenn Sie z.B. bei einer Flasche mit 50 bar zu 28% EAN/Nitrox 220 bar zu 36% EAN/Nitrox erzielen wollten.

Beginn										
O ₂ % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	
FI Druck										
0	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%
10	37%	37%	37%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%
20	38%	37%	37%	37%	37%	37%	36%	36%	36%	36%
30	38%	38%	38%	38%	37%	37%	37%	36%	36%	36%
40	39%	39%	39%	38%	38%	37%	37%	36%	36%	36%
50	40%	40%	40%	39%	38%	38%	37%	37%	36%	36%
60	42%	41%	41%	40%	39%	38%	38%	37%	36%	36%
70	43%	43%	42%	41%	40%	39%	38%	37%	36%	36%

Abb 10 Kontinuierliche Mischung Tabelle (36% EAN/Nitrox 220 bar)

In diesem Fall würden Sie die Flasche mit 38% EAN/Nitrox auffüllen. Wie bei den Partialdrucktabellen trifft jede nur auf eine Zielmischung unter einem Zieldruck zu.



S.E.A. Nitrox/EAN Techniker und Gasmischer Arbeitsbuch

NOTIZEN



MIXING PURE OXYGEN AND AIR - BARS OF OXYGEN TO ADD																															
Target pressure in bars																															
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
21%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22%	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
23%	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	8
24%	0	0	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	11
25%	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
26%	0	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	18	18	19
27%	0	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23
28%	0	2	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	21	22	23	24	25	26	27
29%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
30%	0	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32	33	34
31%	0	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	34	35	37	38
32%	0	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26	28	29	31	32	33	35	36	38	39	40	42
33%	0	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36	38	39	41	43	44	46
34%	0	2	3	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	21	23	25	28	28	30	31	33	35	36	38	39	41	43	44	46	48	49
35%	0	2	4	5	7	9	11	12	14	16	18	19	21	23	25	27	28	30	32	34	35	37	39	41	43	44	46	48	50	51	53
36%	0	2	4	6	8	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	47	49	51	53	55	57
37%	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61
38%	0	2	4	6	9	11	13	16	17	19	22	24	26	28	30	32	34	37	39	41	43	45	47	49	52	54	56	58	60	62	65
39%	0	2	5	7	9	11	14	16	18	21	23	25	27	30	32	34	36	39	41	43	46	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68
40%	0	2	5	7	10	12	14	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41	43	46	48	51	53	56	58	60	63	65	67	70	72
41%	0	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	41	43	46	48	51	53	56	58	61	63	66	68	71	73	76
42%	0	3	5	8	11	13	16	19	21	24	27	29	32	35	37	40	43	45	48	51	53	56	58	61	64	66	69	72	74	77	80
43%	0	3	6	8	11	14	17	19	22	25	28	31	33	36	39	42	45	47	50	53	56	58	61	64	67	70	72	75	78	81	84
44%	0	3	6	9	12	15	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	84	87
45%	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91
46%	0	3	6	9	13	16	19	22	25	28	32	35	38	41	44	47	51	54	57	60	63	66	70	73	76	79	82	85	89	92	95
47%	0	3	7	10	13	16	20	23	26	30	33	36	39	43	46	49	53	56	59	63	66	69	72	76	79	82	86	89	92	95	99
48%	0	3	7	10	14	17	21	24	27	31	34	38	41	44	48	51	55	58	62	65	68	72	75	79	82	85	89	92	96	99	103
49%	0	4	7	11	14	18	21	25	28	32	35	39	43	46	50	53	57	60	64	67	71	74	78	82	85	89	92	96	99	103	106
50%	0	4	7	11	15	18	22	26	29	33	37	40	44	48	51	55	59	62	66	70	73	77	81	84	88	92	95	99	103	106	110



MIXING 50% NITROX AND AIR - BARS OF 50% NITROX TO ADD																															
Target pressure in bars																															
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
21%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22%	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10
23%	0	1	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	19	20	21
24%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	28	27	28	29	30	31
25%	0	1	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	17	18	19	21	22	23	25	26	28	29	30	32	33	34	36	37	39	40	41
26%	0	2	3	5	7	9	10	12	14	16	17	19	21	22	24	26	28	29	31	33	34	36	38	40	41	43	45	47	48	50	52
27%	0	2	4	6	8	10	12	14	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	46	48	50	52	54	56	58	60	62
28%	0	2	5	7	10	12	14	17	19	22	24	27	29	31	34	36	39	41	43	46	48	51	53	56	58	60	63	65	68	70	72
29%	0	3	6	8	11	14	17	19	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	66	69	72	74	77	80	83
30%	0	3	6	9	12	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	78	81	84	87	90	93
31%	0	3	7	10	14	17	21	24	28	31	34	38	41	45	48	52	55	59	62	66	69	72	76	79	83	86	90	93	97	100	103
32%	0	4	8	11	15	19	23	27	30	34	38	42	46	49	53	57	61	64	68	72	76	80	83	87	91	95	99	102	106	110	114
33%	0	4	8	12	17	21	25	29	33	37	41	46	50	54	58	62	66	70	74	79	83	87	91	95	99	103	108	112	116	120	124
34%	0	4	9	13	18	22	27	31	36	40	45	49	54	58	63	67	72	76	81	85	90	94	99	103	108	112	117	121	126	130	134
35%	0	5	10	14	19	24	29	34	39	43	48	53	58	63	68	72	77	82	87	92	97	101	106	111	116	121	126	130	135	140	145
36%	0	5	10	16	21	26	31	36	41	47	52	57	62	67	72	78	83	88	93	98	103	109	114	119	124	129	134	140	145	150	155
37%	0	6	11	17	22	28	33	39	44	50	55	61	66	72	77	83	88	94	99	105	110	116	121	127	132	138	143	149	154	160	166
38%	0	6	12	18	23	29	35	41	47	53	59	64	70	76	82	88	94	100	106	111	117	123	129	135	141	147	152	158	164	170	176
39%	0	6	12	19	25	31	37	43	50	56	62	68	74	81	87	93	99	106	112	118	124	130	137	143	149	155	161	168	174	180	186
40%	0	7	13	20	26	33	39	46	52	59	66	72	79	85	92	98	105	111	118	124	131	138	144	151	157	164	170	177	183	190	197
41%	0	7	14	21	28	34	41	48	55	62	69	76	83	90	97	103	110	117	124	131	138	145	152	159	166	172	179	186	193	200	207
42%	0	7	14	22	29	36	43	51	58	65	72	80	87	94	101	109	116	123	130	138	145	152	159	167	174	181	188	196	203	210	217
43%	0	8	15	23	30	38	46	53	61	68	76	83	91	99	106	114	121	129	137	144	152	159	167	174	182	190	197	205	212	220	228
44%	0	8	16	24	32	40	48	56	63	71	79	87	95	103	111	119	127	135	143	151	159	167	174	182	190	198	206	214	222	230	238
45%	0	8	17	25	33	41	50	58	66	74	83	91	99	108	116	124	132	141	149	157	166	174	182	190	199	207	215	223	232	240	248
46%	0	9	17	26	34	43	52	60	69	78	86	95	103	112	121	129	138	147	155	164	172	181	190	198	207	216	224	233	241	250	259
47%	0	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	134	143	152	161	170	179	188	197	206	215	224	233	242	251	260	269
48%	0	9	19	28	37	47	56	65	74	84	93	102	112	121	130	140	149	158	168	177	186	196	205	214	223	233	242	251	261	270	279
49%	0	10	19	29	39	48	58	68	77	87	97	106	116	126	135	145	154	164	174	183	193	203	212	222	232	241	251	261	270	280	290
50%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300



MISCHUNG ÜBER PARTIALDRUCK

WIEVIEL SAUERSTOFF ZU ADDIEREN FÜR: 32% NITROX

ENDFLASCHENDRUCK VON: 220 BAR

Am Anfang																
O2 % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
Restdruck																
10	31	31	30	30	30	29	29	29	29	28	28	28	28	27	27	27
20	31	30	29	29	28	28	28	27	27	26	26	26	25	25	24	23
30	31	30	29	29	28	27	26	26	25	24	23	23	22	21	20	20
40	31	30	29	27	26	25	24	22	21	20	19	17	16	15	14	12
50	31	30	28	26	24	23	21	19	17	16	14	12	10	9	7	5
60	31	29	27	25	23	20	18	16	14	11	9	7	5	2	0	
70	31	29	26	24	21	18	15	13	10	7	4	1				
80	31	29	26	22	19	16	13	9	6	3						
90	31	29	25	21	17	14	10	6	2							
100	31	28	24	20	16	11	7	3								
110	31	28	24	20	16	11	7	3								
120	31	28	24	20	16	11	7	3								
130	31	28	24	20	16	11	7	3								
140	31	28	24	20	16	11	7	3								
150	31	28	24	20	16	11	7	3								
160	31	28	24	20	16	11	7	3								
170	31	28	24	20	16	11	7	3								
180	31	28	24	20	16	11	7	3								
190	31	28	24	20	16	11	7	3								
200	31	28	24	20	16	11	7	3								

PARTIAL PRESSURE MIXING CHART

BARS OF OXYGEN TO ADD TO CYLINDER TO PRODUCE 36% NITROX

FINAL PRESSURE TO PRODUCE 220 BARS

Starting																
O2 % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
Cyl Bars																
10	42	42	41	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39	39	38	38
20	42	41	41	40	39	38	38	37	36	35	35	34	33	32	32	31
30	42	41	40	39	37	36	35	34	32	31	30	28	27	26	25	24
40	42	41	39	37	36	34	32	30	28	27	25	23	22	20	18	16
50	42	41	38	36	34	32	29	27	25	22	20	18	16	14	11	9
60	42	40	38	35	32	29	26	24	21	18	15	13	10	7	5	2
70	42	40	37	34	30	27	24	20	17	14	11	7	4	1		
80	42	40	36	32	28	25	21	17	13	9	6	2				
90	42	40	35	31	27	22	18	14	9	5	1					
100	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
110	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
120	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
130	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
140	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
150	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
160	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
170	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
180	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
190	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						
200	42	40	35	30	26	21	17	12	8	3						



PARTIAL PRESSURE MIXING CHART

BARS OF OXYGEN TO ADD TO CYLINDER TO PRODUCE: **50% NITROX**

FINAL PRESSURE TO PRODUCE: **220 BARS**

Starting O2 % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
Cyl Bars																
10	81	81	80	80	80	80	79	79	79	79	78	78	78	78	77	77
20	81	80	80	79	79	78	78	77	77	76	76	75	75	74	74	73
30	81	80	80	79	78	77	77	76	75	74	74	73	72	71	71	70
40	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66
50	81	80	79	78	76	75	74	73	71	70	69	67	66	65	64	63
60	81	80	78	77	75	74	72	71	69	68	66	65	64	62	60	59
70	81	80	78	76	75	73	71	69	67	66	64	62	61	59	57	55
80	81	80	78	76	74	72	70	68	66	64	62	59	58	56	54	52
90	81	80	77	75	73	71	68	66	64	61	59	57	55	53	50	48
100	81	80	77	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	49	47	44
110	81	79	77	74	71	68	65	63	60	57	54	52	49	46	44	41
120	81	79	76	73	70	67	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
130	81	79	76	73	69	66	63	59	56	53	49	46	43	40	37	34
140	81	79	75	72	68	65	61	58	54	51	47	44	40	37	33	30
150	81	79	75	72	67	64	60	56	52	48	45	41	37	34	30	26
160	81	79	75	72	67	64	60	56	52	48	44	40	36	32	27	23
170	81	79	75	72	67	64	60	56	52	48	44	40	36	32	27	23
180	81	79	75	72	67	64	60	56	52	48	44	40	36	32	27	23
190	81	79	75	72	67	64	60	56	52	48	44	40	36	32	27	23
200	81	79	75	72	67	64	60	56	52	48	44	40	36	32	27	23



CONTINUOUS BLENDING FILLING CHART

% NITROX MIX TO ADD TO CYLINDER TO PRODUCE: 32% NITROX

FINAL PRESSURE TO PRODUCE: 220 BARS

Start																
O2 % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
Cyl Bar																
0	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%
10	33%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	31%	31%	31%	31%
20	33%	33%	33%	33%	32%	32%	32%	32%	32%	31%	31%	31%	31%	31%	30%	30%
30	34%	34%	33%	33%	33%	32%	32%	32%	31%	31%	31%	30%	30%	30%	30%	29%
40	34%	34%	34%	33%	33%	32%	32%	32%	31%	31%	30%	30%	29%	29%	28%	28%
50	35%	35%	34%	34%	33%	33%	32%	31%	31%	30%	30%	29%	29%	28%	27%	27%
60	36%	36%	35%	34%	34%	33%	32%	31%	31%	30%	29%	28%	28%	27%	26%	25%
70	37%	37%	36%	35%	34%	33%	32%	31%	30%	29%	28%	27%	26%	26%	25%	24%
80	38%	38%	37%	35%	34%	33%	32%	31%	30%	29%	27%	26%	25%	24%	23%	22%
90	40%	39%	38%	36%	35%	33%	32%	31%	29%	28%	26%	25%	24%	22%	21%	
100	41%	40%	39%	37%	35%	34%	32%	30%	29%	27%	25%	24%	22%			
110	43%	42%	40%	38%	36%	34%	32%	30%	28%	26%	24%	22%				
120	45%	44%	42%	39%	37%	34%	32%	30%	27%	25%	22%					
130	48%	46%	44%	41%	38%	35%	32%	29%	26%	23%						
140	51%	50%	48%	43%	39%	36%	32%	29%	25%	22%						
150	56%	53%	49%	45%	41%	36%	32%	28%	23%							
160	61%	59%	53%	48%	43%	37%	32%	27%	21%							
170	69%	66%	59%	52%	46%	39%	32%	25%								
180	82%	77%	68%	59%	50%	41%	32%	23%								
190		95%	83%	70%	57%	45%	32%									
200				92%	72%	52%	32%									



CONTINUOUS BLENDING FILLING CHART

% NITROX MIX TO ADD TO CYLINDER TO PRODUCE: 36% NITROX

FINAL PRESSURE TO PRODUCE: 220 BARS

Start																
O2 % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
Cyl Bar																
0	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%
10	37%	37%	37%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	36%	35%	35%
20	38%	37%	37%	37%	37%	37%	36%	36%	36%	36%	36%	35%	35%	35%	35%	35%
30	38%	38%	38%	38%	37%	37%	37%	36%	36%	36%	35%	35%	35%	34%	34%	34%
40	39%	39%	39%	38%	38%	37%	37%	36%	36%	36%	35%	35%	34%	34%	33%	33%
50	40%	40%	40%	39%	38%	38%	37%	37%	36%	35%	35%	34%	34%	33%	33%	32%
60	42%	41%	41%	40%	39%	38%	38%	37%	36%	35%	35%	34%	33%	32%	32%	31%
70	43%	43%	42%	41%	40%	39%	38%	37%	36%	35%	34%	33%	32%	31%	31%	30%
80	45%	44%	43%	42%	41%	39%	38%	37%	36%	35%	34%	33%	32%	30%	29%	28%
90	46%	46%	44%	43%	42%	40%	39%	37%	36%	35%	33%	32%	31%	29%	28%	27%
100	49%	48%	46%	44%	43%	41%	39%	38%	36%	34%	33%	31%	29%	28%	26%	25%
110	51%	50%	48%	46%	44%	42%	40%	38%	36%	34%	32%	30%	28%	26%	24%	22%
120	54%	53%	50%	48%	46%	43%	41%	38%	36%	34%	31%	29%	27%	24%	22%	
130	58%	56%	53%	50%	48%	45%	42%	39%	36%	33%	30%	27%	25%	22%		
140	62%	61%	57%	54%	50%	47%	43%	40%	36%	33%	29%	26%	22%			
150	68%	66%	62%	57%	53%	49%	45%	40%	36%	32%	27%	23%				
160	76%	73%	68%	63%	57%	52%	47%	41%	36%	31%	25%					
170	87%	84%	77%	70%	63%	56%	50%	43%	36%	29%	22%					
180		99%	90%	81%	72%	63%	54%	45%	36%	27%						
190			99%	87%	74%	61%	49%	36%	23%							
200					96%	76%	56%	36%								



CONTINUOUS BLENDING FILLING CHART

% NITROX MIX TO ADD TO CYLINDER TO PRODUCE: 50% NITROX

FINAL PRESSURE TO PRODUCE: 220 BARS

Start																	
O ₂ % =	21%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%	
Cyl Bar																	
0	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
10	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
20	53%	53%	53%	52%	52%	52%	52%	52%	51%	51%	51%	51%	51%	50%	50%	50%	
30	55%	54%	54%	54%	53%	53%	53%	53%	52%	52%	52%	51%	51%	51%	50%	50%	
40	56%	56%	56%	55%	55%	54%	54%	54%	53%	53%	52%	52%	51%	51%	50%	50%	
50	59%	58%	58%	57%	56%	56%	55%	55%	54%	54%	53%	52%	52%	51%	51%	50%	
60	61%	61%	60%	59%	58%	58%	57%	56%	55%	55%	54%	53%	52%	52%	51%	50%	
70	64%	63%	62%	61%	60%	59%	58%	57%	57%	56%	55%	54%	53%	52%	51%	50%	
80	67%	66%	65%	64%	63%	61%	60%	59%	58%	57%	56%	55%	54%	52%	51%	50%	
90	70%	69%	68%	67%	65%	64%	62%	61%	60%	58%	57%	56%	54%	53%	52%	50%	
100	74%	73%	72%	70%	68%	67%	65%	63%	62%	60%	58%	57%	55%	54%	52%	50%	
110	79%	78%	76%	74%	72%	70%	68%	66%	64%	62%	60%	58%	56%	54%	52%	50%	
120	85%	84%	81%	79%	76%	74%	72%	69%	67%	64%	62%	60%	57%	55%	53%	50%	
130	92%	90%	88%	85%	82%	79%	76%	73%	70%	67%	64%	62%	59%	56%	53%	50%	
140		99%	96%	92%	89%	85%	82%	78%	75%	71%	68%	64%	61%	57%	54%	50%	
150					97%	93%	89%	84%	80%	76%	71%	67%	63%	59%	55%	51%	
160								98%	93%	87%	82%	77%	71%	66%	61%	56%	
170									98%	91%	84%	77%	71%	64%	58%	51%	
180											95%	86%	78%	69%	60%	51%	
190													89%	77%	64%	52%	
200															92%	72%	53%



A		K	
AIR II	18	Kohlenstoff	15
Aktivkohle	10	Kondensierter Kohlenwasserstoff	8
Aluminiumoxyd	10	Kosmetik	10
anstrengenden Tauchgängen	6	Krytox	11; 17
Argon	4	Kugelhahnventile	11
Atemluft	8	Kugelventile	15
Attar-C	17	Kupfer	15
B		L	
Berechnungen	23	Lappen	10
Beste Mischung	6	Luftqualität	8; 23
Brennstoff	9	Luftstrom	10
Brennstoffe	10	Lufttrennung	14
D		M	
DIN EN 132	8	Manometer	18
Druckabsorption	14	Maximal Tauchtiefen	20
E		Messing	15
EAN	4; 5	Meßwerte	19
Edelgasen	4	Metallsplitter	10
Edelstahl	15	Mindestqualitätsansprüche	8
Enriched Air Nitrox	5	Mischen durch Mitteldruck	14
F		Mischen nach Gewicht	13
Farbe	10	Mischen nach Partialdruck	12
Feilspäne	10	Mischen, kontinuierliches	13
Fett	10	Mitteldruckteile	18
Feuerdreieck	8	Molekularsieben	14
Flaschen	17	N	
Flaschenventilen	10	Nickel	15
Flüssigen Sauerstoff	7	Nitrox	4
Füllmethoden	12	NOAA	6
Füllprotokoll	21; 22	O	
Füllschläuche	15	OCA (Oxygen Compatible Air)	8
Füllschlauches	10	Ö	
Füllstationen	14	Ölanteile	8
G		O	
Gasanalyse	19	Oxidationsmittel	9
Gasförmiger Kohlenwasserstoff	8	oxidierendem Gas	14
H		Oxydationsmittel	9
Halocarbon	11	Oxyde	10
Hitze	11	P	
Hochdruckkupplung	18	plattierter Stahl	15
I		pO ₂	6
Inflator	18	R	
A		Reinigung	17

Reinigungsmitteln	10	Tauchbad	17
Reinigungstüchern	10	Teflon-Band	15
Reinigungsverfahren	16	TRG's	4
Rostpartikel	10		
Rückschlagventile	15		
		U	
S		Ultraschall-Reinigungsgerät	16
Sauerstoff	7; 9	Urethan	11
Sauerstoffkompatibel	11		
Sauerstoffflaschen	7	V	
Sauerstoffrein	11	Ventile	18
Sauerstoffverträglich	11	Ventilkappen	10
Sauerstoffverträglichkeit	11	Verträglichkeit	11
Schlauch	18	Verunreinigung	11
Schmiermittel	11	Verunreinigungen	10; 12
Schutzkappen	11; 17; 18	Viton	11
Service Aufkleber	17	Vollgesichtsmasken	18
Service Record	17		
Sonnencreme	10	W	
Speicherbank	15	Wasserdampf	8
Spezialmischungen	6		
Spülung des Systems	10	Z	
Standardmischungen	6	Zündquelle	9
Staub	10	Zündquellen	10
Stickstoff	7	zweite Stufen	18
Stickstoffnarkose	4		
T			
Tabelle	6		