

This cylinder may contain Air, Nitrox, Heliox, Trimix or Helium

This cylinder may contain Air, Nitrox, Heliox, Trimix or Helium

# VOODOO GAS

If you don't know what gas is in the cylinder don't breath it - Or prepare to meet the dark lord

If you don't know what gas is in the cylinder don't breath it - Or prepare to meet the dark lord

## Nitrox 2.0?

Text: Frank Lemke, Bilder Krinner Drucklufttechnik GmbH

Im Zusammenhang mit dem Tauchen gibt es einen Aspekt, der besonders faszinierend ist: Egal, wie weit man die eigene Ausbildung vorantreibt und für welche Bereiche des Tauchens (Technik, Biologie, Medizin, Geschichte, Ausrüstung etc.) man sich interessiert, man wird mit Sicherheit immer wieder von neuen Erkenntnissen, Entwicklungen und Entdeckungen überrascht, die einem selbst neue Denkansätze vermitteln und das Interesse, wecken, sich mit der betreffenden Materie zu beschäftigen.

Natürlich hat es seit der Einführung der ersten halbwegs zuverlässigen Tauchausrüstungen auch zahlreiche Skurrilitäten und Flops gegeben, aber gerade das ist ja so charakteristisch für unseren Sport: Da der Mensch beim Tauchen eine kaum kalkulierbare Größe darstellt, gibt es (vielleicht mit Ausnahme der Raumfahrt) wohl kaum eine andere menschliche

Aktivität, die so sehr auf Versuch und Irrtum basiert (man denke nur einmal an die Entwicklung der Deko-Tabellen...).

Um so wichtiger ist es, niemals zu glauben, dass es nichts mehr zu entdecken gibt.

Vor diesem Hintergrund möchten wir mit diesem Artikel die Aufmerksamkeit auf eine zentrale Frage des Tauchens lenken: „Kann man Atemgas für Taucher noch besser machen?“

### Allzweckmittel Sauerstoff

Basiswissen aus der Tauchausbildung: Sauerstoff ist für Taucher zunächst einmal gut, Stickstoff eher nicht so. Was also tun, um gesünder zu tauchen? Richtig: Mehr Sauerstoff in's Atemgas, um den Stickstoffanteil zu reduzieren. Et voilà: Wir tauchen mit „Nitrox“.

Auf die druckbedingten Anwendungsgrenzen dieses Gasgemischs wollen wir an dieser Stelle nicht näher eingehen. Halten wir lieber fest, dass sich Nitrox seit seiner Einführung zu einem De Facto-Standard im Sporttauchen entwickelt hat, da es wahlweise gesündere Tauchgänge bzw. längere Nullzeiten ermöglicht. Die breite Akzeptanz geht sogar so weit, dass manche Taucher die gute alte Pressluft inzwischen nur noch als „Diesel“ bezeichnen.

Aber auf welchem Weg kommt denn der Wunderstoff nun in die Taucherflasche?

Ungeachtet der Tatsache, dass die geltenden Normen uns Tauchern die Anwendung von Nitrox in Standardgemischen bis 40 % O<sub>2</sub>-Anteil „künstlich“ erschweren („alle Atemgasgemische mit mehr als 21 % Sauerstoffanteil sind wie reiner Sauerstoff zu behandeln“ = Vorschrift der sauerstofftauglichen Ausrüstung), gibt es grundsätzlich drei Methoden, um ein Nitrox-Gemisch herzustellen:

1. Die einfachste Lösung: Wir kaufen die fertige Mischung beim Gashändler unseres Vertrauens („Pre-Mix“). „Nee is' klar - für jede Mischung eine Speicherflasche? Und was kostet das?“ Genau! Die einfachste Lösung muss ja nicht immer die praktikabelste sein. Wir mischen selbst. Ob nun im Partialdruckverfahren oder mit einer Konstantfluss-Mischanlage - diese Methode ist wohl bei Vereinen, Privatleuten und in so mancher Tauchbasis in Europa am weitesten verbreitet. Sauerstoff wird dabei entweder in eine dafür geeignete Taucherflasche gefüllt und mit Pressluft zum gewünschten Nitrox-Gemisch „verdünnt“, oder der Sauerstoff wird

(bis zu einem Anteil von 40 %) in einer Mischanlage direkt mit der Ansaugluft des Kompressors verwirbelt, sodass in der Flasche bereits das fertige Nitrox ankommt.

2. Wir stellen Nitrox mit einer so genannten „Membrananlage“ her. Diese Methode ist vor allem bei Tauchbasen mit hohem Sporttaucheranteil und in Regionen mit unzureichender Gaslogistik die erste Wahl. Bei dieser Methode wird der in der Umgebungsluft enthaltene Sauerstoff trickreich auf molekularer Ebene abgesondert und angereichert. Von dieser Methode profitieren vor allem die Sporttaucher, weil sich mit dieser Technologie in der Regel nur Nitrox-Gemische mit einem Sauerstoffanteil von bis zu 40 % herstellen lassen - also keine Deko-Gase für die Tekkis.

Eben diese dritte Methode wollen wir uns nun einmal genauer ansehen.

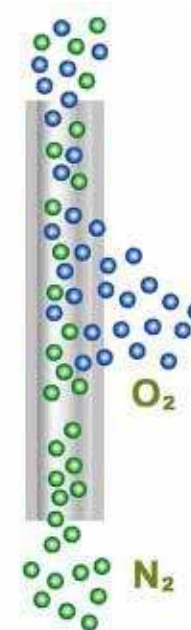
### Nitrox-Herstellung im Membranverfahren - „Wie geht das?“

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Membrananlage benötigt man zunächst einmal einen gewissen Mindest-Betriebsdruck, der meistens im Bereich von 10 bar liegt. Hierzu wird ein so genannter „Schraubekompressor“ eingesetzt, bei dem die angesaugte Luft durch ineinandergreifende Schraubenelemente verdichtet wird.

Der Vorteil: Diese Kompressorart kommt ohne Ventile und Kolben aus und erzielt auch bei kompakter Bauweise eine hohe Durchflussrate und ist für Dauerbetrieb geeignet.

Der Nachteil: Die Verdichtung klappt nur im Niederdruckbereich, aber mehr benötigt die Membrananlage ja auch nicht.

Im zweiten Schritt wird die verdichtete Luft



getrocknet, gereinigt und gefiltert, um hochreine Luft für das Membrantrennverfahren

zu erhalten. Nun wird diese mithilfe einer sog. „Hohlfasermembran“ in Sauerstoff und Stickstoff getrennt, da der Sauerstoff aufgrund des vergleichsweise hohen Diffusionsgrads schneller durch die Membran wandert, während der Stickstoff aufgrund seiner Größe eher langsam durch die Membran gelangt.

Wie stark der Sauerstoff auf diese Weise konzentriert wird, hängt von der Durchströmgeschwindigkeit ab, weshalb auf der Stickstoffseite der Membran ein Ventil vorhanden ist, mit dem sich der Luftfluss regeln lässt. Auch der Zustand der Membran ist von Bedeutung, denn diese „verstopft“ im Laufe der Zeit, so dass die Sauerstoffkonzentration mit längerer Standzeit abnimmt. Wer sich also schon einmal darüber gewundert hat, warum auf der Tauchbasis im Urlaub plötzlich nur

noch ein Nitrox 28 ausgeschenkt wurde... es könnte am Zustand der Membran und an der schlechten Druckluftaufbereitung liegen. Hier wurden bereits einige pfiffige Ideen zur Aufbereitung für das Membranverfahren entwickelt – siehe Kasten mit Kontaktinformationen.

Die mit Sauerstoff angereicherte Luft wird nun zu einem Hochdruckkompressor geleitet und auf 200 bar verdichtet. Der überschüssige Stickstoff wird in die Umgebung abgegeben.

### So weit, so gut. Aber...

Leider hat gerade diese Methode der Nitrox-Herstellung einen Haken, und der heißt „CO<sub>2</sub>“.

Nun werden einige mit Sicherheit verwundert fragen:

„Wieso, moment... Unsere Atemluft enthält doch 21 % Sauerstoff, 78 % Stickstoff und 1 % ‚Sonstiges‘. Wieso nun plötzlich CO<sub>2</sub>?“

Zunächst einmal: Richtig. Aber...

Ja, unsere Atemluft enthält unter „Sonstiges“ nicht ganz 1 % Edelgase und außerdem ca. 0,03 % CO<sub>2</sub> (wobei dieser Wert nach jüngsten Messungen der US-Wetterbehörde (Juli

2015) weltweit bereits im Durchschnitt bei 0,04 % liegt und beständig steigt. Sichtwort „Fossile Brennstoffe“)

Was bedeutet dieser Wert nun in der Praxis?

Die Tabelle unten enthält eine kurze Übersicht, bei der die Werte allerdings nicht in Prozent, sondern in Teilen pro Million

(Parts per Million, ppm) angegeben werden. 1 ppm entspricht auch 1 ml pro Kubikmeter (siehe Tabelle).

### CO<sub>2</sub>-Anteil beim Tauchen

Hierzulande ist die Qualität der Atemluft für das Tauchen in der DIN-Norm EN 12021 geregelt. Diese definiert die zulässigen Grenzwerte für Wassergehalt, Ölgehalt, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid.

Für CO<sub>2</sub> liegt der zulässige Grenzwert derzeit bei 500 ppm. Und genau da wird's knifflig. Wir erinnern uns: Der weltweite CO<sub>2</sub>-Durchschnittswert liegt derzeit bei 400 ppm. Verwenden wir also einen herkömmlichen Kompressor und die Partialdruckmethode, liegen wir (im Durchschnitt) noch gerade so unter dem Grenzwert. Steht unser Kompressor aber in einem Stadtgebiet, sieht es aufgrund des höheren CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Umgebungsluft schon ganz anders aus.

Bereich	CO <sub>2</sub> -Konzentration
Unsere Umgebungsluft (aktuell)	0,04 % = 400 ppm
Stadtluft	700 ppm
Behaglichkeitsgrenze mit einsetzendem Unwohlsein (Studie nach Pettenkofer)	1000 ppm
Grenzwert für Wohnräume in Deutschland	1500 ppm
Ungelüftetes Schlafzimmer oder voll besetztes Klassenzimmer (gleichzeitig Maximalwert für Arbeitsplätze)	5000 ppm
Beschleunigter Herzschlag, Atemnot	ab ca. 5.000 ppm
Unsere Ausatemluft	ca. 50.000 ppm
Lähmungserscheinungen	90.000 ppm
Verlöschen einer Kerze	100.000 ppm
Tod bei kurzzeitigem Einatmen	200.000 ppm

Dummerweise weisen nun aber Sauerstoff- und Kohlendioxid-Moleküle eine ganz ähnliche Größe auf. Vielleicht fragen jetzt wieder einige verwundert:

„Halt mal, soll das etwa heißen, dass bei einer Nitrox-Membrananlage nicht nur der Sauerstoff angereichert wird...?“

Bingo! Genau das passiert bei einer „normalen“ Membrananlage blöderweise, und zwar unter Umständen bis auf das Dreifache!

Ein theoretisches Rechenbeispiel: Eine Membrananlage in einem städtischen Ballungsgebiet, CO<sub>2</sub>-Konzentration bei 700 ppm = CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Tauchflasche u. U. über 2.000 ppm, also mehr als das Vierfache des zulässigen Grenzwerts!

Wenn man bedenkt, welches Aufhebens (zu Recht!) um Feuchtigkeit und Kohlenmonoxid in der Tauchflasche gemacht wird, wieso hört man kaum etwas über CO<sub>2</sub>?

Nun, der Fairness halber muss natürlich erwähnt werden, dass jeder anständige Kompressor und auch die modernen Membrananlagen über ausgeklügelte Filterpatronen verfügen, in denen CO<sub>2</sub> durch Trockenmittel gebunden wird. Von daher wird der im obigen Rechenbeispiel ermittelte Wert mit Sicherheit nicht erreicht.

Wirklich? Klar, jeder vernünftige Kompressorbetreiber führt regelmäßig mit geeigneter Ausrüstung Messungen zur Atemluftqualität durch. Aber wie sieht das im kommerziellen Bereich, im Ausland und bei finanziellem Druck durch hohe Betriebskosten aus? Dem Autor sind Fälle bekannt, in denen Basisbetreiber beim Anblick des mitgebrachten Luft-Testkoffers verlegen meinten, ob man die Messung nicht auf den nächsten Tag verschieben könne... Da wird die vom Hersteller vorgeschriebene Filterstandzeit schon gerne mal als „gut gemeinter Ratschlag“ ausgelegt.

Außerdem: Die von den Kompressorherstellern angegebenen Standzeiten der Filterpatronen basieren auf Durchschnittswerten. Ob da der weltweite CO<sub>2</sub>-Anstieg schon berücksichtigt ist?

Kontrollfrage: Wer hat schon einmal ermittelt, nach wie vielen Betriebsstunden die CO<sub>2</sub>-Filterwirkung der Kompressor-Filterpatrone nachlässt?

Und überhaupt - wäre es nicht prima, wenn man den CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atemluft gänzlich eliminieren könnte, anstatt sich auf die Filterpatronen des Kompressors zu verlassen?

WETNOTES ist auf der „boot 2015“ genau auf diese Lösung aufmerksam geworden.

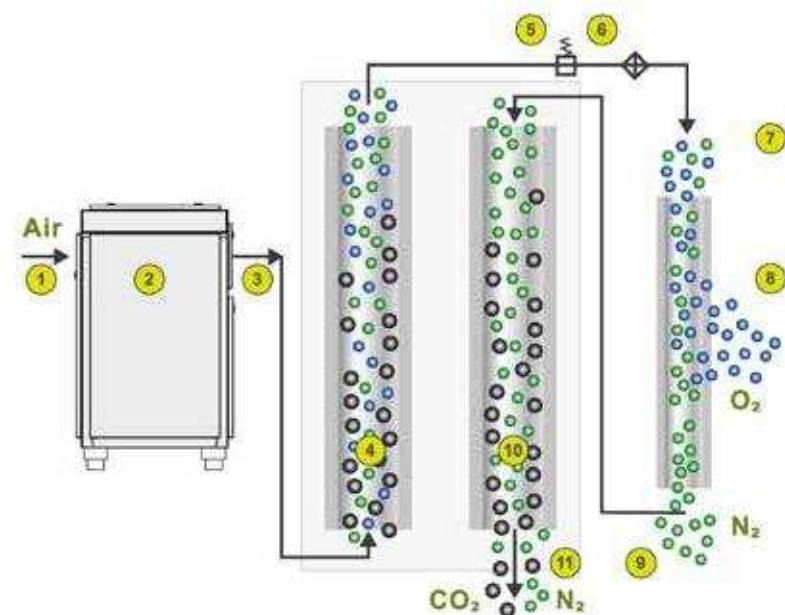
Die Firma Krinner Drucklufttechnik aus Hohenbrunn hat ihn nämlich entwickelt, den „CO<sub>2</sub>-Abscheider“ für die Nitrox-Herstellung. Hierbei handelt es sich um ein Modul, das unmittelbar nach der Druckluftaufbereitung im Niederdruckbereich (10 bar) und vor der Membrane eingesetzt wird, um den CO<sub>2</sub>-Anteil erheblich zu reduzieren. Die Anlage kann bis zu einem CO<sub>2</sub>-Anteil von 2000 ppm in der Eingangsluft eingesetzt werden, und vermag diesen deutlich unter 500 ppm zu verringern. Bei einer kurzen Präsentation auf der „boot“ wurde der CO<sub>2</sub>-Anteil sogar auf 18 ppm (!) gesenkt.

Die Funktionsweise ist so einfach, wie genial: Die im Schraubenkompressor verdichtete Luft (1 und 2) wird zunächst getrocknet und gefiltert, wobei unter anderem Ölreste entfernt werden (3).

So weit nichts neues. Nun wird das CO<sub>2</sub> mithilfe vom Trockenmittel in einer von zwei Kartuschen absorbiert (4), wobei die Füllmenge an Trockenmittel für einen definierten Zeitraum ausreicht.

Anschließend wird die gereinigte Luft entspannt und erhitzt (5 und 6), danach wird in der Membran der Sauerstoff abgetrennt und zum Hochdruckkompressor geleitet (7 und 8).

Mit dem überschüssigen Stickstoff (9) wird nun jedoch eine der beiden Trockenmittelkartuschen „gespült“, d. h. das CO<sub>2</sub> wird durch den entspannten und erhitzten Stickstoff aus dem System transportiert (10 und 11).



Nach dieser Regeneration steht das Trockenmittel wieder zur Verfügung, um CO<sub>2</sub> zu binden. Eine automatische, abwechselnde Reinigung der CO<sub>2</sub>-Filter ohne Zusatz- und Energieaufwand sozusagen. Lediglich der integrierte Partikelfilter wird nach 500 Std gewechselt.

Anscheinend hat August Krinner, der Inhaber des Unternehmens, mit dieser Lösung genau ins Schwarze getroffen, denn zu seiner großen Überraschung hat sich die Wirksamkeit seiner Erfindung nicht nur bei vielen Tauchbasen, sondern auch in Militärkreisen herumgesprochen. Eine ganze Reihe dieser Anlagen sind bereits bestellt und befinden sich derzeit im Bau, eine wurde kürzlich in Hyères, Frankreich von einer Tauchbasis in Betrieb genommen, und die Royal Danish Navy Diving School in Kopenhagen hat seit Juni 2015 auch auf CO<sub>2</sub>-„freies“ NITROX von KrinnAir umgestellt.

Aus unserer Sicht ist dies ein hervorragendes Beispiel dafür, dass die Innovation im Bereich des Tauchens noch lange nicht zu Ende ist. Über den kommerziellen Erfolg

dieser Erfindung wird der Markt entscheiden - im Sinne des gesunden Tauchens wünschen wir August Krinner und seinem Team viel Erfolg!

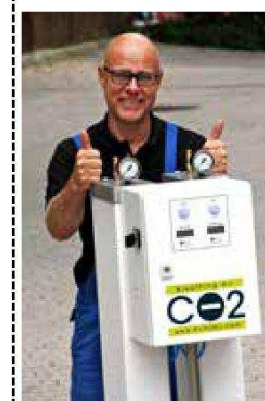
Kontaktadresse Friedrich-Bergius-Str. 15c  
D-85662 Hohenbrunn bei München  
Tel. +49 (0) 8102-9919920  
www.krinnair.com  
E-Mail: info@nitrox-kompressor.de



Technische Daten			
Elektroanschluss Spannung / Hz	230 V / 50	CO2 Eingang max. < 2000 ppm	
Installierte Gesamtleistung kW	1,2	CO2 Ausgang max. < 500 ppm	
Leistungsbedarf kW	0,1 - 0,5	Abmessungen:	
Schalldruckpegel dB(A)	68	Tiefe/Breite/Höhe	800 / 650 / 1450 mm
Grenzwerte Eingang:		Gewicht:	netto 170 kg
Volumenstrom max. Liter/min	2500	Druckluft Eingang	Ermeto 18L
Volumenstrom NITROX max. Liter/min	600	Druckluft Ausgang	Ermeto 18L
NITROX %	28 - 40	Stickstoff Eingang	Ermeto 18L
Betriebsüberdruck bar	7,0 – 10,0	Stickstoff Ausgang	Ermeto 18L
Druckluftqualität ISO 8573-1	1.4.1.	Steuerluft	8 mm
Umgebungstemperatur °C	+5 bis +40		



Die Firma Krinner Drucklufttechnik wurde im Jahr 1995



als Technikunternehmen mit den Schwerpunkten Kompressoren für Industrie und Handwerk in Hohenbrunn bei München gegründet. Durch die Erfahrung von August Krinner, dem Unternehmensgründer und Geschäftsführer, zählen mittelständische Unternehmen sowie große internationale Konzerne zum Kundenkreis des Unternehmens.

Die Krinner Drucklufttechnik GmbH plant und realisiert individuelle Lösungen auf Kundenwunsch und entwickelt diese für den Kunden weiter.