

Arbeitsmittel LUFT CO₂ bei NITROX

Wie hält man den Grenzwert von 500 ppm in der Atemluft?

Unsere Atmosphäre enthält derzeit ca. 0,04 Vol% (etwa 400 ppm = parts per million) Kohlendioxid CO₂. Obwohl man schon lange weiß, dass es wegen seiner Eigenschaft als Treibhausgas einen gewaltigen Einfluss auf das Weltklima hat, wurde der enorme Anstieg um ca. 33 % in den letzten Jahrzehnten nicht verhindert. Bisher wenig bekannt war, dass bei der NITROX-Erzeugung über Membrantechnik die Normgrenzen an Kohlendioxid in den Atemgasen überschritten werden. Methoden, zumindest in diesem Bereich Lösungen zu finden, beschreibt Werner Scheyer in seinem DIVEMASTER-Beitrag.

Grafikern: W.Scheyer/MTI, Foto: S.Nagelschmid/ZZA



Vorgabe der Betriebs-sicherheitsverordnung

Die Betriebs-sicherheitsverordnung ist die deutsche Umsetzung der Arbeitsmittelrichtlinie 2009/104/EG, in der die Bereitstellung und Sicherheit von Arbeitsmitteln beschrieben wird.

Da die vom Kompressor kommende Luft für Taucher ein Arbeitsmittel ist, muss sie stetig überwacht und die gemessenen Werte müssen protokolliert werden. Vor diesem Hintergrund ist erklärlich, dass auf der BOOT 2016 vier Anbieter solche Überwachungssysteme anboten.

Überwacht werden neben der Feuchtigkeit, die für ein Vereisen des Atemreglers bei Wassertemperaturen unter 10 °C verantwortlich ist die Gehalte von CO₂, CO, O₂ und Öl.

Die aktuelle Norm für die vom Kompressor kommende Atemluft DIN EN 12021 fordert einen Grenzwert von 500 ppm für CO₂.

Vorgabe und Wirklichkeit

Bei der Inbetriebnahme einer NITROX-Anlage mit Membrane hat August Krinner (Fa. Krinner Drucklufttechnik GmbH) einen zunächst unerklärlich hohen CO₂ - Gehalt festgestellt. Messungen ergaben, dass eine Membrane nicht nur, wie gewünscht, den Sauerstoff im Atemgas anreichert, sondern auch den CO₂ - Gehalt. Die

Anreicherung ist erheblich und abhängig vom eingestellten Sauerstoffgehalt. Sie beträgt bei 32er Gemisch das Doppelte, bei 40er Gemisch sogar fast das Dreifache des ursprünglich angesaugten CO₂ - Gehaltes. (Abb.1) Da dieses Gas nachträglich auf 200 bar komprimiert und in der Tiefe unter erhöhtem Druck veratmet wird, können sich Werte ergeben, die höher sind, als die maximale Arbeitsplatzkonzentration von 5000 ppm (parts per million).

Trennung über Membrane

NITROXmembranen bestehen aus Tausenden sehr feiner, halbdurchlässiger Kunststoffröhrchen, deren Porenweite in der Wandung so groß ist, dass

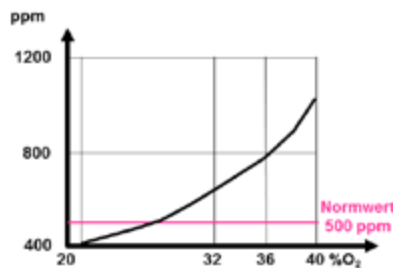


Abb. 1: CO₂-Anreicherung in der Membrane. Nicht nur der Sauerstoff reichert sich in der Membrane an, sondern auch das CO₂.

kleinere Gasmoleküle leichter passieren können als größere (Abb.2,3.) Die haarfeinen Röhrchen werden in einem Alurohr gebündelt (Abb.4). Über

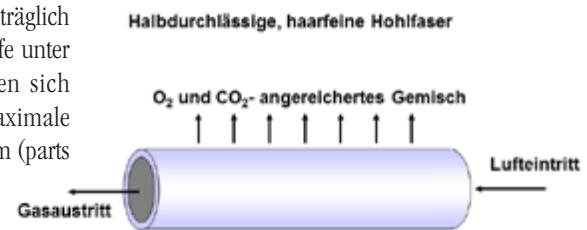


Abb. 2: NITROXMembran. Da nicht nur der Sauerstoff, sondern auch das CO₂ die Membranwand leichter passiert, steigt der Anteil dieses Gases im NITROX bei 40er Gemisch auf den fast dreifachen Wert der Ansaugluft!

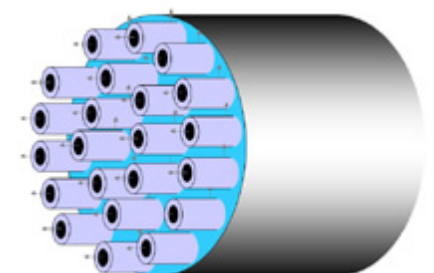


Abb. 3: NITROXMembran. Haarfeine, halbdurchlässige Hohlfasern im Gehäuse eingebaut.



Abb.4

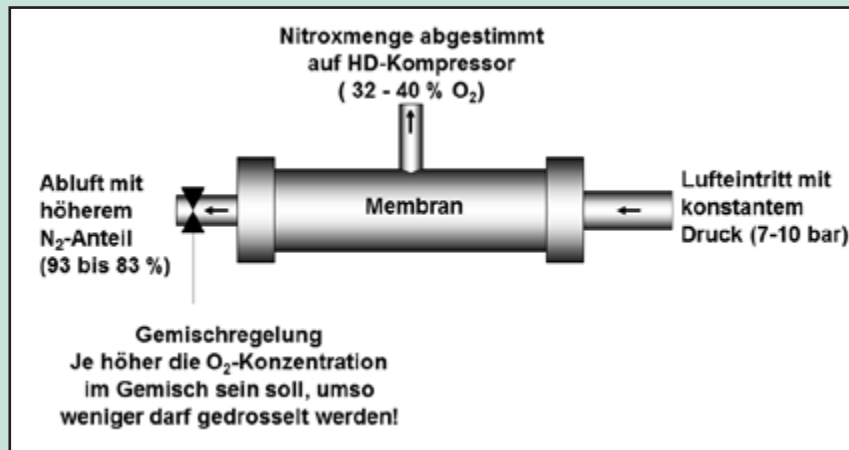


Abb.5

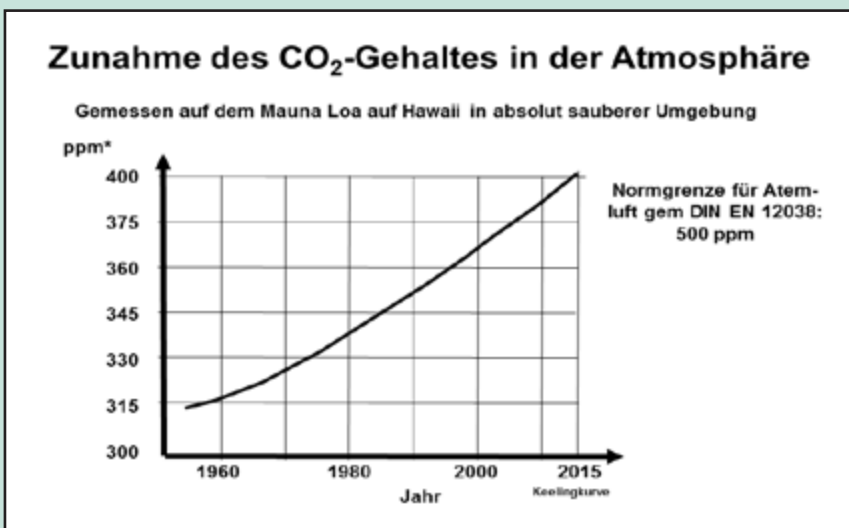


Abb.6: Durch den Verkehr und durch Publikum kann der Wert stark ansteigen, beispielsweise wurden auf der BOOT-Messe in Düsseldorf in der Halle bis zu 2000 ppm gemessen.

einen Schraubenkompressor wird ein Vordruck von 7 bis 10 bar erzeugt, je nach gewünschtem Durchsatz, der abhängig ist von der Luftlieferleistung des nachfolgenden Hochdruckkompressors. Die Sauerstoffkonzentration vom NITROX wird durch Drosselung am Ende der Membrane eingestellt, je höher sie sein soll, umso weniger darf gedrosselt werden (Abb.5). Maximal lässt sich ein Sauerstoffgehalt von etwa 40% erreichen. Bei stärkerer Drosselung „quetschen“ sich auch vermehrt N₂-Moleküle durch die Poren, der Sauerstoffgehalt wird niedriger. Vollkommen ohne Drosselung würde es allerdings keine Sauerstoffanreicherung geben, das Gas würde glatt durchströmen. Das sich um die Röhrchen sammelnde NITROX wird abfangen und dem Hochdruckkompressor zugeführt.

Kohlenstoffdioxid (CO₂), heute meist kurz als Kohlendioxid (fälschlich übersetzt aus dem Englischen *carbondioxid*) ist ein Gas, welches heute in der Atmosphäre mit etwa 400 ppm und in unserer Ausatemluft an der Oberfläche mit 4% enthalten ist. Im Laufe der letzten 150 Jahre ist es in der Atmosphäre stark angestiegen. Eindrucksvoll zeigt das die Keeling-Kurve. Auf dem Mauna Loa auf Hawaii wird von Charles David Keeling seit 1958 der CO₂-Gehalt in 3400 Meter Höhe auf der windzugewandten Seite des Berges, tausende Kilometer von den nächsten menschlichen Beeinflussungen gemessen (Abb.6). Sie zeigt einen stark ansteigenden Gehalt dieses Treibhausgases, hervorgerufen durch die Verbrennung fossiler Stoffe in ungeheuren Ausmaßen. Man schätzt, dass der Mensch heute pro Jahr soviel Kohlenstoff freisetzt, wie die Erde jeweils in 300 000 Jahren gespeichert hat... und das in jedem Jahr. Lobbyisten, die heute noch den menschlichen Einfluss auf den Klimawandel bestreiten, haben hier einen echten Erklärungsnotstand. Die Kurve ist nicht so glatt wie gezeichnet, sie zeigt jährlich wiederkehrende Schwankungen. Im Frühjahr, wenn von der Vegetation auf der Nordhalbkugel mehr CO₂ gebunden wird, fällt sie etwas, um im Winter wieder zu steigen, der starke Aufwärtstrend ist aber eindrucksvoll. Die aktuelle Norm für die vom Kompressor kommende Atemluft DIN EN 12021 fordert einen Grenzwert von 500 ppm, in der alten DIN 3188 waren es noch 800 ppm. In den wenigsten Fällen ist die Luft so rein wie in Hawaii, beispielsweise wurden in der Halle auf der BOOT am Abend durch den starken Publikumsverkehr bis zu 2000 ppm gemessen. Selbst ohne die Anreicherung in der Membrane liegen diese Werte in der Atemluft vom Kompressor dann außerhalb jeder Normgrenze. Um die Normgrenze für CO₂ einhalten zu können, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um das Gas zu entfernen oder wenigstens seinen Anteil zu minimieren.

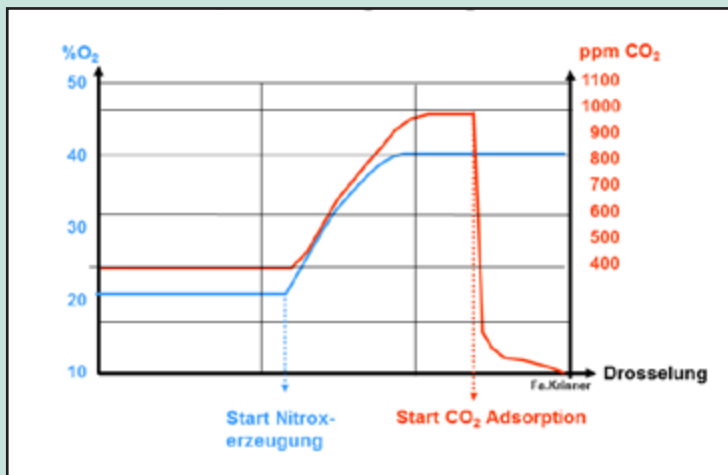


Abb.7: Zusammenhang zwischen O_2 und CO_2 - Konzentration.

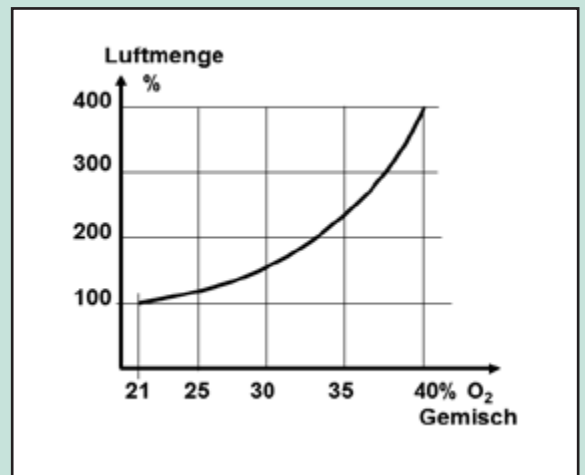


Abb 8: Benötigte Luftmenge beim Ansaugen.

• CO_2 -Wäscher

Um die Normgrenzen einzuhalten, werden sogenannte CO_2 - Wäscher eingesetzt (z.B. AERO-GUARD, Fa. BAUER Abb.9)

Die angesaugte Luft wird entweder ganz oder teilweise über eine Kalkpatrone geleitet, die das CO_2 absorbiert, ähnlich der Kalkpatrone bei Kreislauf-Tauchgeräten. Diese Adsorption funktioniert nur, wenn Feuchtigkeit dazu kommt. Beim Kreislaufgerät ist es die Feuchtigkeit der Ausatemluft, beim CO_2 - Wäscher wird im unteren Teil der Einheit Wasser eingefüllt. Die Standzeit der Kalkpatrone ist natürlich begrenzt, je nach Durchsatz und Eingangskonzentration vom CO_2 beträgt sie zwischen 50 und 150 Betriebsstunden.

• KrinnAir – NITROX (Fa. Krinner)

Bei dieser neuartigen, weltweit zum Patent angemeldeten Anlage wird wie zuvor über einen Schraubenkompressor der Vordruck von etwa 10 bar erzeugt und die Druckluft danach gereinigt. Diese Reinigung ist erforderlich, weil sonst die Wirksamkeit der Membrane durch Feuchtigkeit und Ölreste schnell nachlässt. Die Druckluft mit dem Kohlendioxidgehalt wird danach über einen, mit Molekularsieb gefüllten Doppelfilter geleitet, in dem das Kohlendioxid adsorbiert wird. (Abb.7) Es ist nur jeweils einer dieser beiden Filter aktiv, der zweite Filter dient der Regeneration des Filtermaterials mit dem erhitzten, stickstoffhaltigen Abgas der Membran, welches über einen Schalldämpfer in die Umgebung abgeblasen wird. Alle etwa 10 Minuten wird umgeschaltet, der Regenerationsfilter wird jetzt zum Adsorptionsfilter. (Abb.10). Die Erhitzung des stickstoffhaltigen Abgases zusammen mit der Druckreduzierung auf Normaldruck

Foto: Bauer

CO₂-Wäscher

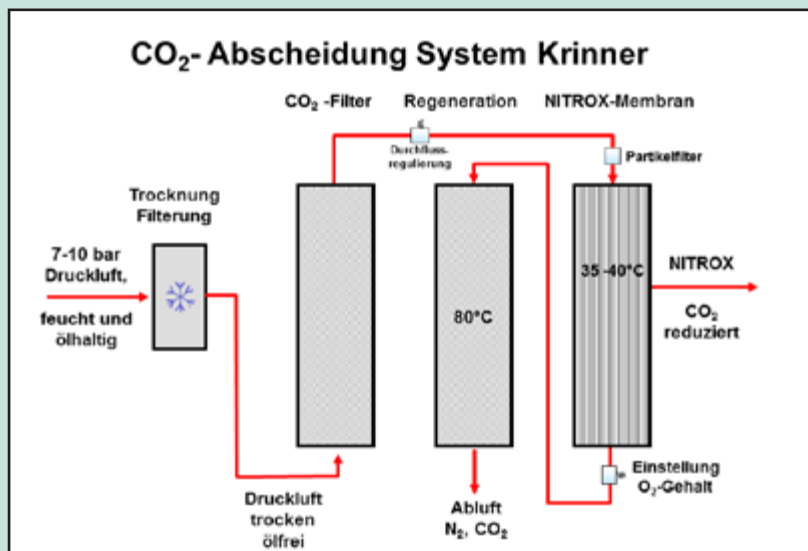
Die EN – Norm 12021 fordert für CO_2 eine Grenze von 500 ml/m^3 ! Im Normalfall genügt die Überwachung der angesaugten Luft, da deren Anteil ca. 400 ml/m^3 beträgt. Soll der CO_2 – Gehalt der angesaugten Luft weiter gesenkt werden, kann eine Kalkpatrone (Fa. BAUER) vorgeschaltet werden, durch die ein Teil der angesaugten Luft geleitet wird und die das CO_2 absorbiert.

Abb.9: Der AERO-GUARD, Fa. BAUER (o). Beim CO_2 -Wäscher absorbiert eine vorgeschaltete Kalkpatrone das CO_2 (u).



gewährleistet eine gute Regeneration des Molekularsiebs. Der CO₂-Gehalt kann so bis auf fast Null gesenkt werden. Da das Molekularsieb immer wieder regeneriert wird, erreicht man eine hohe Standzeit. Begrenzt ist lediglich die Standzeit der Partikelfilter auf 500 Stunden. Diese sind erforderlich, um eventuell entstehenden Abrieb aus dem Molekularsieb vor dem Eintritt des Gases in die Membrane auszufiltern. Danach gelangt die Luft in die NITROXmembrane, in der die Sauerstoffanreicherung erfolgt.

Abb.10: Kriener Druckluftanlage (o). Die CO₂-Abscheidung erfolgt über ein Molekularsieb, die Patronen werden alle 10 Minuten von Abscheidung auf Regeneration oder umgekehrt umgeschaltet (u).



Anzeige

DIVEMASTER

Downloadcenter

Besuchen Sie den DIVEMASTER Shop und unser Downloadcenter. Das Magazin wurde als taucherische Wissenbibliothek zum Sammeln konzipiert und wir bieten zurückliegende Fachartikel auch einzeln als PDF zum Download an.



Bücher & eBooks



Hefte & Angebote

Unsere Auswahl für PDF-Downloads wird ständig erweitert und aktualisiert. Hier finden Sie eine Übersicht von DIVEMASTER-Artikeln die Sie gegen geringe Gebühr downloaden können. Folgende Download-Kategorien sind bereits verfügbar:



Produkttests
UW-Fotografie und Medien
Tauchmedizin

www.divemaster.de