

SCUBA

Courses & Publications

Nitrox für Sporttaucher
Scuba Publications – Daniela Goldstein
Jan Oldenhuizing

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwendung ausserhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages nicht zulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenzeichen, etc. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Inhaltsverzeichnis

Vermeidung von medizinischen Problemen.....	1
Überlegungen zur Nitroxausrüstung	12
Index	23

Einleitung



Dieses Buch dient als Unterstützung für einen Nitroxkurs. Es bereitet dich zur Teilnahme an einer Nitrox Einführung durch einen in diesem Bereich zertifizierten Instruktor vor. Aufgrund der Vorteile die Nitrox bietet, kannst du deine Tauchzeit verlängern.

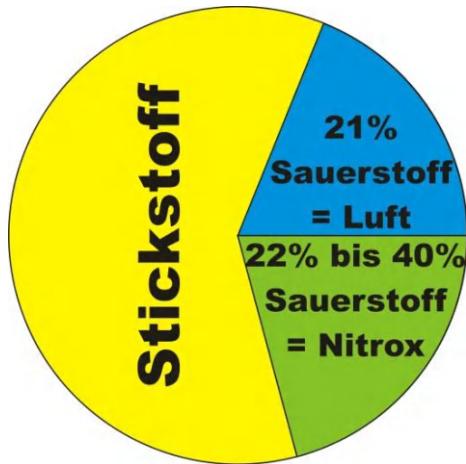
Am Beginn eines jeden Textabschnittes findest du ein Lernziel, das den erforderlichen Wissensstand angibt.

Vermeidung von medizinischen Problemen

Laut Statistiken ist der Anteil von Tauchern die Dekompressionskrankheit oder ein anderes tauchspezifisches medizinisches Problem bekommen unabhängig davon, ob Nitrox oder Luft verwendet wurde. In beiden Fällen ist die Zahl der Zwischenfälle erstaunlich niedrig. Trotzdem muss ein Taucher bei der Verwendung von Nitrox zusätzliche Vorsichtsmassnahmen treffen. Bei einem veränderten Prozentanteil von Stickstoff und Sauerstoff müssen angepasste Regeln eingehalten werden, um die Belastung durch diese Gase in sicheren Grenzen zu halten. Es gelten andere Regeln, als du sie in Tauchkursen gelernt hast. In diesem Kapitel behandeln wir die notwendigen Berechnungen, um uns an die unterschiedlichen Gasgemische anpassen zu können.



Nitrox



Nenne die Bedeutung von Nitrox und angereicher Luft.

Nitrox steht für jede Mischung von Stickstoff (nitr) und Sauerstoff (ox). Genaugenommen schliesst das auch Luft mit ein, da es ein Gemisch aus circa 21% Sauerstoff, 78% Stickstoff sowie 1% Restgasen ist. Zur Vereinfachung werden diese Restgase oft zum Stickstoff addiert und somit entsteht der häufig verwendete Prozentanteil von 79% Stickstoff in der Luft. Wenn Taucher in

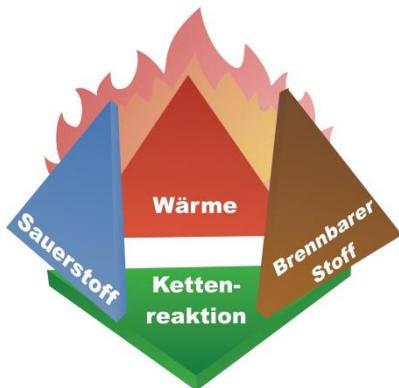
einer Unterhaltung von Nitrox sprechen, dann beziehen sie sich normalerweise auf festgelegte Gemische von Nitrox. Sie sprechen von einem höheren Sauerstoffprozentanteil als in der Luft. Für das Sporttauchen ist das ein Anteil von bis zu 40%. Ein besserer Ausdruck wäre „sauerstoffangereicherte Luft“. Wie auch immer, der Ausdruck Nitrox ist üblich und dass Verwirrung entsteht, ist unwahrscheinlich. Wenn du Nitrox anstatt „sauerstoffangereicherte Luft“ oder „angereichertes Nitrox“ sagst, wird jeder Taucher wissen, was du meinst.

Bei den meisten Sporttauchgängen wird dein Luftvorrat längst beendet sein, bevor du die Nullzeitgrenze erreichst. Für einige Tauchgänge würdest du dir wünschen sie wären länger. Das ist es, was Nitrox macht. Der geringere Stickstoffanteil im Atemgas verlängert die Nullzeit. Abhängig von dem Gemisch und deiner Tiefe, könnte die erlaubte Grundzeit doppelt so lange als bei Luft sein. Am meisten profitierst du von Nitrox bei mehreren Tauchgängen am Tag. Auch einzelne Tauchgänge auf eine Tiefe von 25 bis 30 Meter, bei welchem du nicht der Bodenkontur langsam auf geringere Tiefen folgen kannst, sind am besten mit Nitrox zu machen.

Der Vorteil einer längeren Nullzeit hat seinen Preis. Um den Stickstoffanteil in dem Atemgas zu senken, wird der Sauerstoffanteil erhöht. Es ist weniger der reduzierte Stickstoffanteil, als der erhöhte Sauerstoffanteil, der eine zusätzliche Ausbildung erfordert. Sauerstoff kann unter Druck physiologische Probleme hervorrufen und zusätzlicher Sauerstoff kann auch das Risiko einer Oxidation vergrössern. Eine schnelle Oxidation ist bekannt als Feuer oder Explosion, während eine langsame Oxidation sich auf Korrosion und andere Prozesse von Verschleiss und Materialverfall bezieht. Alle Risiken in Bezug auf Nitrox sind einfach zu vermeiden oder zu kontrollieren, erfordern aber, dass der Taucher weiß was zu tun ist. Das benötigte Wissen erhältst du in einem Nitroxkurs. Ein Schlüsselement ist hierbei der Partialdruck. Die unterschiedlichen Sauerstoffprozentanteile im Atemgas bieten keine absoluten Angaben für mögliche Risiken. Das Risiko mit Sauerstoff hängt nicht nur von dem Prozentanteil, sondern auch vom Druck ab. Die Multiplikation von Prozentanteil und Druck ergibt einen absoluten Wert, bekannt als Partialdruck.

Das Gesetz von Dalton beschäftigt sich mit Partialdrücken. Nach diesem Gesetz ist die Summe der individuellen Gase in einem Gemisch gleich dem Gesamtdruck des Gemisches. Oder $p_1 + p_2 + p_3 \dots = P_{\text{total}}$. Alle Gase in einem Gemisch verhalten sich so, als wenn die anderen Gase nicht anwesend wären. Sie üben alle ihren individuellen Druck aus und die Summe dieser individuellen Drücke ergibt den Gesamtdruck. Luft besteht aus 21% Sauerstoff und 79% Stickstoff. Der Gesamtdruck an Land ist 1 bar, welcher sich aus einem Sauerstoffpartialdruck von 0,21 bar und einem Stickstoffpartialdruck von 0,79 bar ergibt. Addieren wir diese beiden Partialdrücke, erhalten wir den atmosphärischen Gesamtdruck von 1 bar.

Erkläre, warum Nitroxtauchen zusätzliche Ausbildung erfordert.



Erkläre das Gesetz von Dalton und berechne Partialdrücke.

Füllen wir eine Flasche auf 200 bar mit Luft, dann verändert sich die Luft nicht. Die Prozentanteile von Sauerstoff und Stickstoff bleiben gleich. Das bedeutet, dass jeder einen gleichbleibenden Prozentanteil des Gesamtdrucks ausmacht. 21% des Gases in der Flasche mit Luft wird Sauerstoff sein. Somit haben wir einen Partialdruck in der Flasche von 21% auf 200 bar ergibt 42 bar. Zur Berechnung schreiben wir Prozentanteile in Dezimalstellen ($21\% = 0,21$), die Berechnung ist also $0,21 \times 200 \text{ bar} = 42 \text{ bar}$. Berechnungen nach dem Gesetz von Dalton sind eher einfach. Der Prozentanteil für ein bekanntes Gemisch bleibt gleich und der Partialdruck ist der Prozentanteil (dezimal) multipliziert mit dem Gesamtdruck.

Vermeidung von medizinischen Problemen

Sprechen wir von Sauerstoff, dann meinen wir normalerweise das relativ stabile O₂ Molekül. Es gibt aber mehrere reaktive Sauerstoffgruppen, die ein normales Abfallprodukt der chemischen Reaktionen unseres Körpers sind.

Unter normalen Umständen werden diese reaktiven Spezies (Gruppen) schnell von unserem effektiven natürlichem Abwehrsystem neutralisiert. Ein erhöhter Anteil von Sauerstoff in unserem Körper führt auch zu einer Zunahme von reaktiven Sauerstoffgruppen und sollten zu viele davon anwesend sein, wird unser natürliches Abwehrsystem davon überhäuft. Wenn das geschieht, erleidet der Taucher Konvulsionen, vergleichbar mit einem epileptischen Anfall. Aufgrund der Konvulsionen kann der Taucher nicht mehr sein Jacket aufblasen oder seine Gewichte abwerfen. Es könnte sogar sein, dass der Taucher seinen Lungensystem nicht mehr im Mund halten kann. Konvulsionen führen deswegen häufig zum Ertrinken.

Erkläre das Risiko eines tödlichen Unfalls aufgrund des Sauerstoffpartialdrucks und wie du es vermeiden kannst.



Aus Untersuchungen (das Bild links zeigt eine Untersuchung von K.W. Donald in 1947) ist bekannt, dass das Risiko von Konvulsionen bei einem Sauerstoffpartialdruck von 1,6 bar sehr hoch wird. Des Weiteren spielt auch der Zeitfaktor eine Rolle, dieser wurde aber nie erfolgreich bestimmt. Die amerikanische "National Oceanic and Atmospheric Administration"

berichtet in ihrem Tauchmanual, dass eine zuverlässige Voraussage von Konvulsionen unmöglich ist, bietet aber einige Empfehlungen. Bei einer Belastung von 1,6 bar sollte die Zeit 45 Minuten, bei 1,5 bar 120 Minuten, bei 1,4 bar 150 Minuten, bei 1,3 bar 180 Minuten und bei 1,2 bar 120 Minuten nicht überschreiten. Die Belastung aller Tauchgänge während eines Tages sollte gezählt werden. Zur Verfolgung der gesamten erlaubten Belastung, sollte jedem Tauchgang ein Prozentanteil zugewiesen werden. Viele Tauchcomputer zeigen diesen Prozentanteil auf dem Display und dieser wird auch oft „Sauerstofffuhr“ genannt.

Bei Sporttauchern ist es üblich Konvulsionen durch Sauerstoff zu vermeiden, indem sie ihre maximale Tiefe so berechnen, dass der Sauerstoffpartialdruck von 1,4 bar nie überschritten wird. Die Tiefe auf welcher 1,4 bar erreicht wird, wird die „Planungstiefe“ genannt. Die Planung auf maximal 1,4 bar erlaubt eine Fehlertoleranz (Probleme mit der Tarierung, vergessen seinen Tiefenmesser zu kontrollieren oder eine abwärts gerichtete Strömung). 1,4 bar berücksichtigt auch den Zeitfaktor (obwohl dieser ungenau ist). Viele berechnen auch die Tiefe, auf welcher sie 1,6 bar erreichen und diese wird „Maximaltiefe“ genannt und dient hauptsächlich zur Bestimmung der Fehlertoleranz. Das Risiko von Konvulsionen aufgrund von Sauerstoff kann somit vermieden werden, indem du die maximale Tiefe für das benutzte Nitroxgemisch weisst und respektierst.

Sehstörungen, klingeln in den Ohren, Übelkeit, Schwindel, Verwirrtheit und Konfusionen sind Indikatoren, die Konvulsionen vorangehen. Sollte eines dieser Anzeichen wahrgenommen werden, muss der Tauchgang sofort abgebrochen werden. Allerdings geschehen

diese Anzeichen in den meisten Fällen unerkannt oder treten überhaupt nicht auf. Konvulsionen aufgrund eines hohen Sauerstoffpartialdrucks können ohne Vorwarnung auftreten. Sollte dieses geschehen, dann muss der Buddy mit der Situation so umgehen, als wenn er einem bewusstlosen Taucher hilft. Konvulsionen (Zuckungen) können nicht übersehen werden. Der Taucher sollte sofort in geringere Tiefen gebracht werden und wenn er seinen Lungenautomaten noch im Mund hat, sollte dieser fixiert werden.

Erkläre, wie du Probleme aufgrund des erhöhten Sauerstoffpartialdrucks erkennen kannst und wie du damit umgehst.



Manchmal wird empfohlen zu wartenden Taucher auf geringere Tiefen zu bringen, bis die Konvulsionen aufgehört haben. Dieser Rat berücksichtigt die Bedenken, dass ein betroffener Taucher aufgrund von Muskelspasmen auch blockierte Atemwege haben könnte. Das könnte eine Lungenüberdehnungsverletzung zur Folge haben. Beim Sporttauchen (Gemische bis zu 40%) sind die Bedenken weniger wichtig, als bei Tauchern die sehr hohe Gemische oder sogar reinen Sauerstoff benutzen. Die Konvulsio-nen würden bei Sporttauchern erst auf grösseren Tiefen einsetzen. Aus grösserer Tiefe nimmt der relative Druck langsamer ab, als bei einem Aufstieg aus einer geringen Tiefe (wie es der Fall wäre, wenn der Taucher reinen Sauerstoff atmet). Für Sporttaucher ist deswegen der Rat sofort auf geringere Tiefen aufzutauchen eine angemessene Empfehlung.

Du musst deinen Tauchcomputer auf das Nitroxgemisch und den Sauerstoffpartialdruck einstellen, den du als akzeptabel erachtet. Es wird empfohlen den Sauerstoffpartialdruck auf 1,4 bar einzustellen (oder niedriger wenn du möchtest). Nach der Eingabe wird dich der Tauchcomputer über die maximale Tiefe informieren. Die meisten Computer haben eine akustische Funktion, die bei Erreichen der Tiefe zu piepsen beginnt. Für Smartphones, Tablets und PCs gibt es viele Apps, um dieselben Berechnung durchzuführen. Als Nitroxtaucher solltest du aber in der Lage sein, die Maximaltiefe selber zu berechnen. Die Formeln findest du hier.

*Berechne die Plaungs- und
Maximaltiefe für jedes gegebene
Nitroxgemisch.*

$$\text{Planungstiefe} = \frac{14}{\% \text{O}_2} - 10$$

$$\text{Maximaltiefe} = \frac{16}{\% \text{O}_2} - 10$$

Da du eine Tiefe suchst (und nicht einen Druck), ist die Einheit in der Formel MSW, welche für Meter Salzwasser steht (Meters of Salt Water). 1 bar ist gleich 10 MSW, 1,4 bar ist gleich 14 MSW und 1,6 bar ist gleich 16 MSW. In der Formel muss also der maximal erlaubte Sauerstoffpartialdruck durch den Sauerstoffprozentanteil im Gemisch dividiert und von diesem Ergebnis der atmosphärische Druck abgezogen werden.

Die maximal geplante Tiefe für einen Tauchgang mit Luft würde also (14:0,21) Minus 10 sein. Somit wäre also 56 Meter das Ergebnis, das ausserhalb der Grenze des Sporttauchens liegt. Nitrox 36 würde 14:0,36 Minus 10 ergeben. Somit haben wir eine maximale Tiefe von 28 Meter. Nitrox kann deswegen nicht auf allen Tiefen verwendet werden, da das Nitroxgemisch dem gewünschten Tauchprofil angepasst sein muss. Manchmal wird die Planungstiefe auch "Maximum Operational Depth" oder MOD genannt.

Hoher Sauerstoffpartialdruck kann auch einen negativen Effekt auf die Lungen haben, indem die kleinen Lungenbläschen (Alveolen) kollabieren. Allerdings tritt dieses Problem bei Personen auf, die hohe Gemische über einen oder mehrere Tage ohne Unterbrechung geatmet haben. Es ist also unwahrscheinlich, dass die Lungen eines Sporttauchers davon betroffen werden.

Beschreibe, bis zu welchem Ausmass andere physiologische Probleme mit Sauerstoff wichtig für Nitroxtaucher sind.

Akklimatisierung könnte allerdings ein Problem darstellen. Bergsteiger machen auf einer gewissen Höhe einige Tage einen Halt, bevor sie weiter steigen. Dies machen sie, damit ihr Körper eine höhere Sauerstofftransportkapazität entwickeln kann. Ein wichtiger Faktor der Akklimatisierung ist es dem Körper ausreichend Zeit zu geben, um zusätzliche rote Blutkörperchen (Hämoglobin) zu produzieren. In der Höhe spürt der Körper, dass seine Sauerstoffkapazität nicht ausreicht und reagiert mit einer erhöhten Produktion von roten Blutkörperchen. Die Tatsache, dass die Akklimatisation einige Zeit dauert, zeigt dass die Kapazität für die zusätzliche Produktion des Körpers begrenzt ist.

Während eines Tauchgangs hat der Körper den Luxus eines ergiebigen Sauerstoffvorrats. Somit könnte es sein, dass die Produktion von neuen

roten Blutkörperchen langsamer wird (alle roten Blutkörperchen müssen alle 3 bis 4 Monate ersetzt werden). Nach einem Tauchgang sind wir nun von der Überproduktion abhängig, die die langsamere Produktion während dem Tauchgang ausgleichen muss. Da die Kapazität von zusätzlicher Produktion begrenzt ist, sollte Nitrox nicht übermäßig eingesetzt werden. Es sollte ausreichen Probleme mit der Produktion von roten Blutkörperchen zu vermeiden, wenn die akkumulierte Belastung des Tauchcomputers (Sauerstoffuhr) respektiert wird.

Sporttaucher haben über mehrere Dekaden nur Luft als Atemgas benutzt. Während dieser Periode hat sich auch die traditionelle Tauchtheorie entwickelt. Da 79% der Luft Stickstoff ist, war es logisch, dass die narkotisierenden Eigenschaften von Luft diesem Gas zugewiesen wurden.

Das ist der Grund, warum es Stickstoffnarkose genannt wird. Allerdings haben so gut wie alle Gase narkotisierende Eigenschaften. Inert-Gas Narkose oder einfach nur Narkose, wäre also der bessere Ausdruck. Die Tatsache, dass so gut wie alle Gase narkotisierende Eigenschaften aufweisen, ist wissenschaftlich anerkannt. Die Festlegung der relativen Stärke (Potenz) der verschiedenen Gase wird allerdings immer noch diskutiert. Oft zitierte Untersuchungen haben Neon, Helium und Wasserstoff als weniger narkotisierend als Stickstoff identifiziert, während andere Gase (eingeschlossen Sauerstoff) eine höhere narkotisierende Wirkung haben.

Beschreibe den Einfluss von Nitrox in Bezug auf die Tiefe, auf welcher eine Narkose erwartet werden kann.

Die relativen narkotisierenden Eigenschaften aller Gase im Vergleich zu Stickstoff, welcher hier mit "1" angegeben ist (diese Konstanten werden oft genannt).

Neon	0.3 x
Wasserstoff	0.6 x
Stickstoff	1 x
Sauerstoff	1.7 x
Argon	2.3 x
Krypton	7.1 x
Kohlendioxid	20 x

Sauerstoff hat narkotisierende Eigenschaften und 60% oder mehr des Gases in einem Nitroxgemisch ist Stickstoff. Somit ist zu erwarten, dass eine Narkose mit Nitrox auf denselben Tiefen auftritt wie mit Luft. Leichte Symptome können auf jedem Tauchgang erwartet werden, der sich 30 Meter Tiefe nähert. Schwere Symptome (wobei hier die Selbstüberschätzung das gefährlichste ist) entstehen bei Tauchgängen tiefer als 30 Meter. Symptome sind

unter anderem eine verzögerte Reaktion auf Impulse, beeinträchtigtes Gedächtnis und logisches Denken, falsche Entscheidungen und Berechnungsfehler, übersteigertes Selbstvertrauen, Tunnelblick, Angst und ein Gefühl des Wohlbefindens (führt zu Euphorie). Tauchgänge tiefer als 30 Meter (unabhängig, ob diese mit Nitrox oder Luft gemacht werden) erfordern eine spezielle Ausbildung und Ausrüstung.

Beim Tauchen mit Nitrox wird aufgrund der geringeren Stickstoffbelastung die verfügbare Tauchzeit länger, als bei der Verwendung von Luft. Für die Tauchgangsplanung muss die zusätzlich verfügbare Zeit bestimmt werden. Am einfachsten geht dies, indem der Tauchcomputer auf das verwendete Nitroxgemisch eingestellt wird. Der Computer kann daraufhin den Taucher über die geltende Nullzeit für dieses Gemisch informieren. Alternativ erhält man dieselbe Information mit Apps für Smartphones, Tablets oder PC's. Die zusätzliche Tauchzeit kann auch manuell berechnet werden, indem die äquivalente Lufttiefe bestimmt wird (auch ÄLT genannt).

Beschreibe den Effekt einer niedrigeren Belastung durch Nitrox auf die Tauchzeit und die Dekompressionskrankheit.

Um die äquivalente Lufttiefe zu berechnen, wird der Stickstoffanteil in dem Gemisch (1 Minus dem Sauerstoffprozentanteil) dividiert durch den Stickstoffanteil in der Luft (0,79). Das Ergebnis wird mit der Tiefe Plus 10 (10 MSW für den atmosphärischen Druck) multipliziert. Nach der Multiplikation wird der atmosphärische Druck wieder abgezogen (Minus 10 MSW). Das Ergebnis ist eine theoretische Tiefe, die mit normalen Lufttabellen verwendet werden kann. Indem du die ÄLT berechnest, erhältst du eine theoretische Tiefe die flacher als die tatsächliche Tiefe des Tauchgangs ist. Das ergibt einen längeren Tauchgang als mit Luft. Die ÄLT dient nur zur Berechnung.

$$\text{ÄLT} = \left[\frac{1 - \% \text{O}_2}{0,79} \times (\text{Tiefe} + 10) \right] - 10$$

Hier ein Beispiel: Ein Tauchgang mit Nitrox 32 würde einer äquivalenten Lufttiefe von 15 Meter entsprechen. Zur Berechnung dividierst du 0,68 (1



finden, da aber so gut wie alle Taucher Tauchcomputer benutzen, sind solche Tabellen selten geworden.

Es gibt keine Angaben, dass Tauchgänge mit Nitrox ein geringeres Risiko der Dekompressionskrankheit haben, als Tauchgänge mit Luft. Nitrox ermöglicht längere Tauchgänge und wenn ein Taucher davon profitiert sind die Konsequenzen nah an den Grenzen zu tauchen oder diese zu überschreiten, genauso wie bei Luft. Die Nullzeitgrenzen geben Auskunft über ein akzeptables Risiko. Tauchgänge innerhalb dieser Grenzen sind keine Garantie keine Dekompressionskrankheit zu erleiden, genauso wenig wie das Überschreiten der Grenzen mit Sicherheit zu Symptomen führt. Das gilt sowohl für Nitrox, als auch für Luft. Es ist immer empfohlen sich innerhalb der Grenzen von Tabellen oder Tauchcomputern zu bewegen und einen Sicherheitsstopp am Ende eines jeden Tauchgangs einzuhalten.



Sollte eine Dekompressionskrankheit auftreten, sollte der betroffene Taucher so schnell als möglich reinen Sauerstoff atmen (oder eine höchstmögliche Konzentration). Der Taucher soll nicht mehr in das Wasser zurückkehren. Der medizinische Notfalldienst muss verständigt werden. Erste Hilfe muss wenn nötig durchgeführt werden. Obwohl ein Nitroxtaucher während dem Tauchgang bereits zusätzlichen Sauerstoff geatmet hat, wird als Sofortmaßnahme trotzdem Erste Hilfe mit Sauerstoff durchgeführt.

Es ist wahrscheinlich, dass zu irgendeinem Zeitpunkt einer der beiden Buddies ein anderes Gemisch taucht und bereits andere Tauchgänge durchgeführt hat. Das resultiert in unterschiedlichen Nullzeiten, einer anderen verbleibenden Zeit der Sauerstoffbelastung (Sauerstoffuhr) und/oder der maximalen Tauchtiefe. Unter solchen Umständen sollten beide Taucher die Grenzen des Tauchgangs berechnen (oder diese von ihrem Tauchcomputer

*Beschreibe die
Tauchgangsplanung für ein
Buddyteam mit unterschiedlichen
Gemischen oder
vorangegangenen
unterschiedlichen Tauchgängen
am selben Tag.*



oder einem anderen elektronischen Gerät ablesen). Die Taucher vergleichen diese Grenzen und eingen sich die konservativsten Werte zu respektieren. Die flachere maximale Tauchtiefe und die kürzeste Tauchzeit. Wenn Taucher mit verschiedenen Gemischen Atemgas teilen müssen (ein Taucher muss dem anderen seine alternative Luftversorgung geben, da dieser eine leere Flasche oder andere

Ausrüstungsprobleme hat) muss die Situation konservativ gehandhabt werden. Das Atmen eines anderen Gemisches berücksichtigt der Tauchcomputer nicht. Alle nachfolgenden Tauchgänge erfordern eine sehr konservative Planung und es ist empfohlen keine Wiederholungstauchgänge für mindestens 12 Stunden zu machen.

Überlegungen zur Nitroxausstattung

Aufgrund des zusätzlichen Sauerstoffs muss die Ausrüstung sauber sein. Des Weiteren muss ein Nitrotaucher den exakten Inhalt seiner Tauchflasche bestimmen, um den Tauchgang richtig planen zu können. In diesem Kapitel behandeln wir beide Aspekte.



Überlegungen zur Nitroxausrüstung

Sauerstoff kannst du weder sehen, noch schmecken oder riechen. Sauerstoff oxidiert aber mit anderen Substanzen. Diese Reaktion kann schnell oder langsam geschehen. Eine schnelle Oxidation könnte ein Feuer oder eine Explosion sein. Ein Beispiel einer langsamen Oxidation ist Korrosion (Rost). Im Gegensatz dazu, was du vielleicht in Publikationen über die Verwendung von Nitrox liest, stellt eine Explosion nicht das Hauptproblem dar. Es besteht ein fundamentaler Unterschied zwischen einem Feuer und einer Explosion. Feuer ist das Resultat einer Substanz die sich entzündet und wenn die resultierende Reaktion ausreichend Hitze entwickelt, um die Fortführung dieser Reaktion zu erhalten, dann brennt die Substanz. Ein Feuer hängt von dem Sauerstoff in der Umgebung ab, der zu der brennenden Substanz gelangt. Die Oberfläche der brennenden Substanz (z.B. Öl) ist in Kontakt mit der Atmosphäre, die Sauerstoff enthält. Die unteren Lagen haben keinen Kontakt und brennen deswegen so lange nicht, bis sie die Oberfläche erreichen.

Beschreibe die Charakteristiken von Sauerstoff und deren Zusammenhang mit Oxidation.



Bei Gasen kann eine explosive Mischung entstehen, wenn ein brennbares Gas und Luft (enthält Sauerstoff) ausreichend Zeit haben, um sich in einem Verhältnis zu mischen, bei welchem sich alle brennbaren Moleküle nahe an einem Sauerstoffmolekül befinden, bevor das Gemisch sich entzündet. Der Unterschied zwischen einem Feuer und einer Explosion hängt deswegen von der Anwesenheit von Sauerstoff „in dem Gemisch“ ab. Sprengstoffe sind eine Mischung aus entzündbarem Material und Sauerstoff in einem „idealen Verhältnis“, während ein brennbares Material eine Sauerstoffzufuhr benötigt. Eine Explosion ist eine Situation, bei welcher alle verfügbaren Materialien gleichzeitig „brennen“, unabhängig ob sie mit Sauerstoff aus der Umgebung in Kontakt sind oder nicht. Sollte sich brennbares Material in einem

Kompressor befinden, dann sind es wahrscheinlich winzige Öltropfen oder Fett und kein Gas.

Feuer brennt intensiver, wenn mehr Sauerstoff an das Feuer gelangt. Das kann mit Luftbewegung erreicht werden (wie beim Grillen) oder indem der Sauerstoffgehalt der zu dem Feuer gelangt, erhöht wird (wie bei Nitrox).



Sollte das Feuer intensiver brennen, könnte es genügend Hitze erzeugen, um die Wand eines Behälters zu schmelzen (oder zu verbrennen). Wenn der Behälter sich unter Druck befand, dann wird das Loch einen augenblicklichen Druckverlust herbeiführen. Das wird oft eine Explosion genannt („mein Autoreifen ist explodiert“), es ist aber keine.

Bei Tauchflaschen sind wir mit geringen Mengen Fett oder Öl konfrontiert. Die Chancen einer Explosion sind sehr gering (eigentlich nur theoretisch). Es ist wahrscheinlicher, dass sich geringe Mengen von Oldunst entzünden (Selbstentzündung) oder das Öl oder Fett zu brennen beginnt. Das Hauptproblem sind also (sehr) kleine Feuer und Entzündungen (Funken). Somit wird Sauerstoff verbraucht und Kohlenmonoxid als Abfallprodukt produziert. Kohlenmonoxid ist giftig. Das Risiko eines Feuers oder einer Explosion hängt von drei Faktoren ab: Der Anwesenheit einer brennbaren Substanz (Treibstoff), einer Entzündungsquelle (das könnte Hitze sein) und einem Oxidationsmittel (Sauerstoff). In einem Kompressor, mit dem Nitrox gefüllt wird, sind alle drei Faktoren vorhanden. Die Temperatur in einem Kompressor ist erhöht, die Luft ist komprimiert, womit der Sauerstoffpartialdruck höher ist und der Kompressor muss geschmiert werden und somit ist auch Öl als Schmiermittel vorhanden. Sollte einer der drei Faktoren fehlen, dann kann kein Feuer entstehen. Wenn einer der drei Faktoren höher als normal ist, dann kann das Risiko eines Feuers reduziert werden, indem die Anwesenheit der beiden anderen Faktoren

Erkläre, warum Feuer bei Tauchflaschen ein Problem sein kann.

verringert wird. Dies ist das Fachgebiet von Blendern (der Mischer, der Nitroxflaschen füllt).

Obwohl ein zusätzliches Risiko besteht, bedeutet das nicht, dass es nicht kontrolliert werden kann. Kompressoren können Flaschen auf 200 bar oder 300 bar füllen. Beim Füllen mit Luft auf 300 bar ist der Sauerstoffpartialdruck 63 bar ($0,21 \times 300$). Beim Füllen von Nitrox 32 auf 200 bar ergibt das einen Sauerstoffpartialdruck von 64 bar ($0,32 \times 200$), also fast denselben Anteil. Die Sauerstoffpartialdrücke in Nitrox befinden sich innerhalb einer Bandbreite, die es ermöglicht eine Entzündung mit einfachen Vorsichtsmassnahmen zu verhindern (und somit auch das Risiko von Kohlenmonoxid). Blender kennen diese Vorsichtsmassnahmen.

Es gibt verschiedene Füllmethoden von Nitroxflaschen. In den meisten Fällen wird das Nitrox „vorgemischt“, bevor es in die Flaschen gelangt. Somit kommt das Flaschenventil und die Flasche nur mit dem vorgemischten Nitrox in Kontakt, mit einem maximalen Prozentanteil von 40% Sauerstoff. In der Tauchindustrie gibt es einen Konsens, dass alle Gemische bis 40% Sauerstoff wie Luft behandelt werden. Es liegt im Ermessen der Hersteller von Flaschen, ob sie zusätzliche Anforderungen für ihre Flaschen und Ventile fordern. Die Anforderungen bestehen meistens in der Benutzung von speziellen O-Ringen (Viton, anstatt normalem Neopren) und die Verwendung von sauerstoffkompatiblen Schmiermitteln (keine Fette oder Silikon).

Beschreibe die Folgen eines höheren Sauerstoffinhalts für Tauchflaschen.

In vielen Ländern werden Gemische bis zu 40% Sauerstoff wie Luft behandelt

Dieser Konsens trifft allerdings nicht auf alle Länder zu. In einigen Ländern erfordern Vorschriften zusätzliche Vorsichtsmassnahmen (das ist aber eher selten und die Instruktoren, wie auch der Staff des Tauchcenters, können dich über eventuelle zusätzliche Anforderungen in deiner Gegend informieren). Eine andere Ausnahme ist der Gebrauch von Tauchflaschen als „Mischbehälter“. Das wird „Partialdruckverfahren“ genannt, wobei direkt in

der Flasche gemischt wird. Bei dieser Methode der Nitroxfüllung wird reiner Sauerstoff in die Flaschen geleitet und diese werden danach an den Kompressor angeschlossen, um den Rest mit Luft aufzufüllen (toppen oder Solldruck). Bei dieser Methode müssen die Flaschen und Ventile nach strenger Anforderungen gereinigt werden.



Unabhängig der Füllmethode (und deswegen bis zu welchem Grad die Flasche gereinigt werden muss) musst Du als Taucher einige Aspekte berücksichtigen. Als erstes beschleunigt Sauerstoff die Korrosion (an der Innenseite der Flasche) und deswegen halten Nitroxflaschen in den meisten Fällen nicht so lange, wie Flaschen die mit Luft benutzt werden.

Als Benutzer von Nitroxflaschen hast du auch eine Verantwortung gegenüber der Person, die deine Flaschen füllt. Mischer passen gut auf, die Flaschen sauber zu halten. Sie wenden strengere Normen für die Luftqualität an (in der USA 0,1 mg Kohlenwasserstoffe pro Kubikmeter Luft, im Gegensatz zu den normalerweise erlaubten 5 mg. In Europa ist der Unterschied wesentlich geringer, da die Norm für normale Luft 0,5 mg ist). Kompressoren die nur für Luft benutzt werden sind eventuell nicht für die strikten Normen von Nitrox ausgestattet. Gewöhne dir an die Nitroxflaschen nur in dem Center zu füllen, denen die Flaschen gehören. Somit hilfst du den Misern ihre Flaschen in einwandfreiem Zustand zu halten. Solltest du eine eigene Nitroxflasche besitzen, dann fülle diese nur in Centern mit gutem Ruf.

Nitrox

Erkläre die Markierungen auf einer Nitroxflasche und deren Bedeutung.

An Nitroxflaschen findest du drei verschiedene Typen von Markierungen. Jede hat ihre eigene Bedeutung. Die auffälligste ist ein 10 cm grosses, grünes Band mit der Aufschrift (könnte in der Landessprache sein)

die angibt, dass diese Flasche Nitrox oder angereicherte Luft enthält. Für Flaschen, die nicht gelb sind, hat das grüne Band oben und unten einen gelben Rand von 2,5 Zentimeter. Diese Markierung soll verhindern, dass Taucher die keine Nitroxausbildung besitzen, aus Versehen eine falsche Flasche wählen und mit einem Gemisch tauchen, das andere Tiefengrenzen als Luft hat.

Eine zweite Markierung hat eine ähnliche Funktion, diese soll aber verhindern, dass Nitroxflaschen untereinander verwechselt werden. Nitroxgemische sind unterschiedlich. Sollten unterschiedliche Gemische verwendet werden, dann hat jedes Gemisch seine eigene Tiefengrenze und erlaubte Tauchzeit. Es wäre gefährlich mit der falschen Flasche zu tauchen. Um einen unbeabsichtigten Tausch der Flaschen zu verhindern, hat jede Flasche einen Aufkleber oder einen Anhänger. Die Information auf dieser Markierung ist für einen Taucher bestimmt. Er enthält den Namen des Tauchers, die Flaschennummer (im Fall, dass der Aufkleber oder Anhänger von der Flasche verloren geht), das Gemisch und die maximale Tauchtiefe. Manchmal enthält er auch das Datum und die Maximaltiefe. Allerdings bieten viele Tauchcenter nur ein Gemisch für alle an (z.B. Nitrox 32). Dann könnten auf die individuellen Angaben verzichtet werden.



Die letzte Markierung enthält Angaben für den Mischer. Es ist normalerweise ein Aufkleber mit der Information nach welcher Norm und wann die Flasche und das Ventil gereinigt wurden. Es gibt Aufkleber für die

allgemeine Reinigung für Nitrox und für das Reinigen nach strikteren Normen, der Kompatibilität mit reinem Sauerstoff. Diese Informationen sind also für die Mischer, die die Flaschen füllen sehr wichtig und weniger für die Taucher. Flaschen die für reinen Sauerstoff gereinigt sind, haben eine einheitliche Markierung. Diese Markierungen fehlen oft auf Flaschen, die nur mit vorgemischtem Nitrox getaucht werden.

In (sehr) seltenen Fällen könnten lokale Vorschriften andere Markierungen erfordern. Innerhalb der EU bestehen momentan Vorschriften für neu produzierte Flaschen. Diese Vorschriften werden von den Ausrüstungsherstellern genau eingehalten, können sich aber mit der Zeit wieder ändern. Dein Instruktor kann dich über die aktuellen Vorschriften in deinem Gebiet informieren.

Teile der ersten Stufe eines Lungengauromaten und des Finimeters kommen mit Hochdruck in Kontakt. Bei der Verwendung von Nitrox bedeutet das einen höheren Sauerstoffpartialdruck.

Das erfordert einige Vorsichtsmassnahmen. Jeder Hersteller empfiehlt unterschiedliche Verfahren bei der Nutzung der Ausrüstung. Letztendlich entscheidet der Hersteller, welche Vorsichtsmassnahmen und Modifikationen erforderlich sind, sollte ein Lungengauromat und ein Finimeter mit sauerstoffreichen Gemischen verwendet werden. Oft bestehen diese Modifikationen aus dem Gebrauch von Kohlenstoff- und Silikonfreien Fetten und von Viton O-Ringen in den Teilen der Ausrüstung, die mit Hochdruck in Kontakt kommen.

*Beschreibe die Konsequenzen
eines höheren Sauerstoffgehalts
für Lungengauromaten und
Zubehör auf Mitteldruck.*



Lies die Hinweise des Herstellers in der Bedienungsanleitung für den Gebrauch deines Lungengenerators und Finimeters. Wenn du mit 40% Sauerstoff oder weniger tauchst, dann sind Vorsichtsmassnahmen nur für Hochdruckteile notwendig. Ein Oktopus, Inflator oder andere Teile die am Mitteldruckschlauch angeschlossen sind, benötigen keine Modifikationen zur sicheren Benutzung mit Nitrox.

Ein Lungengenerator hat mehr Kontakt mit Sauerstoff, als er mit Luft haben würde. Dasselbe gilt für die Blase des Jackets und andere Teile, die mit dem Gas aus der Flasche gefüllt werden. Der zusätzliche Sauerstoff intensiviert die Oxidation. Somit geschieht Korrosion und anderer Verschleiss schneller als bei Luft. Ausrüstung die mit Nitrox verwendet wird, wird nicht so lange halten, wie Ausrüstung die mit Luft verwendet wird.

Die Sicherheit eines Tauchgangs mit Nitrox erfordert, dass der Taucher weiß, welches Gemisch er benutzt. Der Mischer wird das Gemisch analysieren und den Taucher darüber informieren. Es liegt aber in der Verantwortung

Beschreibe die Konsequenzen eines höheren Sauerstoffgehalts für andere Ausrüstung als die Flasche.

Beschreibe den Umgang mit einem Sauerstoffanalysegerät.

des Tauchers, der die Flasche benutzt, die Analyse zu bestätigen. Aus diesem Grund müssen alle Nitroxtaucher mit einem Sauerstoffanalysegerät umgehen können, um den Sauerstoffgehalt in einer Nitroxflasche zu bestimmen.

Sauerstoffanalysegeräte werden zuerst kalibriert. Nach der Kalibrierung wird ein Durchfluss von Nitrox gemessen und der Sauerstoffanteil in dem Gemisch auf dem Display angezeigt. Das könnte den Eindruck erwecken, dass das Analysegerät den Prozentanteil misst, das wäre aber unmöglich. Um einen Prozentanteil zu messen, müsste nicht nur der Sauerstoffgehalt gemessen werden, sondern auch die Menge anderer Gase. Wie sollte das Analysegerät sonst "wissen", wie viel von dem gesamten Gemisch tatsächlich Sauerstoff ist. Das Analysegerät misst „nur“ die gesamte Sauerstoffmenge, die danach in einen Prozentanteil umgewandelt wird, unter der Annahme dass der Gesamtdruck 1 bar beträgt (atmosphärischer Druck).



Aufgrund der Tatsache, dass das Analysegerät die absolute Menge (den Sauerstoffpartialdruck) misst, müssen einige Regeln eingehalten werden. Als erste Vorsichtsmassnahme muss das Analysegerät kalibriert werden, um jegliche Abweichungen des atmosphärischen Drucks zu berücksichtigen. Der Taucher muss ebenfalls aufpassen, dass sich in dem Analysegerät kein Druck aufbaut. Deswegen muss der Nitroxfluss, der durch oder über das Gerät strömt, sehr leicht eingestellt werden. Ein starker Fluss könnte zu einem Druckaufbau um den Sensor in dem Analysegerät führen und somit zu einer falschen Messung führen. Die Annahme, dass der Gesamtdruck 1 bar entspricht muss wahr sein, weil ansonsten die Prozentangaben falsch wären.

Es gibt unterschiedliche Verfahren für die Kalibrierung und Messung der Gemische von Analysegeräten. Deswegen ist es notwendig, den Anweisungen für das entsprechende Gerät in der Bedienungsanleitung zu folgen. Das folgende Beispiel muss nicht notwendigerweise zutreffen.

In vielen Fällen muss bei der Kalibrierung auf Umgebungsdruck die Luftfeuchtigkeit und Temperatur berücksichtigt werden. Das könnte schwierig sein, da du über die aktuelle Luftfeuchtigkeit keine Informationen hast. Diese Information ist aber wichtig, da der Sensor in dem Analysegerät sensitiv

Oxygen compensation chart for					
ATMOSPHERE OXYGEN PERCENT IN RELATION TO TEMPERATURE					
TEMP F	32	40	50	60	70
TEMP C	0	4	10	16	21
RELATIVE HUMIDITY					ATMOSPHERE
10	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
20	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8
30	20.9	20.8	20.8	20.8	20.8
40	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7
50	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7

auf Feuchtigkeit reagiert (je mehr Feuchtigkeit, desto höher die Messangaben). Die Luft in Tauchflaschen ist allerdings getrocknet, um Korrosion zu vermeiden. Aus diesem Grund kann das Analysegerät mit einem Luftstrom aus einer Tauchflasche kalibriert werden. Für eine niedrige Luftfeuchtigkeit musst du auf 20,8% oder 20,9% Sauerstoff kalibrieren (andere Modelle könnten eine andere Kalibrierung erfordern).

Wenn die Kalibrierung abgeschlossen ist, öffnest du das Ventil der Nitroxflasche und versuchst denselben Durchfluss, wie bei der normalen Tauchflasche, zu erreichen. In beiden Fällen muss der Durchfluss sehr gering sein. Du solltest den Luft/Nitroxfluss nur ganz leise hören können. Du wirst den Prozentanteil auf dem Display steigen sehen und danach stabilisiert sich der Wert (das dauert ungefähr 10 Sekunden). Nachdem die Angabe sich stabilisiert hat, warte noch ein paar Sekunden, bevor du das Nitroxgemisch vom Display abliest.

Nachdem du das Gemisch analysiert hast, musst du formell die Nitroxflasche akzeptieren. Du musst den Sauerstoffgehalt (anhand des Resultats deiner Analyse) bestätigen und dass du die maximale Tiefe für dieses Gemisch kennst. Deine Bestätigung kann unter

Nenne die Prozeduren bei der Entgegennahme einer Nitroxflasche und wie du den Flaschenanhänger oder Aufkleber und das Nitroxlog ausfüllst.

anderem erfordern, dass du die fehlenden Daten auf dem Aufkleber oder Anhänger und/oder dieselben Angaben in das Nitroxlog einfüllen musst. Das Füll-Log kann an der Füllstation ausgefüllt und unterschrieben werden, in vielen Fällen allerdings hat der Tauchguide oder der Instruktor das Log mit am Tauchplatz.

Logbuch für Nitroxfüllungen

Flasche	Datum	Blender	Druck	Gemisch	Taucher	Gemisch	Planung-tiefe	Maximal-tiefe	Unter-schrift
C18	27.10	William	200 bar	36					
C34	27.10	William	200 bar	35,8					
C23	27.10	William	200 bar	34,2	Hans	34	31 Meter	37 Meter	John Doe
C01	27.10	William	200 bar	36,2					
C11	27.10	William	200 bar	35,9					



Index

-A-

- Akklimatisierung 7
Äquivalente Lufttiefen 9

-B-

- Blender 15

-F-

- Feuer 13

-G-

- Gesetz von Dalton 3

-K-

- Kalibrierung 21
Kohlenmonoxid 14
Konvulsionen 4

-M-

- Markierungen 16
Maximaltiefe 5, 6
MSW 7

-N-

- Narkotisierende Eigenschaften 8
Nitrox 2

- Nullzeitgrenze 9

-P-

- Partialdruckverfahren 15

-R-

- Reaktive Spezies 4

-S-

- Sauerstoffanalysegeräte 20
Sauerstoffangereicherte Luft 2
Sauerstofffuhr 5
Schnelle Oxidation 13
Selbstentzündung 14
Stickstoffnarkose 8

-V-

- Verschleiss 19
Viton 15
Vorgemischtes Nitrox 15
Vorschriften 18

**Warnung: Tauchtabellen können das Risiko der Deko-Krankheit verringern, sind jedoch keine Garantie.
Tauche konservativ und innerhalb der empfohlenen Nullzeiten!**

SCUBA Courses & Publications **Tauchtabelle**

Tabelle 3 – Stickstoffzuschlag für einen Wiederholungstauchgang

Tabelle 2 – Bestimmung der Druckgruppe nach einer Oberflächenpause

Die weisse Zeit (Minuten) ist der Stickstoffzuschlag.
Die blaue Zeit (Minuten) ist die Zeit bis zur empfohlenen Nullzeit.

Wichtige Punkte beim Gebrauch dieser Tabelle:

- | Wiederholungstauchgangszeit (WTTZ) und Tauchzeit (Tz) | |
|---|--|
| • Benutze die genaue oder nächst höher liegende Tiefenstufe | • Benutze soweit als möglich stets einen Tauchcomputer |
| • Kalkuliere Kaltwasser- oder Strömungstauchgänge 4 Meter tiefer als sie tatsächlich sind | • Addiere den Stickstoffzuschlag zur tatsächlichen Tauchzeit und nimm die Summe als Ausgangsbasis für die Tabelle 1 |
| • Fliege nicht oder meide Höhen für 12 Stunden nach einem Einzeltauchgang. Warte bei Wiederholungstauchgängen mindestens 18 Stunden vor dem Fliegen | • Beim Tauchen ab 300 Meter über dem Meeresspiegel muss die Tabelle umgewandelt werden. Nur Bergseetaucher sollten diese Umwandlung vornehmen |
| • Mache einen Sicherheitsstopp auf 5 Meter für 3 Minuten nach einem Tauchgang. Dies ist Pflicht, wenn du dich auf 5 Minuten der Nullzeit näherst oder tiefer als 30 Meter tauchst | • Überschreiten der maximal empfohlenen Tauchzeit bis zu 5 Minuten erfordert eine Notfalldekompression auf 5 Meter für 8 Minuten. Bei längerem Überschreiten ist eine Notfalldekompression von 15 Minuten notwendig – überschreite nie vorsätzlich die Nullzeiten! |
| • Benutze die Tabelle nur zum Tauchen mit Luft | • Tauche nicht schneller als 18 Meter pro Minute auf |
| • Benutze die Tabelle nur zum Sporttauchen | • Wiederholungstauchgänge sollten nicht tiefer als 30 Meter sein |
| • Tauchzeit = Abstiegsbeginn bis Aufstiegsbeginn | • Mache den tiefsten Tauchgang des Tages zuerst |