

TCI



NITROX-VERSTEHEN

Bis 40 % Sauerstoff

H. Zauchner

Foto Wolfgang Pölzer



NITROX verstehen

Um den Nutzen von Atemmischungen mit **bis zu 40 % Sauerstoff** verständlicher zu machen, wurden die **Zusammenhänge herausgearbeitet und für den Bergsee ergänzt**. Nitrox wurde von CMAS NICHT eingeführt, um Angst vor Sauerstoff zu verbreiten, sondern um die Anhebung der Sicherheit zu ermöglichen. Die Planung eines Tauchgangs kann OHNE mühsame Berechnungen unmittelbar vor dem Tauchgang erfolgen. Konservative Planungsmethoden sind nicht zwangsläufig „sicherer“. Je konservativer die Planung ist, umso weiter entfernen sich die Planungsergebnisse von Computeranzeigen. Damit bessere **Übereinstimmung mit modernen, luftintegrierten Nitroxcomputern** erreicht wird, werden Zwischenwerte verwendet. Es wird nicht mehr der ungünstigere, sondern der am nächsten liegende Wert abgelesen.

Die Größe der Tauchflasche entscheidet auch mit Nitrox, wie lang sich ein Taucher am Grund aufhalten kann. Wenn der Taucher seinen Tauchgang so plant, dass er in der Nullzeit mit 50 bar beim tiefen Sicherheitsstopp in max. 15 m Tiefe eintrifft, bleibt in einem Notfall genügend Atemgas für den gemeinsamen blasenarmen Aufstieg von 2 Tauchern übrig.

Der Taucher misst den Flaschendruck und liest von der Tabelle die **Dauer der Versorgung mit Atemgas** (sog. Grundzeit) in beliebigen Tiefen ab. Wichtig ist nicht nur die „verbleibende Grundzeit“, sondern auch der **Sauerstoffanteil im Atemgas**, weil davon abhängt, wie tief getaucht werden darf.

„Rechnen können“ ist keine zwingende Voraussetzung für einen Nitroxtaucher. Macht er dabei einen Fehler, den er nicht selber erkennt, kann er sich selbst und seine Partner gefährden. Es bringt mehr Nutzen, wenn er die Zusammenhänge versteht und anwenden kann. Das Skriptum wurde mit einer Reihe von Fragen und Antworten abgeschlossen, damit der Leser sieht, wie gut er die wesentlichen Inhalte verstanden hat.

Taucher brauchen eine passende Ausbildung um Risiken vermeiden zu können, die mit der Ausübung der Sportart zusammenhängen. Die Verwendung von Tabellen kann weder ausreichende Luftversorgung garantieren, noch den Taucher in allen Fällen vor der Dekokrankheit schützen. Der folgende Beitrag beruht auf der Forschungsarbeit von Bühlmann, NOAA und **DAN**. Der Autor kann keinerlei Garantien für ein Rechenmodell übernehmen. Er kann lediglich zeigen, wie man damit umgehen kann und wo die Grenzen liegen. **Tabellen dienen zur Planung, getaucht wird mit Computer.**

Der Autor möchte mit dieser Arbeit zur Anhebung der Sicherheit im Tauchsport beitragen. Die Sicherheit beginnt ja schon mit einer alltagstauglichen Planung. Planungsfehler als Folge von unzulänglichen Berechnungen können vermieden werden.

Die Inhalte des Skriptums dürfen frei kopiert und weitergegeben werden, so lang die Quelle angegeben wird und keine kommerzielle Nutzung erfolgt.

Autor: Ing. Helmut Zauchner, CMAS M TNX AUT 10/04
Leiter der CMAS-Arbeitsgruppe „Altitude Diving“

Kontaktadresse: helmut.zauchner@tauchclubinnsbruck.at



Inhaltsverzeichnis

1	Warum wir Nitrox brauchen	4
2	Was ist Nitrox?	5
3	Was bringt Tauchen mit Nitrox?	6
3.1	Der Partialdruck der Inertgase wird vermindert	7
3.2	Der Partialdruck des Sauerstoffs wird erhöht.....	7
3.2.1	Vergiftung der Lunge.....	7
3.2.2	Vergiftung des Zentralnervensystems (Sauerstoffverträglichkeit)	8
3.2.3	Unverträgliches Material	8
3.2.4	Erhöhte Brandgefahr.....	8
4	Grenze der Sauerstoffverträglichkeit	10
5	NOAA-TABELLE	11
6	Der Sauerstoffdruck begrenzt die Höchsttauchtiefe	12
7	Äquivalente Lufttiefe (Equivalent Air Depth = EAD).....	13
8	Atemgas und Tauchtiefe	14
8.1	Neurologisches Risiko	16
8.2	Dekompressionsrisiko.....	17
9	Nitroxtabellen:	18
10	Der NITROXPLANER (2014)	19
11	Tauchgangsplanung	20
11.1	„Kompensation der Bergseehöhe mit Nitrox“	20
11.2	Höhenbereich und Tiefenzuschlag	21
11.3	Planungsbeispiele	22
11.4	Ergebnisse.....	24
12	Anwendung von Nitrox	26
12.1	Aufbereitung.....	26
12.2	Messung.....	27
12.3	Verwendung von Nitrox	27
13	Fragen und Antworten	28



Abbildungsverzeichnis

Diagramm 1: Sauerstoffbelastung in % pro min.....	15
Diagramm 2: Sauerstoffbelastung in % pro min erweitert	15
Bild 1: SafeAir	5
Bild 2: bergseetaugliche Nitroxcomputer	6
Bild 3: Nitroxfüllstation.....	11
Bild 4: O2 Analyser	26
Bild 5: Sauerstoffspeicherflaschen	26
Bild 6: Molekularfilter	27
Bild 7: Sauerstoffmessung	27
Tabelle 1: verschiedene Atemgemische.....	5
Tabelle 2: Nullzeiten.....	6

In diesem Skriptum wurden Stoffwiederholungen eingefügt, damit der Inhalt eines Abschnitts besser abgerundet erscheint, wenn man ihn für sich allein durchliest.

In einem „Tauchlehr-Handbuch“ für Gender-Taucher kann man folgenden Text nachlesen:
Der/Die LuftspenderIn hat beide Hände frei zum Trieren bzw. hält er/sie mit seiner/ihrer rechten Hand den/die TauchpartnerIn an dessen/deren Ausrüstung fest...

Das vorliegende Skriptum sollte im Gegensatz dazu lesbar bleiben, daher werden alle „LeserInnen und Leser“ um Verständnis gebeten, dass nicht alle m/w „Taucher und Innen“ in jedem Satz getrennt gewürdigt werden☺.

Zur Beachtung:

Für Nitrox mit mehr als 21 % Sauerstoff wird **in Österreich** eine Tauchausrüstung „vorgeschrieben“, die nicht für Luft verwendet werden kann und darf. Das verursacht hohe Kosten und **verhindert, dass zur Anhebung der Sicherheit allgemein mit Nitrox getaucht wird.** Es will ja niemand „wissentlich“ gegen österreichische Vorschriften verstoßen, aber wenn Taucher Atemregler mit „Sauerstoffgewinde“ oder mit dem neuen M26×2 Gewinde kaufen, entsprechen diese vielleicht österreichischen NORMEN, können aber weder in Innsbruck noch auf Tauchschiffen, noch in tropischen Meeren verwendet werden, weil sie nicht passen. Wie sich diese Normen weiterentwickeln werden wissen wir nicht, denn **für Nitrox bis 40 % Sauerstoff gibt es heute auf vielen Tauchschiffen und Tauchbasen gar keine „sauerstofffreien Tauchflaschen“ mehr, weil bei modernen Aufbereitungsanlagen keine Berührung mit reinem Sauerstoff möglich ist. Damit ist der Hauptzweck der exotischen Gewinde hinfällig.**

Taucher des TCI haben glücklicherweise die Möglichkeit, Flaschen mit Nitrox bis 40 % Sauerstoff auszuleihen oder füllen zu lassen. Bei den Füllstationen in Innsbruck und am Achensee werden Flaschen mit „normalen“ DIN Anschlüssen gefüllt. Auf Tauchschiffen und Tauchbasen im Ausland werden für Nitrox ebenfalls „normale“ Anschlüsse verwendet, damit jeder Taucher seine persönliche und daher vertraute Ausrüstung anschließen kann.



Quellen:

- [1] TDI Nitrox Diver Manual, Alpha Verlag GmbH München, ISBN 3-932470-01-X, 1996
(das ursprüngliche Lehrbuch des TSVÖ)
- [2] Odom J. and Technical Diving International TDI, Understanding Nitrox, 2001 Rev4
- [3] Rhomberg M, Zauchner H, „Empfehlung der Arbeitsgruppe des TSVÖ für Dekompression und Aufstieg“ Mai 2001
- [4] Zauchner H, „Bergseetauchen“ vorgestellt bei der Sitzung der Regionalen Monitore des TSVÖ im April 2002
- [5] Zauchner H, Beuster W, Skriptum zum TSVÖ-Seminar der drei Kommissionen: Ausbildung und Technik, Medizin und Rechtsfragen, „Update Dekompression, Historisches, Bewährtes, Neues“, Jänner 2005 in Klagenfurt
- [6] **DAN** Europe Bulletin Board: Alert Diver 1 Quarter 2001,
- [7] **DAN** Nitrox Workshop Durham, November 3, 2000
- [8] Zauchner H, Renner H, Tauchen am Bergsee, 2013: i-book, ISBN 978-3-200-02982-8
<https://itunes.apple.com/at/book/tauchen-am-bergsee/id722386261?mt=11>
- [9] Zauchner H, Tauchgangsplanung, 2018, e-book, BoD-Verlag, ISBN 9783752817379
<https://www.bod.de/buchshop/tauchgangsplanung-helmut-zauchner-9783752817379>

Das vorliegende Skriptum wurde bereits im Zuge des TSVÖ- Dekompressionsseminars 2005 in Klagenfurt [5] überarbeitet. Die bis dahin verwendeten Diagramme wurden durch Tabellen ersetzt. Die Tabellen von 2007 wurden weiterentwickelt. Die Inhalte des Skriptums wurden 2018 auf die Grundausbildung B* zugeschnitten.

Das Grunddesign und die abgebildeten Diagramme wurden von Wolfgang Singer CMAS M** AUT 223/98 ausgearbeitet und als Beitrag zur Tauchsicherheit zur Verfügung gestellt.



1 Warum wir Nitrox brauchen

⇒ Nitrox bis 40 % Sauerstoff wird „sicherer“ als Pressluft bezeichnet

Der Inertgasanteil im Atemgas wird durch Beimischung von Sauerstoff verringert. Man erreicht eine verminderte Aufsättigung der Gewebe, so dass die Tauchflasche in den meisten Fällen bereits leer ist bevor die Nullzeit zu Ende geht. Die Entfernung zur nächsten Dekomkammer verliert somit an Bedeutung.

⇒ Nitrox kann zwar weder den Tiefenrausch noch die Dekokrankheit ausschließen ...

die Grenzen werden jedoch bei richtiger Anwendung des Atemgases hinausgeschoben, so dass die Sicherheit eines Tauchers maßgeblich erhöht werden kann.

⇒ Nitrox bis 40 % erscheint als Atemgas der Zukunft für den „Normalverbraucher“

Jeder Taucher kann auf einem Tauchschiiff - meistens ohne Mehrpreis - die Sicherheit von Nitrox in Anspruch nehmen.

⇒ Die Anwendung von Nitrox ist nicht kompliziert

Auf einem Tauchschiiff wird der Sauerstoffanteil gemessen, mit der aus einer Tabelle abgelesenen Höchsttauchtiefe in eine Liste eingetragen und durch Unterschrift bestätigt. Der Taucher muss vor dem Tauchgang seinen Computer auf das Atemgas einstellen und darf die jeweilige Höchsttauchtiefe nicht überschreiten. Die verwendeten Tauchflaschen sind so klein, dass die Sauerstoffbelastung für Urlaubstaucher die zulässige Grenze nicht erreichen kann.

⇒ Die Ausbildung ist nicht kompliziert

Es sind Grundkenntnisse über die Auswirkungen des Sauerstoffdrucks und die veränderten Nullzeiten bei unterschiedlichen Gasmischungen erforderlich. Es soll das Bewusstsein geschaffen werden, dass die Verwendung sauerstoffangereicherter Luft mit erweiterter Verantwortung verbunden ist. Der Taucher soll seinen Nitroxcomputer einstellen, ablesen und seine Anzeigen richtig interpretieren können. Der Taucher soll seinen Tauchgang mit Nitrox planen können. Das Tauchen selbst ist nicht anders als Tauchen mit Pressluft.

⇒ Nitrox ermöglicht Tauchgänge in hochgelegenen Bergseen

Die Verkürzung der Nullzeiten in Bergseen kann mit Nitrox kompensiert werden, so dass der Tauchgang mit einer Meerestabelle geplant werden kann.

⇒ Nitrox kann die Sicherheit sogar bei tiefen Tauchgängen erhöhen

Eine geringe Beimischung von Sauerstoff vermindert den Stickstoffanteil. Der kritische Stickstoffdruck wird ein paar Meter tiefer erreicht, ohne dass der kritische Sauerstoffdruck überschritten wird. Die Gefahr des Tiefenrausches kann somit auch in größerer Tiefe vermindert werden.

⇒ Tauchen mit Nitrox ermöglicht Tauchen mit Kreislauf-Tauchgeräten (Rebreather)

Die Nullzeiten werden ausgenutzt, die „Blasenwand“ wird vermindert. Die scheuen Meeresbewohner werden nicht mehr verschreckt und lassen sich länger und leichter beobachten.

⇒ Nitrox ermöglicht 4 Tauchgänge pro Tag, weil sich Taucher frischer fühlen.

2 Was ist Nitrox?

Nitrox ist Teil der englischen Wörter

Nitrogen
(Stickstoff)

und

Oxygen
(Sauerstoff).

Nitrox wird durch Anreicherung der Atemluft mit Sauerstoff erzeugt. Man findet auch die englische Bezeichnung

EANx = Enriched Air Nitrox (angereicherte Luft).



Bild 1: SafeAir

Einzelne Organisationen verwenden den Begriff „**SafeAir**“ um die erhöhte Sicherheit bei der Verwendung sauerstoffangereicherter Luft herauszustreichen.

Nitrox21 ist „normale“, trockene Atemluft mit einem Anteil von 21 % Sauerstoff und 79 % inerten (= reaktionsträgen) Gasen wie Stickstoff und Edelgasen (sog. Inertgasen), die sich nicht am Stoffwechsel beteiligen. Stickstoff und Edelgase werden von Tauchern meist unter dem Begriff „Stickstoff“ zusammengefasst.

NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) ist die U.S. Behörde, die sich auf die Belange der Ozeane, der Hauptwasserstraßen und der Atmosphäre konzentriert. Die von NOAA eingeführten Atemmischungen werden weltweit verwendet:

Tabelle 1: verschiedene Atemgemische

Sauerstoffanteil	Inertgasanteil	Verschiedene Bezeichnungen			
28 %	72 %	-	-	EAN28	Nitrox28
32 %	68 %	NOAA1	NN32	EAN32	Nitrox32
36 %	64 %	NOAA2	NN36	EAN36	Nitrox36
40 %	60 %	-	-	EAN40	Nitrox40

3 Was bringt Tauchen mit Nitrox?

- Nullzeiten von Nitrox tabellen sind schwer vergleichbar, weil man wenig übereinstimmende Tiefen findet

Tabelle 2: Nullzeiten

Sauerstoffanteil	Nullzeit in 30 m Tiefe
21 %	17 min
32 %	25 min
40 %	35 min

- ⇒ Mit steigendem Sauerstoffanteil wird die Nullzeit deutlich länger.
- ⇒ Die Nullzeiten wurden den TDI Tabellen aus dem ursprünglichen **Lehrbuch des TSVÖ** [1] entnommen



Bild 2: bergseetaugliche Nitroxcomputer

⇒ **ACHTUNG:**

Die angegebenen Nullzeiten dienen nur zur Planung. Der Tauchgang selbst, muss mit einem modernen **Nitroxcomputer** durchgeführt werden.



3.1 Der Partialdruck der Inertgase wird vermindert

Für die Auswirkungen des Atemgemisches auf den menschlichen Organismus sind die veränderten Partialdrücke der Gase verantwortlich.

- ⇒ Die Nullzeiten werden länger.
- ⇒ Es kann länger und öfter getaucht werden.
- ⇒ Die Gefahr des Tiefenrausches wird durch den verminderten Stickstoffdruck geringer.
- ⇒ Geringere Gewebedrucke nach einem vergleichbaren Tauchtag oder einer Tauchwoche.
- ⇒ Geringerer Gewebedruck bedeutet geringere Blasenentwicklung.
- ⇒ Mit einem Nitroxcomputer können die langen Nullzeiten, die sich trotz Wiederholungstauchgängen ergeben, ausgenützt werden.
- ⇒ Mit Nitrox sind 4 Tauchgänge pro Tag üblich geworden.

3.2 Der Partialdruck des Sauerstoffs wird erhöht

Nitrox32 enthält 32 % Sauerstoff. In einer Tiefe von 40 m steigt der Umgebungsdruck auf 5 bar und der Sauerstoffdruck auf 32 % dieses Wertes ($5 \text{ bar} \times 32/100 = 1,6 \text{ bar}$).

1,6 bar Sauerstoffdruck ist die Unbedenklichkeitsgrenze von NOAA für Tauchgänge mit Nitrox im „warmen“ Meer.

Die Grenze wird oft missverstanden. **1,6 bar ist unbedenklich**. Erst wenn die Atmung von 1,6 bar Sauerstoff (mit Kreislaufgeräten) **länger als 45 m** dauert oder wenn mit Nitrox32 **tiefer als 40 m** getaucht wird, dann beginnt die Gefahr von Vergiftungserscheinungen.

3.2.1 Vergiftung der Lunge

Dauert die Atmung bei einem Sauerstoffdruck größer als 0,5 bar sehr lang, wie bei medizinischen Anwendungen, so können Veränderungen der Lungenbläschen und **Wasseransammlungen in der Lunge** (Ödeme) entstehen.

Es gibt Tabellen, welche angeben, wie viele OTU's (**Oxygen Tolerance Units**) pro Tag für die Behandlung mit Sauerstoff zulässig sind, wobei die Dosis „1 OTU“ der Atmung von reinem Sauerstoff mit 1 bar während 1 min entspricht.

Am ersten Tag sind etwa 850 OTU zulässig, so dass für den Nitroxtaucher dieses pulmonale (die Lunge betreffende) Risiko **absolut vernachlässigbar** ist.



3.2.2 Vergiftung des Zentralnervensystems (Sauerstoffverträglichkeit)

Paul Bert beschrieb die Giftwirkung (Toxizität) des Sauerstoffs auf das Zentralnervensystem. Es kommt auf die „Dosis“ an. Je länger die **Einwirkdauer** und je höher der **Druck**, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit von Vergiftungserscheinungen.

NOAA hat Tabellen veröffentlicht, welche angeben, wie lang sich ein Taucher einem bestimmten Sauerstoffdruck aussetzen darf, ohne dass Vergiftungserscheinungen auftreten (Unbedenklichkeitsgrenze). Eine zusätzliche Tabelle gibt an, wie schnell die Sauerstoffbelastung des „Central Nervous System“ (CNS) ansteigt.

CNS = 30 % heißt, dass die Sauerstoffdosis auf 30 % des zulässigen Wertes gestiegen ist. CNS = 100 % ist wichtig für Taucher mit Kreislaufgeräten und heißt, dass die höchstzulässige Dosis erreicht wurde. „Ab jetzt“ muss mit Vergiftungserscheinungen gerechnet werden.

3.2.3 Unverträgliches Material

Nicht nur menschliche Gewebe, wie die Lunge, können durch lang anhaltenden hohen Sauerstoffdruck angegriffen werden, sondern auch ungeeignete Teile von Tauchgerätschaften, wie **Dichtungen (O-Ringe), welche mit Sauerstoff in Berührung stehen.**

Wenn Nitrox mit hohem Sauerstoffanteil (mehr als Nitrox40) verwendet werden soll, muss die Ausrüstung zuerst dem sog. „**Sauerstoffservice**“ unterzogen werden, bei dem sie gereinigt wird und alle ungeeigneten Teile durch „sauerstoffkompatible“ (für reinen Sauerstoff geeignete) Teile ersetzt werden. Der Sauerstoffservice wird von den internationalen „Standards für die Tauchindustrie“ bei einem **Sauerstoffanteil über 40 Vol. %** vorgeschrieben.

3.2.4 Erhöhte Brandgefahr

Bei Sauerstoffanteilen **über 60 %** können sich Kohlenwasserstoffe auf Erdölbasis „**spontan selbst entzünden**“. Bei sehr hohen Sauerstoffdrücken, wie sie bei **unsachgemäßer Aufbereitung** von Nitrox auftreten können, beginnt die Gefahr, dass Fettreste durch Druckwellen und die damit verbundene Temperaturerhöhung entzündet werden (und darüber hinaus explodieren können). Das Arbeiten mit reinem Sauerstoff erfordert besondere Sauberkeit und eine eigene Ausbildung. Armaturen für reinen Sauerstoff sind „fettfrei“ und so konstruiert, dass der Druck beim Öffnen des Ventils nicht schlagartig, sondern langsam zunimmt und daher eine Selbstentzündung ausgeschlossen werden kann. Weil **bis 60 %** Sauerstoff keine Selbstentzündung möglich ist [7], ergibt sich mit **Nitrox40** ein erheblicher **Sicherheitsabstand**.

Laut einer Aussendung von Dick Rutkowski, dem Direktor der NOAA Tauchausbildung und Gründer von IAND (International Association of Nitrox Divers), sind in den letzten 50 Jahren „hunderttausende“ von normalen Tauchflaschen, Atemreglern und Tauchhelmen mit Nitroxmischungen bis 40 % verwendet worden. Es hat nie ein Problem mit einer sog. „Explosion“ oder einem „Sauerstofffeuer“ gegeben. Die Richtlinien von OSHA (Occupational Safety and Health Administration), US Navy, NOAA und USCG (US Coast Guard) schreiben daher (wie erwähnt) den „Sauerstoffservice“ erst bei Sauerstoffanteilen über 40 % vor.

Bei Sauerstoffanteilen bis 40 % wird die „normale“ Tauchausrüstung verwendet.

Für Pressluft mit 300 bar (z.B. Atemschutzgeräte der Feuerwehr) muss die Ausrüstung in Österreich weder sauerstoffkompatibel (für reinen Sauerstoff ausgelegt) noch sauerstofffrei (fettfrei) sein. Pressluft mit 300 bar hat einen Sauerstoffdruck von 63 bar. Nitrox32 mit

200 bar hat einen Sauerstoffdruck von 64 bar. Die Drücke sind gleich. Trotzdem „wird gesagt“ dass in Österreich für Nitrox32 keine „normalen“ Ausrüstungsgegenstände verwendet werden dürfen. Es darf auch kein Jacket oder Trockentauchanzug mit Atemmischungen über 21 % Sauerstoff belüftet werden, denn für sauerstoffangereicherte Luft wurden in Österreich die **„Deutschen Schutzvorschriften“ für reinen Sauerstoff** beschlossen.

Es gibt bestimmte Metalle und Kunststoffe, die zur Funkenbildung neigen, wenn sie sich berühren. In explosionsgefährdeten Räumen dürfen daher beispielsweise nur Hämmer aus Kupfer verwendet werden, weil bei Schlägen mit einem Hammer aus Stahl Funken entstehen können. Die Vorschriften für explosionsgefährdete Räume werden in Österreich auf das Tauchen mit Nitrox übertragen, obwohl die internationale Sicherheitsorganisation **DAN** in einem „Workshop“ („state-of-the-art of nitrox diving“ in Durham, November 2000) [7] festgestellt hat, dass eine **erhöhte Brandgefahr bei Sauerstoffanteilen bis 40 % nicht nachweisbar** ist.

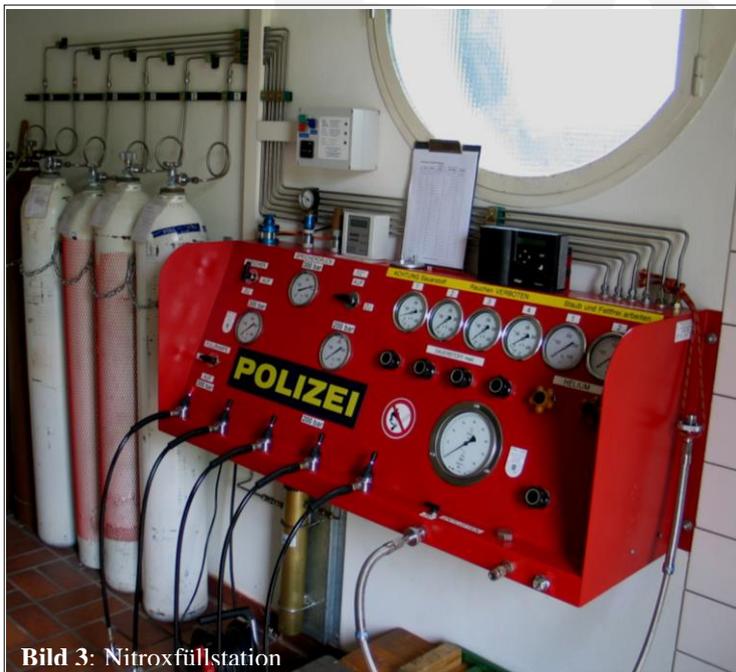


Bild 3: Nitroxfüllstation

Möglicherweise werden Normen und Zulassungsbedingungen in Österreich „unterschiedlich“ ausgelegt. Während einzelne Nitrox-Füllstationen nur Flaschen mit Sauerstoffventil, Außengewinde und Schutzkorb füllen, gibt es andere, welche nur Flaschen mit „normalen“ deutschen Anschlüssen füllen. Darüber hinaus gibt es für sauerstofffreie Atemregler und Flaschen neue Gewinde (zuletzt M26x2). Im Bereich des österreichischen Innenministeriums (Bild = Einsatzkommando Cobra) werden jedenfalls diese Gewinde (Stand 2010) nicht verwendet.

Die Auslegung der deutschen Vorschriften, dass mit mehr als 21 % Sauerstoff angereicherte Luft in Österreich als reiner Sauerstoff anzusehen ist, sollte von Experten jedenfalls nicht noch weiter verschärft werden, in dem „man“ im vorausseilenden Gehorsam die Tauchtiefe entsprechend reinem Sauerstoff auf 6 m begrenzt oder Jackets und Trockenanzüge verbietet, weil sie bei Gebrauch nicht sauerstoffrein sein können ...

Das Füllen einer sauerstofffreien Nitroxflasche ist Sache des Fachhandels oder einer Tauchbasis. Die Mischung von Nitrox aus Sauerstoff und Luft (Partialdruckmethode siehe Bild) darf nur von ausgebildeten Fachleuten durchgeführt werden.

Außerhalb Österreichs gibt es teilweise gar keine sauerstofffreien Flaschen mehr, weil Nitrox bis 40 % Sauerstoff zunehmend so erzeugt und gefüllt wird, **dass keine Berührung mit reinem Sauerstoff mehr möglich ist.**



4 Grenze der Sauerstoffverträglichkeit

Der menschliche Körper verträgt bei lang andauernden medizinischen Anwendungen einen Sauerstoffdruck von höchstens 0,5 bar. Steigt der Druck, so wird die Zeit bis zum Auftreten von neurologischen Komplikationen (Vergiftungserscheinungen des zentralen Nervensystems) immer kürzer. Bei 1,8 bar Sauerstoff wird die maximalzulässige „Sauerstoffdosis“ innerhalb von 2 Minuten erreicht! Mit **Tauchtiefe** und **Tauchzeit** werden die einzelnen Gewebe nicht nur mit Inertgas, sondern auch mit Sauerstoff aufgeladen. Mit jedem Wiederholungstauchgang wird die Sauerstoffdosis vergrößert.

„Die Sauerstoffuhr beginnt zu laufen“

Je höher der Sauerstoffanteil der Atemmischung und je höher der Druck, desto schneller wird die Grenze der Sauerstoffverträglichkeit (CNS = 100 %) erreicht.

Wenn man mit Nitrox32 in einer Tiefe von 40 m taucht, so wird laut NOAA-Tabelle die **Grenze der Sauerstoffverträglichkeit in 45 min erreicht** (solche Zeiten gibt es nur mit Kreislaufgeräten). Die beginnende Vergiftung des Zentralnervensystems zeigt sich durch Schwindel, Übelkeit, Atembeschwerden und Sehstörungen, wie auch bei anderen Gasvergiftungen. Darüber hinaus entstehen **Muskelzuckungen** besonders im Gesicht (die der Betroffene selber nicht bemerkt) und am Ende steht ein **Krampf** mit **Bewusstlosigkeit**.

Die Bewusstlosigkeit kommt unerwartet, und ohne Vorwarnung wenn sich ein Taucher länger als 45 min einem Sauerstoffdruck von 1,6 bar aussetzt (Gefahr durch Ertrinken).

Wird mit Pressluft getaucht, so wird 1,6 bar Sauerstoffdruck in einer Tiefe von 66 m erreicht. Es wird angenommen, dass Unfälle von Tauchern in extremen Tiefen nicht nur auf den Tiefenrausch sondern auch auf eine Sauerstoffvergiftung zurückzuführen sind. Mit Nasstauchanzügen im Kaltwasser unserer Bergseen können Sauerstoffvergiftungen schon in geringerer Tiefe auftreten. Der zulässige Sauerstoffdruck wird daher bei anstrengender Arbeit und großer Kälte (= starke körperliche Belastung) **von NOAA auf 1,4 bar begrenzt**. 1,4 bar wird bei Luftatmung in 57 m Tiefe erreicht.

CMAS hat sich an andere Organisationen angenähert und die Grenze für den Sauerstoffdruck von 1,6 bar auf 1,4 bar verschoben. Die am Ende eines Tauchgangs zu erwartende CNS-Belastung ist daher für Sporttaucher, welche in der Nullzeit tauchen, **vernachlässigbar**.

⇒ **ANMERKUNG:**

*Wenn 1,4 bar Sauerstoff nicht überschritten wird und die Oberflächenpause 1 ½ Stunden dauert, kann die CNS-Unbedenklichkeitsgrenze mit den üblichen Tauchflaschen nicht erreicht werden. Die Überprüfung der CNS % macht jedoch bei extrem langen Tauchzeiten Sinn, wenn der zulässige Maximaldruck mit **Kreislaufgeräten** ausgenutzt wird.*



5 NOAA-TABELLE

NOAA hat die Tabelle „Belastungsgrenzen für den Sauerstoffdruck“ erstellt, welche angibt, wie lange ein Taucher oder ein Patient einem angegebenen Sauerstoffdruck ausgesetzt werden darf, ohne dass Vergiftungserscheinungen zu erwarten sind. Bei 1,6 bar Sauerstoff darf ein **Einzeltauchgang 45 min** dauern. **Verteilt über 24 Stunden sind 3 derartige Tauchgänge zulässig** (2 ½ Stunden unbedenkliche Sauerstoffbelastung).

Wird eine der Grenzen überschritten, so kann es zu Vergiftungserscheinungen kommen, es müssen aber noch keine Komplikationen auftreten. Die Grenzen sind zufälligen Änderungen unterworfen wie eben Temperatur, Tagesverfassung und körperliche Belastung. Wie erwähnt beträgt die von NOAA empfohlene Grenze **1,6 bar**. Für hohe körperliche Belastung (schwere Arbeit oder große Kälte) hat NOAA die Druckgrenze auf **1,4 bar** herabgesetzt.

Die Tiefe in welcher der Maximaldruck auftritt wird als **MOD (Maximum Operation Depth)** bezeichnet. Von der folgenden Tabelle kann die Sauerstoffbelastung bei Drücken von 1,4 bis 1,6 bar abgelesen werden. Die für Taucher wichtigen Tiefen, Drücke und Zeiten wurden den verschiedenen Tabellen von NOAA und TDI entnommen und so angeordnet, dass sie zusammenhängend gelesen werden können:

Der NITROXPLANER kann weder DCS noch Luftmangel ausschließen, tauche mit Computer

NITROX				(Luft)	Flaschendruck in bar														bar		
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60		
16	15	13	12	5	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5	
19	17	16	14	10	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	3.3	
22	20	18	16	14	38	35	33	30	28	25	23	20	18	15	13	10	8	5	3	4.0	
24	22	20	19	16	35																
27	25	23	21	18	32																
30	27	25	23	20	30																
30	27	25	23	22	28																
32	30	27	25	24	26																
32	30	27	25	26	25																
34	32	30	27	28	24																
34	32	30	27	30	23																
36	34	32	29	32	21																
39	36	34	31	34	20	19	18	16	15	14	12	11	10	8	7	5	4	3		7.3	
40	36	34	31	36	20	18	17	16	14	13	12	10	9	8	7	5	4			7.7	
43	38	36	33	38	19	18	16	15	14	13	11	10	9	8	6	5	4			8.0	
45	40	38	35	40	18	17	16	14	13	12	11	10	8	7	6	5	4			8.3	
47	42	40	37	42	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5	3			8.7	
	45	40	37	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4				9.2	
25	29	34	40	Meter	Grundzeiten für Meeresniveau, 20 Liter/min, 50 bar Reserve																
28	32	37	44	1.4 bar	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	min						
30	34	40	47	1.6 bar	5	14	18	23	27	32	36	41	45	min							
				MOD	PO2	CNS	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	%				

Die Atemmischung Nitrox32 hat in MOD = 34 m Tiefe den Sauerstoffdruck PO2 = 1,4 bar. In 30 min Grundzeit steigt die Sauerstoffbelastung auf CNS = 20 %. Erst nach 150 min (2 ½ Stunden in 34 m Tiefe) wird die Unbedenklichkeitsgrenze CNS = 100 % erreicht.

Die meisten Tauchsportverbände empfehlen 1,4 bar als Grenzwert, weil der Sauerstoff dann für Sporttaucher vernachlässigbar ist und die Überprüfung der CNS-Belastung entfällt. Kleinere Sauerstoffdrücke als 1,4 bar wurden nach dem Vorbild von TDI nicht eingezeichnet.

Signifikante CNS-Werte können nur bei einem Wiederholungstauchgang erreicht werden, wenn man an der 1,6 bar Grenze taucht. An der Oberfläche soll 1 ½ Stunden Pause eingelegt werden, damit die Sauerstoffbelastung wieder halbiert wird und vor allem die Mikrobläschen abklingen können. Der gleichförmige Anstieg der Sauerstoffbelastung (CNS% oder OLF = Oxygen Limit Fraction = Bruchteil der Belastungsgrenze mit Sauerstoff) wird von Nitroxcomputern berechnet und numerisch oder als Balkendiagramm angezeigt.



6 Der Sauerstoffdruck begrenzt die Höchsttauchtiefe

- Der Partialdruck des Sauerstoffs im Atemgas hängt von der **Tauchtiefe** und dem **Sauerstoffanteil** der Nitroxmischung ab. Nitrox32 hat in 40 m Tiefe den Sauerstoffdruck:

$$\text{Sauerstoffdruck} = \text{Umgebungsdruck} \times \text{Sauerstoffanteil} = 5 \text{ bar} \times 32/100 = 1,60 \text{ bar}$$

Mit Nitrox32 darf laut NOAA im „warmen“ Meer 40 m getaucht werden (Höchsttauchtiefe = **Maximum Operation Depth = MOD**). Nach 45 min beim höchstzulässigen Sauerstoffdruck in 40 m erreicht der Taucher die höchstzulässige Sauerstoffbelastung CNS = 100 %. Die zulässige Aufenthaltsdauer von **45 min** kann aber nicht erreicht werden, weil mit einer 15 Liter Flasche das Atemgas in **40 m** Tiefe bereits nach **23 min** zu Ende ist. **Tauchen mit 1,6 bar Sauerstoff stellt somit für Sporttaucher keine größere Gefährdung dar, als Tauchen mit Luft.**

Wird ein geringerer Sauerstoffdruck als Grenze gewählt, so ergibt sich eine geringere Höchsttauchtiefe. Wird der Sauerstoffdruck um 0,1 bar verändert, so verändert sich die MOD um 3 m.

- **Steigt man beispielsweise von 40 m auf 37 m auf**, so vermindert sich der Sauerstoffdruck von 1,6 auf 1,5 bar.

$$\text{Sauerstoffdruck} = 4,7 \text{ bar} \times 32/100 = 1,50 \text{ bar}$$

Nur **3 m weniger tief**, bei einem Sauerstoffdruck von **1,5 bar**, wird laut NOAA-Tabelle die CNS-Belastungsgrenze erst nach **2 Stunden = 120 min** erreicht.

Die NOAA Tabelle zeigt, dass die **Verringerung der Tauchtiefe um 3 m** den Sauerstoffdruck um 0,1 bar (von 1,6 auf 1,5 bar) vermindert und dadurch **die zulässige Tauchzeit beinahe verdreifacht.**

Nitroxcomputer wurden daher anfänglich vom Hersteller fix auf 1,5 bar Sauerstoffdruck eingestellt. Taucher wurden 3 m vor der Grenze akustisch gewarnt. Es entstand ein Sicherheitspolster, der verhindern sollte, dass 1,6 bar unabsichtlich überschritten wird. Bei 1,5 bar Sauerstoff sind die Flaschen von Sporttauchern leer, lang bevor die Grenze der Sauerstoffverträglichkeit erreicht werden kann.

- **Die weitere Verminderung des Sauerstoffdrucks auf 1,4 bar** (entsprechend schwerer körperlicher Belastung) **verringert die MOD um insgesamt 6 m von 40 m auf 34 m.**

CMAS hat den Sauerstoffdruck auf 1,4 bar gesenkt. **Der Beschluss den Druck zu verringern bedeutet aber nicht, dass der Sauerstoff dadurch „gefährlicher“ geworden ist als vorher - im Gegenteil!** In 34 m steigt die zulässige Aufenthaltsdauer mit Nitrox32 auf **2 ½ Stunden**. Die **15 Liter** Flasche ist jedoch bereits **nach 26 min leer**. Die CNS-Planung wird somit hinfällig und **die Pufferzone bis zur NOAA Grenze wird auf 6 m vergrößert.**

Tauchen mit 1,4 bar Sauerstoff in 34 m Tiefe verringert den Stickstoffanteil im Atemgas gegenüber Luft und verlängert die Nullzeit um die Hälfte.



7 Äquivalente Lufttiefe (Equivalent Air Depth = EAD)

Die Inertgasbelastung der einzelnen Gewebe (Aufsättigung) hängt ganz allgemein vom Inertgasdruck des Atemgemischs in der Tauchtiefe ab. Standardtabellen berücksichtigen die Aufladung der Gewebe bei Luftatmung.

Man kann für die Abschätzung der Nullzeit eine beliebige Presslufttabelle für Meeresniveau verwenden, wenn man die Tiefe bestimmt, in welcher der gleiche Inertgasdruck herrscht, wie bei der „Atmung von Nitrox“.

Durch den verminderten Inertgasdruck ist diese „Lufttiefe“ **geringer als die wahre Tiefe** und die abgelesenen Nullzeiten werden länger.

Der **Inertgasdruck** des Atemgases hängt ab vom **Inertgasanteil** der Mischung und vom **Druck des Atemgases** (= Umgebungsdruck in der jeweiligen Seehöhe und Tiefe).

- **Wie groß ist der Inertgasdruck von Nitrox 32 im Meer in 33 m Tiefe?**

$100\% \text{ Atemgas} - 32\% \text{ Sauerstoff} = 68\% \text{ Inertgas}$

$68\% = 68/100 = 0,68$. Dieser „Stickstoff-Bruchteil“ wird in der engl. Literatur als „nitrogen fraction fN_2 “ bezeichnet (und in „faktischer“ Inertgasanteil rück-übersetzt).

$\text{Inertgasdruck} = (\text{Wasserdruck} + \text{Luftdruck}) \times \text{Inertgasanteil}$

$\text{Inertgasdruck von Nitrox32 in 33 m} = (3,3 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 0,68 = 2,92 \text{ bar}$

- **Wie groß ist der Inertgasdruck von Luft im Meer in 27 m Tiefe?**

$100\% \text{ Atemgas} - 21\% \text{ Sauerstoff} = 79\% \text{ Inertgas}$

$79\% = 79/100 = 0,79$

$\text{Inertgasdruck von Luft in 27 m} = (2,7 \text{ bar} + 1 \text{ bar}) \times 0,79 = 2,92 \text{ bar}$

Beide Inertgasdrücke sind gleich groß.

Wird in 33 m Tiefe Nitrox32 geatmet, so herrscht der gleiche Inertgasdruck wie bei Luftatmung in 27 m Tiefe.

Ein Tauchgang mit Nitrox32 in 33 m Tiefe erhöht den Druck der gelösten Inertgase gleich weit wie ein gleich langer Presslufttauchgang in 27 m Tiefe.

Man kann daher eine Lufttabelle verwenden und zur Ermittlung der Nullzeit anstatt der wahren Tiefe = 33 m die verminderte „äquivalente Lufttiefe“ = 27 m einsetzen. Die Lufttiefe wird nicht berechnet, sondern von der EAD Tabelle abgelesen.

Gleicher Inertgasdruck \Rightarrow gleiche Aufsättigung \Rightarrow gleiche Nullzeit.

8 Atemgas und Tauchtiefe

Die Tauchtiefe wird einerseits durch den Stickstoffdruck (Tiefenrausch) und andererseits durch den Sauerstoffdruck (CNS-Vergiftung) begrenzt.

- **Bei Verwendung von Luft beträgt der Inertgasdruck in 40 m Tiefe:**

$$\text{Inertgasdruck} = 5 \text{ bar} \times (1 - 0,21) = 5 \text{ bar} \times 0,79 \approx 4 \text{ bar}$$

Mit Luft wird in 40 m die Verträglichkeitsgrenze für den Stickstoff erreicht.

$$\text{Sauerstoffdruck} = 5 \text{ bar} \times 0,21 \approx 1 \text{ bar}$$

- **Wird in 40 m Tiefe Nitrox32 verwendet, so beträgt der Inertgasdruck:**

$$\text{Inertgasdruck} = 5 \text{ bar} \times (1 - 0,32) = 5 \text{ bar} \times 0,68 = 3,4 \text{ bar}$$

Der Sauerstoffdruck beträgt jedoch: $5 \text{ bar} \times 0,32 = 1,6 \text{ bar}$

Mit Nitrox32 wird in 40 m die Verträglichkeitsgrenze für den Sauerstoff erreicht.

Je nach gemessenem Sauerstoffanteil der Atemmischung ist eine andere Gaskomponente für die Tiefengrenze verantwortlich. Mit Nitrox28 kann man z.B. 45 m tief tauchen, ohne dass die Grenzen von Sauerstoff- oder Stickstoffdruck erreicht werden.

Trockene Luft hat 21 Vol. % Sauerstoff. Der Rest 79 Vol. % wird vereinfacht als Stickstoff bezeichnet. Der Sauerstoff im Atemgas wird mit dem sog. Sauerstoff-Analyser gemessen und am Tauchcomputer eingestellt.

Die Gefährdung des Tauchers durch unzureichende Dekompression ist grundsätzlich größer als durch eine Sauerstoffvergiftung. Mit 3-stelligen „Analysern“ werden Zwischenwerte gemessen, sodass am Nitroxcomputer der nächst kleinere Sauerstoffanteil (das ist der größere Inertgasanteil) eingestellt wird.

Wahrer Sauerstoffanteil = angezeigter Sauerstoffanteil \pm 1 %.

Da heute immer mehr Taucher verstehen, wie ungenau die Sauerstoffmessung ist, werden im zunehmenden Maß wieder 2-stellige Sauerstoffmessgeräte verwendet (Bild). Taucher, die von der angezeigten Genauigkeit überzeugt sind, geben die MOD jedoch immer noch auf 3 Stellen genau an.

Viele ältere Computer sind noch fix auf 1,5 bar eingestellt, damit sie den **Taucher 3 m vor der Grenze warnen**. Neuere Computer können auf größere und kleinere Sauerstoffdrücke eingestellt werden, doch je geringer die eingestellte Grenze ist, desto größer wird die Bereitschaft sie zu überschreiten, wenn alle anderen Taucher tiefer (bei den Langusten) tauchen. Bei der **Partnerrettung** darf die Gefahr, in die sich der Retter durch Erhöhung des Sauerstoff- oder Stickstoffdrucks begibt, nicht unkalkulierbar werden.

Anmerkung: Während die NOAA-Tabelle die höchstzulässigen Tauchzeiten für Sauerstoffdrücke von **0,6-1,6 bar** angibt, wurde in einer Zusatztablette (CNS Tracking) angegeben, wie schnell die Sauerstoffbelastung bei Sauerstoffdrücken **bis 1,8 bar** ansteigt:



Bild 4: O2 Analyser

- Der erste Bereich dieser Tabelle beschreibt Drücke von 0,6 bar bis 1,6 bar:

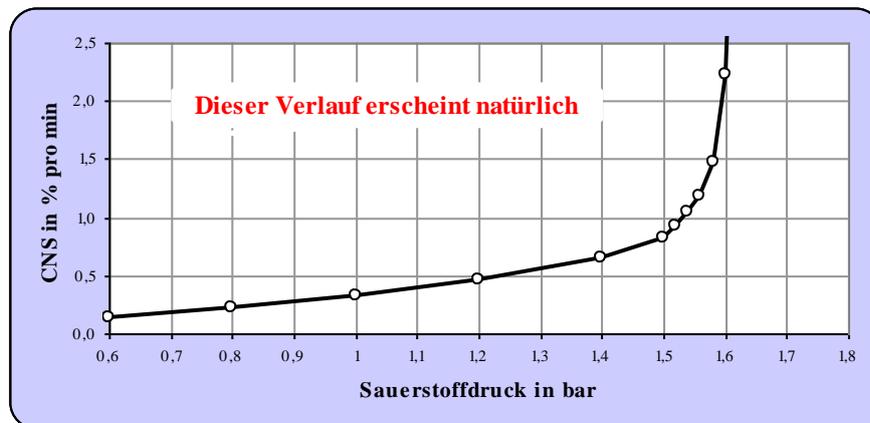


Diagramm 1: Sauerstoffbelastung in % pro min

- Im „gedehnten“ Bereich von 1,6 bar bis 1,8 bar wurde angegeben, dass die Belastung durch den Sauerstoff besonders schnell zunimmt.

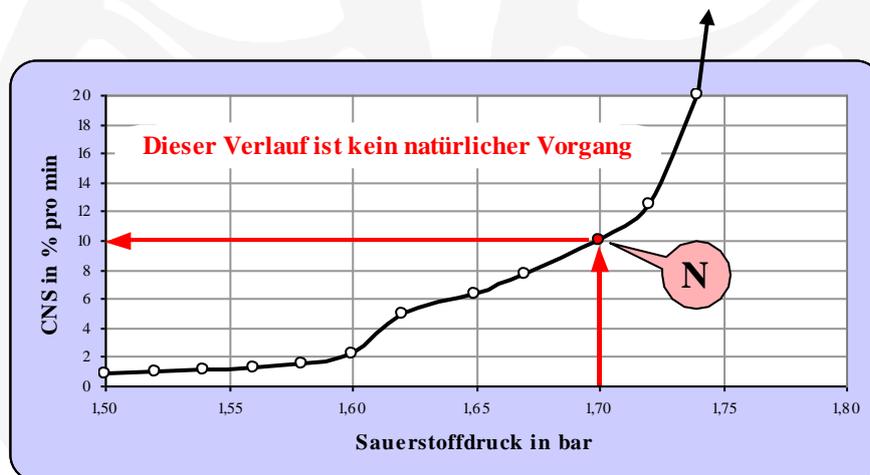


Diagramm 2: Sauerstoffbelastung in % pro min (erweitert)

- (N) Bei 1,7 bar steigt die Belastung beispielsweise um **10 % pro Minute**, so dass die Grenze der Sauerstoffverträglichkeit (CNS = 100 %) in 10 min erreicht wird.

Bei 1,8 bar ist diese Grenze bereits in 2 Minuten erreicht! (50 % pro Minute kann nicht eingezeichnet werden).

Die Sauerstoffbelastung steigt so schnell, dass NOAA zum Tauchen keine höheren Sauerstoffdrücke als **1.6 bar** erlaubt.

Der Unterschied von 1,6 auf 1,8 bar entspricht einer **Vergrößerung der Tiefe um 6 m !**
 Auch eine nur kurzzeitige Überschreitung der Sauerstoffgrenze um mehrere Meter **zum Zweck der Partnerrettung** kann den Retter an die Grenze bringen, wo er sich selbst ernsthaft gefährdet.



8.1 Neurologisches Risiko

A c h t u n g !

Wenn die NOAA Grenze 1,6 bar überschritten wird muss beachtet werden, dass 6 m tiefer, bei einem Sauerstoffdruck von 1,8 bar die Verträglichkeitsgrenze (CNS = 100 %) innerhalb von 2 min erreicht wird.

Bei 1,8 bar beginnt das lebensbedrohliche Risiko für Sporttaucher

Wenn ein Sporttaucher darauf achtet, **die zulässige Tiefe für 1,6 bar Sauerstoffdruck nicht zu überschreiten**, so kann er von seinem Nitroxcomputer nur in Ausnahmefällen und nur kurzzeitig eine CNS-Belastung von 35 % ablesen. Die für Sporttaucher üblichen 12 Liter Tauchflaschen sind einfach zu klein, um die Verträglichkeitsgrenze nützen zu können.

Tauchen mit „Best Mix“ heißt Tauchen direkt an der Verträglichkeitsgrenze. Das Gemisch wird so eingestellt, dass in der gewählten Tiefe 1,6 bar Sauerstoffdruck herrscht.

6 m tiefer bei 1,8 bar wird der Sauerstoffdruck nach NOAA lebensbedrohend,
6 m höher bei 1,4 bar kann er von Sporttauchern vernachlässigt werden.

Tauchen mit „Best Mix“ wird empfohlen, wenn die gewählte Grenze des Sauerstoffdrucks nicht unabsichtlich überschritten werden kann (Set-Point von Kreislaufgeräten, Bergungsarbeiten).

„Dekompressionslose Druckluftarbeiten“ (30 m, 60 min) werden mit der Bühlmantabelle für Nitrox50 in 0-700 m Seehöhe bei **2 bar** Sauerstoff durchgeführt. Die neue USN Tabelle 2016 beginnt die Dekompression in 9 m Tiefe mit **1,9 bar** Sauerstoff. Die Grenzen von NOAA (**1,6/1,4 bar**) berücksichtigen einen **Messfehler von ± 1 Vol. % Sauerstoff**. Sie wurden so niedrig gewählt, dass nach medizinischem Ermessen nichts mehr passieren kann, schon gar nicht bei einem durchschnittlich geübten Sporttaucher.

Der TSVÖ hat „seine“ Sauerstoffgrenze ursprünglich auf **1,45 bar** festgelegt, aber später auf **1,4 bar** korrigiert, damit der Druck auch auf Tauchcomputern eingestellt werden konnte. **Die „Pufferzone“ bis zur Grenze von NOAA beträgt nun 6 m**. Eine kurzzeitige Überschreitung der MOD um mehrere Meter zur Partnerrettung hat somit keine Folgen.

Die Oberflächenpause zwischen 2 Tauchgängen soll mindestens 1 ½ Stunden dauern. Man erreicht dadurch, dass die Sauerstoffbelastung halbiert wird und die Blasen im venösen Blut abklingen.

Der wesentliche Faktor ist immer die zulässige Tauchzeit (**2 ½ Stunden**), welche gemeinsam mit dem gewählten Sauerstoffdruck (**1,4 bar**) die Unbedenklichkeitsgrenze von NOAA bei großer körperlicher Belastung bildet.

Die Verminderung des Sauerstoffdrucks von 1,6 auf 1,4 bar bedeutet, dass die MOD mit Nitrox32 von 40 m auf 34 m verringert wurde und sich die Planung der CNS% für Sporttaucher erübrigt. Die MOD ist somit keine Grenze, vor welcher Taucher Angst haben müssen.



8.2 Dekompressionsrisiko

Wird bei der Sauerstoffmessung 1 % zu viel angezeigt, so ist der tatsächliche Sauerstoffanteil im Atemgas geringer und der Inertgasanteil 1 % größer. Die Erhöhung um 1 % entspricht einer Vergrößerung der Tauchtiefe um etwa 1 m. Bei Zwischenwerten von 3 stelligen Sauerstoffmessgeräten wird daher am Nitroxcomputer der nächst größere Inertgasanteil und somit **der kleinere Sauerstoffanteil** eingestellt.

Anfänglich wurden Nitroxflaschen vor dem Füllen entleert. 3 Flaschen wurden gleichzeitig zuerst mit Sauerstoff und dann mit Luft gefüllt (sog. Partialdruckmethode), also stimmte am Ende der gemessene Sauerstoffanteil. Heute wird Nitrox mit sog. **Molekularfiltern** gewonnen. Die Tauchflaschen werden vor dem Füllen nicht mehr entleert. Wenn vorher Luft gefüllt wurde und viel Restluft in der Flasche war, hat ein Taucher anstatt Nitrox32 beispielsweise nur Nitrox26 in der Flasche und behält die Einstellung des Computers für Luft bei. Es kümmert sich heute niemand mehr darum, ob die Taucher den Sauerstoffanteil, den sie in die Füllliste eintragen, wirklich gemessen haben (Eigenverantwortung des Tauchers).

- Sicherheitsbewusste Nitroxtaucher verwenden ohnehin **Luftcomputer**. Sie tauchen mit Nitrox32, bleiben unter der 40 m Grenze und respektieren die vom Computer angezeigte Nullzeit. Ihre „Sicherheit“ wird erhöht, weil sie sich von den zulässigen Grenzen noch weiter entfernt halten als Taucher mit Nitroxcomputer. Ihr tatsächlicher Sicherheitsspielraum kann jedoch nur schwer verglichen werden.
- Wenn jemand vergisst, dass er seinen Tauchcomputer von 36 % Sauerstoff zurückstellen muss, wenn er mit Luft taucht, entsteht ein großes Risiko. Um das Risiko für den Reiseveranstalter zu verringern, wird auf Tauchschiffen nur mehr mit Nitrox32 getaucht. Urlaubstaucher unterschreiben, dass sie die angegebene MOD = **34 m** nicht überschreiten werden. Wenn sie den tiefsten Punkt des Tauchgangs beispielsweise mit **110 bar** verlassen, so können sie die Nullzeit auch mit Luft nicht überschreiten.

Der NITROXPLANER kann weder DCS noch Luftmangel ausschließen, tauche mit Computer

NITROX				(Luft)	Flaschendruck in bar												bar				
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	min	
				Tiefe in Meter	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5	
16	15	13	12	▶ 10																	
19	17	16	14	▶ 12																	
22	20	18	16	▶ 14																	
24	22	20	19	▶ 16																	
27	25	23	21	▶ 18																	
30	27	25	23	▶ 20																	
30	30	27	25	▶ 22																	
32	30	27	25	▶ 24																	
34	32	30	28	▶ 26																	
34	34	32	30	▶ 28																	
36	34	32	30	▶ 30																	
39	36	34	32	▶ 32	21	20	19	17	16	14	13	11	10	9	7	6	4	3	7.3		
38	36	34	32	▶ 34	20	19	18	16	15	14	12	11	10	8	7	5	4	3	7.3		
40	36	34	32	▶ 36	20	18	17	16	14	13	10	9	8	7	5	4					
43	38	36	34	▶ 38							11	10	9	8	6	5	4		12	8.0	
45	40	38	36	▶ 40							11	10	8	7	6	5	4		12	8.3	
47	42	40	38	▶ 42							10	9	8	7	6	5	3		12	8.7	
45	42	40	38	▶ 44							10	9	8	7	5	4			12	9.2	
				▶ 45							8	7	5	4							
				Meter	Grundzeiten für Meeressniveau, 20 Liter/min, 50 bar Reserve																
25	29	34	40	▶ 1.4 bar	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	min						
28	32	37	44	▶ 1.5 bar	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	min						
30	34	40	47	▶ 1.6 bar	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45	min						
				MOD ▶	PO2 ▶	CNS 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 %															

In 34 m Tiefe beträgt die Nullzeit 12 min. Der Druckverbrauch mit der 12 Liter Flasche beträgt 7.3 bar/min. Nach 12 min in 34 min hat der Taucher 12 min × 7.3 bar/min ≈ 90 bar verbraucht und noch 110 bar Druck in der Flasche. Wenn er den Aufstieg mit 110 bar beginnt, kann er das Ende der Nullzeit auch mit Luft nicht überschreiten.

Schwarze Grundzeit heißt Nullzeit





9 Nitroxtabellen:

Anstatt für Nitrox neue Tabellen zu berechnen, hat **TDI** nach dem Vorbild von NOAA die Dekompressionsprofile der **Bühlmann-Standardtabelle für Luft** hergenommen und Tiefen eingesetzt, welche die passenden „Lufttiefen“ 15 m, 18 m, 21 m usw. ergeben. Diese Methode erforderte für jede Atemmischung einen eigenen Tabellensatz. Für den Höhenbereich 0-700 m wurden Tabellen für 21, 28, 32, 36 und 40 % Sauerstoff samt zusätzlichen Nullzeit- und Wiederholungstabellen veröffentlicht, die sich von der „Lufttabelle“ nur durch die veränderten „Tauchtiefen“ unterscheiden [1]. Um ohne die vielen Einzeltabellen auszukommen, wurden die veränderten Tauchtiefen in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

NITROX				(Luft)
40	36	32	28	Tiefe
Tiefe in Meter				
16	15	13	12	▶ 10
19	17	16	14	▶ 12
22	20	18	16	▶ 14
24	22	20	19	▶ 16
27	25	23	21	▶ 18
30	27	25	23	▶ 20
	30	27	25	▶ 22
	32	30	27	▶ 24
	34	32	30	▶ 26
		34	32	▶ 28
		36	34	▶ 30
		39	36	▶ 32
			38	▶ 34
			40	▶ 36
			43	▶ 38
			45	▶ 40
			47	▶ 42

Für **Nitrox32** wurden der TDI Tabelle beispielsweise die Tiefen von 13 bis 39 m entnommen. **Sie ergeben Lufttiefen von 10 m bis 32 m.** Mit diesen Lufttiefen geht man in eine ZH-L16 Tabelle für Pressluft. 2 m Intervalle brauchen auf der Tabelle weniger Platz als 1 m Intervalle und erleichtern die Ablesung von Zwischenwerten. Die TDI Tabellen wurden somit nicht verändert sondern lediglich umgestaltet.

Die angegebenen Tiefen wurden für Meeressniveau berechnet, damit für die Ablesung der Nullzeit eine Meerestabelle verwendet werden kann. Rundungsfehler von $\pm \frac{1}{2}$ Meter werden in den TDI Tabellen nicht kritisch behandelt. Eine Abweichung von $\pm \frac{1}{2}$ m kann jedoch **unterschiedliche Nullzeiten** ergeben. Gerundete Rechenergebnisse können deshalb von den gerundeten Tabellenwerten abweichen.

NITROX				(Luft)
40	36	32	28	Tiefe
Tiefe in Meter				
16	15	13	12	▶ 10
19	17	16	14	▶ 12
22	20	18	16	▶ 14
24	22	20	19	▶ 16
27	25	23	21	▶ 18
30	27	25	23	▶ 20
	30	27	25	▶ 22
	32	30	27	▶ 24
	34	32	30	▶ 26
		34	32	▶ 28
		36	34	▶ 30
		39	36	▶ 32
			38	▶ 34
			40	▶ 36
			43	▶ 38
			45	▶ 40
			47	▶ 42

Der Nitroxplaner kann gemeinsam mit beliebigen „Lufttabellen“ angewendet werden. Es können aber auch **Bergseetabellen** verwendet werden. Man geht beispielsweise mit der gemessenen Tiefe **33 m** in die Spalte, die der Atemmischung **Nitrox32** entspricht und liest rechts die zugehörige **Lufttiefe = 27 m** ab. Wer Zwischenwerte verwendet, vermeidet zusätzliche Rundungsfehler.

Die Tabellen für die einzelnen Atemmischungen enden unten mit der jeweiligen **Maximaltiefe MOD**, wo der von NOAA empfohlene Sauerstoffdruck **1,6 bar** auftritt.

Weil der Sauerstoffdruck mit der Seehöhe abnimmt, wird die CNS-Belastung im Bergsee geringer. In der Praxis wird mit **5 verschiedenen Atemmischungen in 3 Höhenbereichen** getaucht. **Mit dem Tiefenzuschlag erspart man sich die vielen, für die einzelnen Mischungen notwendigen zusätzlichen Bergseetabellen.**

Durch die Anwendung des „ZH-L16 Tiefenzuschlags“ ist es möglich geworden, **mit einer einzigen Tabelle Tauchgänge in verschiedenen Höhenbereichen** zu planen. Die geplante Tiefe wird rechnerisch durch einen Zuschlag von **10 % pro 1000 m Seehöhe** vergrößert. Mit dieser „Rechentiefe“ geht man in den NITROXPLANER und sucht die Lufttiefe, mit welcher man wiederum die Nullzeit bestimmt. Die Anwendung des Tiefenzuschlags wird bei den Planungsbeispielen beschrieben.



10 Der NITROXPLANER (2014)

NITROX				(Luft)	Flaschendruck in bar															bar	
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	min	
				5	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5	
				10	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	3.3	
				12	41	38	35	33	30	27	25	22	19	16	14	11	8	5	3	3.7	
				14	38	35	33	30	28	25	23	20	17	15	13	10	8	5	3	4.0	
				16	35	32	30	28	25	23	21	18	17	15	13	11	9	7	5	2	4.3
				18	32	30	28	26	23	21	19	17	15	13	11	9	6	4	2	4.7	
				20	30	28	26	24	21	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	5.0	
				22	28	26	24	22	20	18	16	14	12	11	9	8	6	4	2	5.3	
				24	26	25	23	21	19	18	16	14	12	11	9	8	6	4	3	5.7	
				26	25	23	22	20	18	17	15	13	12	10	8	7	5	4	3	6.0	
				28	24	22	21	19	17	16	14	13	11	9	8	6	5	3	3	6.3	
				30	23	21	20	18	17	15	13	11	9	8	6	5	4	3	2	6.7	
				32	21	20	19	17	16	14	13	11	10	9	7	6	4	3	2	7.0	
				34	20	19	18	16	15	14	13	11	10	9	7	6	4	3	2	7.3	
				36	19	18	17	15	14	13	11	10	9	8	6	5	4	3	2	7.7	
				38	18	17	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	8.0	
				40	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	8.3	
				42	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	8.7	
				44	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	9.2	
				45	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
				47	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0		
				49	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0		
				50	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0		
				52	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0		
				54	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0		
				56	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0		
				58	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
				60	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				62	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				64	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				66	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				68	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				70	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				166	0																



11 Tauchgangsplanung

NITROX (Luft)				Tiefe
40	36	32	28	Tiefe in Meter
				5
16	15	13	12	▶ 10
19	17	16	14	▶ 12
22	20	18	16	▶ 14
24	22	20	19	▶ 16
27	25	23	21	▶ 18
30	27	25	23	▶ 20
	30	27	25	▶ 22
	32	30	27	▶ 24
	34	32	30	▶ 26
	36	34	32	▶ 28
	39	36	34	▶ 30
		38	36	▶ 32
		40	38	▶ 34
		43	40	▶ 36
		45	42	▶ 40
		47		▶ 42

Um auf die CNS-Planung verzichten zu können, wurde von CMAS der Sauerstoffdruck auf 1,4 bar vermindert. Um bei der Tauchgangsplanung ohne die vielen Einzeltabellen auszukommen wurden die Nitroxtabellen zusammengefasst.

Die Zusammenfassung der verschiedenen Nitroxtabellen wurde von Bob Cole, dem Präsidenten der britischen Sub-Aqua Association SAA übernommen.

Betrachten wir die Lufttiefe von Nitrox28 in 40 m Tiefe, so sehen wir, dass sie um 10 % geringer ist als die wahre Tiefe.

Die Lufttiefe ist immer weniger tief als die gemessene „Nitroxtiefe“. Sie lässt sich ausreichend genau ermitteln, indem man von der gemessenen Tiefe einen Prozentwert abzieht.

11.1 „Kompensation der Bergseehöhe mit Nitrox“

In der Arbeit „BERGSEETAUCHEN“ [4] wurde die „Methode des Tiefenzuschlages“ abgeleitet und beim TSVÖ- Seminar Klagenfurt im Jänner 2005 [5] der Öffentlichkeit vorgestellt. **Pro 1000 m Seehöhe wird zur Tiefe ein Zuschlag von 10 % zugezählt.** Der Zuschlag berücksichtigt nicht nur die Seehöhe, sondern auch den Aufstieg zum Bergsee. Die „Zuschlagsmethode“ kann sehr einfach mit der „Abzugsmethode“ für Nitrox kombiniert werden. Beide werden in Verbindung mit dem NITROXPLANER angewendet.

Der NITROXPLANER kann weder DCS noch Luftmangel ausschließen, tauche mit Computer

NITROX (Luft)				Flaschendruck in bar													bar					
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	min		
				5	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5		
16	15	13	12	▶ 10	45																	
19	17	16	14	▶ 12	41																	
22	20	18	16	▶ 14	38																	
24	22	20	19	▶ 16	35																	
27	25	23	21	▶ 18	32																	
30	27	25	23	▶ 20	30																	
	30	27	25	▶ 22	28																	
	32	30	27	▶ 24	26																	
	34	32	30	▶ 26	25																	
	36	34	32	▶ 28	24																	
	39	36	34	▶ 30	23																	
		38	36	▶ 32	21																	
		40	38	▶ 34	20																	
		43	40	▶ 36	20																	
		45	42	▶ 40	18																	
		47	42	▶ 42	17																	
				▶ 45	16																	
					15	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	3	Liter	8.7			
					16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4				9.2		
▼	▼	▼	▼	Meter	Grundzeiten für Meeresebene, 20 Liter/min, 50 bar Reserve																	
25	29	34	40	▶ 1.4 bar	▶ 15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	min							
28	32	37	44	▶ 1.5 bar	▶ 12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	min							
30	34	40	47	▶ 1.6 bar	▶ 5	9	14	18	23	27	32	36	41	45	min							
MOD ▶				PO2 ▶	CNS	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	%						

3000 m: 30 % von 20 m = 6 m Tiefenzuschlag
Nitrox36: 20 m - 14 m = 6 m Tiefenabzug

2000 m: 20 % von 30 m = 6 m Tiefenzuschlag
Nitrox32: 30 m - 24 m = 6 m Tiefenabzug

1000 m: 10 % von 40 m = 4 m Tiefenzuschlag
Nitrox28: 40 m - 36 m = 4 m Tiefenabzug

Wenn der Zuschlag infolge der Bergseehöhe **gleich groß** ist wie der Abzug durch den erhöhten Sauerstoffgehalt, ist die Bergseehöhe mit Nitrox kompensiert worden und man kann zur Planung eine **Meerestabelle** verwenden.



Verwendet man in 1000 m Höhe Nitrox28, so kann die Nullzeit mit einer **ZH-L16 Meerestabelle** geplant werden. Dasselbe gilt, wenn man in 2000 m Nitrox32 verwendet usw. Die Begrenzung des Aufstiegsintervalls auf 2000 m und die konservativen Tiefenzuschläge erzeugen mit zunehmender Höhe einen Sicherheitspolster.

Eine „1000 m Höhenstufe“ wird durch eine „NOAA Nitroxstufe“ kompensiert.

Bei der „Kompensation der Bergseehöhe mit Nitrox“ wird der Aufstieg zum Bergsee berücksichtigt, daher entfällt die Wartezeit einer Bergseetabelle für die „Anpassung an den verminderten Luftdruck“.

Die Methode erscheint auch in Höhen über 2500 m zur Planung von Tauchgängen verwendbar. **Durch den Sauerstoffmangel** ($pO_2 < 0,16$ bar) tritt jedoch die **Akklimatisierung der Gewebe in den Vordergrund**. Mit der Bühlmantabelle 2501-4500 m muss vor dem Tauchgang eine Wartezeit von **mindestens 24 Stunden** in Höhe des Tauchplatzes eingehalten werden. Außerdem kann der Taucher bewusstlos werden, wenn der Sauerstoffdruck beim Umstieg von Nitrox auf Luft in extremen Höhen über 2500 m zu schnell auf einen zu geringen Wert fällt (Off-Syndrom).

11.2 Höhenbereich und Tiefenzuschlag

Wenn ein Taucher **unter 700 m** (erster Höhenbereich) wohnt und **über 700 m** (zweiter Höhenbereich) tauchen will, kann er TDI Tabellen (Bühlmann) nur eingeschränkt anwenden. **Der Aufstieg von einem Höhenbereich in den nächsten ist nicht vorgesehen**. Das Aufstiegsintervall der Bergseetabelle beträgt $2500m - 700m = 1800m$. Die 701-2500 m Tabelle kann daher nur zur Planung des Aufstiegs von 0-1800 m verwendet werden.

Das in der Arbeit „BERGSEETAUCHEN“ [4] vorgestellte **Bergsee-Rechenprogramm** wurde **für Nitrox und ZH-L16 erweitert** (NITROX16.BAS), sodass Vergleichsrechnungen durchgeführt werden können. Der Aufstieg bis zum **tiefen Sicherheitsstopp** (entsprechend den „Empfehlungen der Arbeitsgruppe“ des TSVÖ [3]) wurde bereits in den Entwurf der neuen „Planungstabelle 2014“ eingearbeitet.

Anmerkung für Interessierte:

Mit dem ZH-L16 NITROXPLANER ist eine Planungstabelle entstanden, deren Grundzeiten so gewählt wurden, dass sich sog. Dekozeiten von 4, 8, 12 und 16 min ergeben. Der für die einzelnen Dekoprofile notwendige Druck beträgt daher 10, 20, 30 und 40 bar. Die Tauchgangsplanung wird dadurch so einfach, dass nicht mehr gerechnet werden muss.

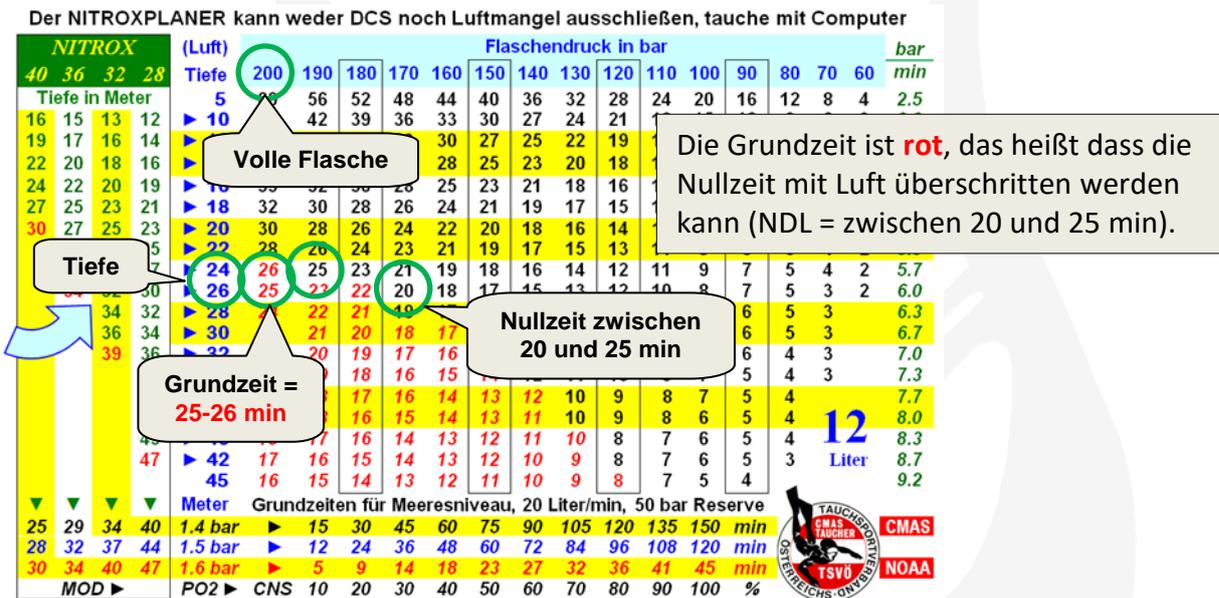
Der „Tiefenzuschlag“ von 10 % pro 1000 m Seehöhe berücksichtigt nicht nur den verminderten Luftdruck sondern auch den Aufstieg zum Bergsee. Wenn der Höhenunterschied während des Aufstiegs 2000 m nicht übersteigt, kann der rechnerische Aufstieg zum Tauchplatz auf 15 min verkürzt werden. Damit ist der Tiefenzuschlag auch zur Tauchgangsplanung für Einsatztaucher geeignet.



11.3 Planungsbeispiele

- Für wie lang reicht das Atemgas in einer vollen Tauchflasche in 25 m Tiefe im Meer?

Die „neue Grundzeit“ entspricht der **Dauer der Versorgung mit Atemgas**. Es handelt sich dabei nicht allein um die am Grund verbrachte Zeit, sondern um die gesamte Zeit, in welcher die **Aufsättigung des Leitgewebes** erfolgt, also die **Zeit vom Abtauchen bis zum Erreichen des tiefen Sicherheitsstopps** von **DAN** in halber Tiefe, maximal 15 m.



- Der **erste Planungsschritt** ist immer die Messung des Flaschendrucks und die Ableseung der erreichbaren Grundzeit. Eine volle **12 Liter Flasche** reicht in **25 m** Tiefe für **25-26 min**. Am Ende der Grundzeit ist der Flaschendruck von 200 bar auf **50 bar** gefallen.





- Welche Atemmischung muss/kann verwendet werden, wenn der 25 m Tauchgang in 1000 m Seehöhe stattfindet?

Der NITROXPLANER kann weder DCS noch Luftmangel ausschließen, tauche mit Computer

NITROX (Luft)		Flaschendruck in bar												bar							
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	min	
16	15	13	12	5	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5	
19	17	16	14	10	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	3.3	
22	20	18	16	14	38	35	33	30	28	25	23	20	18	15	13	10	8	5	3	4.0	
24	22	20	19	16	35	32	30	28	25	23	21	18	16	14	12	9	7	5	2	4.3	
27	25	23	21	18	32	30	28	26	24	21	19	17	15	13	11	9	6	4	2	4.7	
30	27	25	23	20	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	5.0	
30	27	25	23	22	28	26	24	23	21	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	5.3	
32	30	27	25	24	26	25	23	21	19	18	16	14	12	11	9	7	5	4	2	5.7	
34	32	30	27	26	25	23	22	20	18	17	15	13	12	10	8	7	5	3	2	6.0	
34	32	30	27	28	24	22	21	19	17	16	14	13	11	9	8	6	5	3		6.3	
36	34	30	27	30	23	21	20	18	17	15	14	12	11	9	8	6	5	3		6.7	
36	34	30	27	32	21	20	19	17	16	14	13	11	10	9	7	6	4	3		7.0	
38	36	34	30	42	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4	3		7.3	
40	38	36	34	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4				7.7	
42	40	38	36	42	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	6	5	4			8.0	
44	42	40	38	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4			8.3	
46	44	42	40	42	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5	3			8.7	
48	46	44	42	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4				9.2	
25	29	34	40	1.4 bar	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150						min	
28	32	37	44	1.5 bar	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120						min	
30	34	40	47	1.6 bar	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45						min	
MOD					PO2	CNS				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	%	

Rechentiefe in 1000 m = 25 m + 10 % = 28 m

12 Liter

- ① Beim ersten Planungsschritt wurde für 25 m Tiefe 25-26 min Grundzeit abgelesen
- ② Für den Aufstieg bis 1000 m Seehöhe beträgt die *Rechentiefe* = 25 m + 10 % ≈ 28 m. In 1000 m liegt die Nullzeit zwischen 20 und 25 min und ist kürzer als die Grundzeit. Damit nicht dekompriert werden muss, wird der Sauerstoffanteil um eine Stufe vergrößert:

Der NITROXPLANER kann weder DCS noch Luftmangel ausschließen, tauche mit Computer

NITROX (Luft)		Flaschendruck in bar												bar							
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	min	
16	15	13	12	5	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5	
19	17	16	14	10	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	3.3	
22	20	18	16	14	38	35	33	30	28	25	23	20	18	15	13	10	8	5	3	4.0	
24	22	20	19	16	35	32	30	28	25	23	21	18	16	14	12	9	7	5	2	4.3	
27	25	23	21	18	32	30	28	26	24	21	19	17	15	13	11	9	6	4	2	4.7	
30	27	25	23	20	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	5.0	
30	27	25	23	22	28	26	24	23	21	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	5.3	
32	30	27	25	24	26	25	23	21	19	18	16	14	12	11	9	7	5	4	2	5.7	
34	32	30	27	26	25	23	22	20	18	17	15	13	12	10	8	7	5	3	2	6.0	
34	32	30	27	28	24	22	21	19	17	16	14	13	11	9	8	6	5	3		6.3	
36	34	30	27	30	23	21	20	18	17	15	14	12	11	9	8	6	5	3		6.7	
36	34	30	27	32	21	20	19	17	16	14	13	11	10	9	7	6	4	3		7.0	
38	36	34	30	42	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4	3		7.3	
40	38	36	34	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4				7.7	
42	40	38	36	42	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	6	5	4			8.0	
44	42	40	38	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4			8.3	
46	44	42	40	42	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5	3			8.7	
48	46	44	42	45	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4				9.2	
25	29	34	40	1.4 bar	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150						min	
28	32	37	44	1.5 bar	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120						min	
30	34	40	47	1.6 bar	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45						min	
MOD					PO2	CNS				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	%	

Rechentiefe = 28 m

12 Liter

Beispiele zur Tauchgangsplanung findet man in:
H. Zauchner, Tauchgangsplanung, 2018, e-book, BoD-Verlag, ISBN 9783752817379

<https://www.bod.de/buchshop/tauchgangsplanung-helmut-zauchner-9783752817379>



- Welche Atemmischung ist für einen 34 m Tauchgang (Maximaltiefe) mit der 12 Liter Flasche zweckmäßig?

Der NITROXPLANNER kann weder DCS noch Luftmangel ausschließen, tauche mit Computer

NITROX		(Luft)	Flaschendruck in bar												bar							
40	36	32	28	Tiefe	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	min		
16	15	13	12	5	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2.5		
19	17	16	14	10	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	3.3		
22	20	18	16	14	38	35	33	30	28	25	23	20	18	15	13	10	8	5	3	4.0		
24	22	20	19	16	35	32	30	28	26	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	2	4.3	
27	25	23	21	18	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	11	9	6	4	2	4.7	
30	27	25	23	20	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	5.0		
30	27	25	23	22	28	26	24	22	20	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	5.3		
32	30	27	25	24	26	25	23	21	19	18	16	14	12	11	9	7	5	4	2	5.7		
34	32	30	28	26	25	23	22	20	18	17	15	13	12	10	8	7	5	3	2	6.0		
34	32	30	28	26	24	22	21	19	17	16	14	13	11	9	8	6	5	3		6.3		
34	32	30	28	26	24	22	21	19	17	16	14	13	11	9	8	6	5	3		6.7		
36	34	32	30	28	27	25	23	21	19	18	16	14	12	11	9	7	6	4	3		7.0	
38	36	34	32	30	29	27	25	23	21	20	18	16	14	12	11	9	7	5	4	3		7.3
40	38	36	34	32	31	29	27	25	23	22	20	18	16	14	12	10	8	6	5	4		7.7
43	41	38	36	34	33	31	29	27	25	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	5		8.0
45	43	40	38	36	35	33	31	29	27	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6		8.3
47	45	42	40	38	37	35	33	31	29	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8		8.7
																						9.2
25	23	21	20	1.4 bar	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150							min	
28	32	37	44	1.5 bar	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120							min	
30	34	40	47	1.6 bar	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45							min	
MOD	PO2	CNS	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100										%

Annotations in the image:
 ① Grundzeit: 20 min at 34m depth.
 ② Nullzeit mit Nitrox32: 19 min at 34m depth.
 Nullzeit mit Luft: 12 min at 34m depth.

- ① Die 12 Liter Flasche ermöglicht in 34 m Tiefe 20 min Grundzeit. Die Nullzeit beträgt mit Luft jedoch nur 12 min.
- ② Mit Nitrox32 steigt die Nullzeit auf 19 min. Höherwertiges Nitrox kann nicht verwendet werden, weil die MOD von 1.4 bar Sauerstoff sonst überschritten wird. Der Taucher verbringt ja nicht die gesamte Zeit am tiefsten Punkt, daher wird er das Ende der Nullzeit mit der 12 Liter Flasche voraussichtlich nicht erreichen.

11.4 Ergebnisse

Tauchen mit Nitrox ermöglicht „lange“ Tauchgänge, ohne dass das Ende der Nullzeit erreicht wird. Bleibt der Taucher nur 1 m unter der 1,6 bar NOAA-Grenze so kann er CNS = 100 % praktisch nicht mehr erreichen. Beachtet der Taucher die 1,4 bar CMAS-Grenze, so entfällt die CNS-Planung.

Wenn Tauchgänge nicht tiefer als die MOD von 1.4 bar geplant werden, dann kann die CNS% keinen signifikanten Wert erreichen.

Vom NITROXPLANNER kann man nicht nur die Lufttiefe und die Höchsttauchtiefe (MOD), sondern auch den Sauerstoffdruck und die „Sauerstoffuhr“ für Nitrox bis 40 % direkt ablesen. Mit dem NITROXPLANNER ist auch die Planung von Bergseetauchgängen „vom Schreibtisch aus“ möglich ...

Die Zuschlags- & Abzugsmethode ermöglicht die Kompensation der Bergesehöhe mit Nitrox. Ein Tiefenzuschlag von 10 oder 20 % kann von 2 ausgebildeten Tauchern auch unter Wasser während des „tiefen Sicherheitsstopps“ ohne gravierende Fehler gemeinsam berechnet werden (Redundanz).



Der **NITROXPLANER** verwendet als „neu definierte Grundzeit“ die **Dauer der Luftversorgung vom Beginn des Abstiegs bis zum Erreichen des „tiefen Sicherheitsstopps“**, wodurch die fortgesetzte Aufsättigung langsamer Gewebe während eines langsamen Aufstieges berücksichtigt wird. Der Taucher muss somit nicht mehr rechnen, auch wenn er langsamer als 10 m/min aufsteigt.

Es sollte erkannt werden, dass die Sicherheit von Nitrox darin besteht, dass auch ausgedehnte Wiederholungstauchgänge (mit Computer) kaum das Ende der Nullzeit erreichen können und die Entfernung zur nächsten Dekokammer somit an Bedeutung verliert.

So lange die Höchsttauchtiefe von NOAA nicht überschritten wird, besteht für den „durchschnittlichen Urlaubstaucher“ keine Gefahr einer Sauerstoffvergiftung. Manche Taucher vergessen, welche Höchsttauchtiefe sie abgelesen haben. Sie vergessen seltener, welchen Sauerstoffanteil sie gemessen haben. Der Nitroxplaner zeigt ihnen die zulässige Tiefe auch unter Wasser. Darüber hinaus soll erkannt werden, dass sogar eine umfassende Tauchgangsplanung ohne mühsame (und unter Umständen fehlerbehaftete) Rechnungen auskommt.

Tauchgänge müssen grundsätzlich mit modernen Nitroxcomputern durchgeführt werden, weil sie die tatsächlichen Grenzen anzeigen können und die Ablesung einfach ist. Der Taucher kann sich gemeinsam mit seinem Partner immer für einen konservativeren Aufstieg entscheiden. Der Taucher soll sich bewusst sein, wie groß sein gewählter „Sicherheitsrahmen“ ist. Der tiefe Stopp und der Nullzeitstopp werden auch für Tauchgänge mit Nitrox empfohlen.

Was soll beim Tauchen mit Nitrox beachtet werden?

- Sauerstoffanteil messen, Sauerstoffdruck wählen, zugehörige MOD von der vorliegenden Tabelle ablesen, Füllliste eintragen und durch Unterschrift bestätigen.
- Bei Zwischenwerten den kleineren Sauerstoffanteil (= größeren Inertgasanteil) am Computer einstellen (Bedienungsanleitung beachten).
- Das Jacket bleibt an der Flasche. Es dient zur Markierung, damit Flaschen nicht verwechselt werden können.
- Wenn notwendig (für beabsichtigte Lagerung oder Transport) Sauerstoffanteil auf Flaschenetikett oder Klebeband eintragen.
- Wenn nötig Partnerkontrolle: Einstellung von Sauerstoffanteil, Sauerstoffdruck und Höhenbereich vergleichen. Es sollen nur gleichartige Sicherheitspolster eingestellt werden, damit ähnliche Nullzeiten angezeigt werden.
- Beim Tauchen MOD nicht überschreiten. Wenn notwendig, den Partner auf die Grenze aufmerksam machen. Sporttaucher sollen große körperliche Belastungen vermeiden, weil durchschnittliche Tauchcomputer weder die Temperatur der Haut noch große körperliche Belastungen messen können. Bei großen körperlichen Belastungen MOD um 3-6 m entsprechend 0,1-0,2 bar Sauerstoff vermindern.

Mit NOAA1 = Nitrox32 in der 15 Liter Flasche bleibt der durchschnittliche Taucher in der Nullzeit, wenn er 34 m respektiert und den tiefsten Punkt mit 100 bar verlässt.

12 Anwendung von Nitrox

12.1 Aufbereitung

- ⇒ Würde man zur Ansaugluft des Kompressors Sauerstoff mit niederem Druck mischen, könnte man mit geringem Aufwand Nitrox erzeugen. Die Mischung von Nitrox erfordert jedoch eine entsprechende Ausbildung und „für Sauerstoff zugelassene“ Ausrüstung.
- ⇒ Auf Tauchschiffen verwendet man zur Füllung von Tauchgeräten teilweise noch Flaschenbatterien mit Sauerstoff und einen Luftkompressor. **Sauerstofffreie Tauchflaschen** wurden anfänglich mit der Aufschrift „NITROX“, Nummer und Namen gekennzeichnet.



Bild 5: Sauerstoffspeicherflaschen

Zuerst wurde die Flasche weitgehend entleert (gleicher Anfangsdruck). In der Folge wurden mehrere Flaschen zugleich mit Sauerstoff auf einen relativ geringen Druck (z.B. 28 bar) aufgeladen und anschließend mit Pressluft auf 200 bar aufgefüllt. Es kamen also 172 bar Druckluft dazu. Diese Luft enthielt $172 \text{ bar} \times 0,21 = 36 \text{ bar}$ Sauerstoff.

Der Sauerstoffdruck betrug nun $28 \text{ bar} + 36 \text{ bar} = 64 \text{ bar}$ von insgesamt 200 bar. Es wurde daher ein Nitrox mit 32 % Sauerstoff gemischt. Die Sauerstoffanteile in den einzelnen Flaschen wichen geringfügig voneinander ab, weil die restlose Entleerung der Flaschen zu lang gedauert hätte. Die hohe Temperatur der Flasche (300 Kelvin) bewirkte eine relativ schnelle Durchmischung der Gasanteile aufgrund der Molekularbewegung.

- ⇒ Die modernere Methode zur Erzeugung von Nitrox ist die Verwendung eines „Molekularfilters“. Die Luft wird durch eine „Membrane“ in Form von Kunststoffkapillaren gedrückt, durch deren Wände mehr Sauerstoff- als Stickstoffteilchen hindurchwandern können.

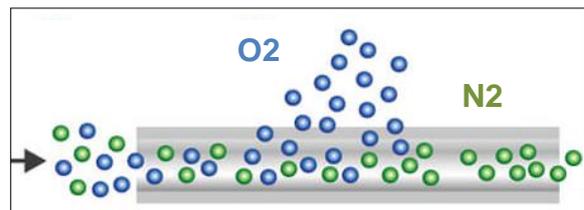


Bild 6: Molekularfilter

Es entsteht daher an der Außenseite der Kapillare gegenüber der Innenseite sauerstoffreichere Luft. Sie kann bis Nitrox40 angereichert werden und wird anschließend mit einem geeigneten Kompressor auf den Flaschendruck verdichtet. Kosten durch Lagerung und Transport von Sauerstoff entfallen. Das Mischungsverhältnis ist so genau, wie die Messung des Sauerstoffanteils. **Da maximal Nitrox40 erreicht werden kann, werden keine sauerstofffreien Flaschen mehr verwendet und es können auch KEINE Regler mit einem sog. „Nitroxgewinde“ angeschlossen werden.**

12.2 Messung

Für Nitroxtaucher genügen einfache Geräte, deren Sensor nur mit Nitrox „angeströmt“ werden muss, bis er eine stabile Anzeige liefert. Die Sensoren dieser Geräte haben eine begrenzte Lebensdauer und sind feuchtigkeitsempfindlich (nicht anblasen).

Wenn die Anzeige in Luft von 21 bzw. 20,9 abweicht, kann sie durch Druck auf den „Kalibrierknopf“ nachjustiert werden. Zuerst dreht der Taucher das Ventil geringfügig auf, dann hält er den „Analyser“ an die Ventilöffnung und wartet, bis die Anzeige „steht“. Der angezeigte Wert beim „Anströmen mit Nitrox“ entspricht dem **Sauerstoffanteil in Vol. %**.

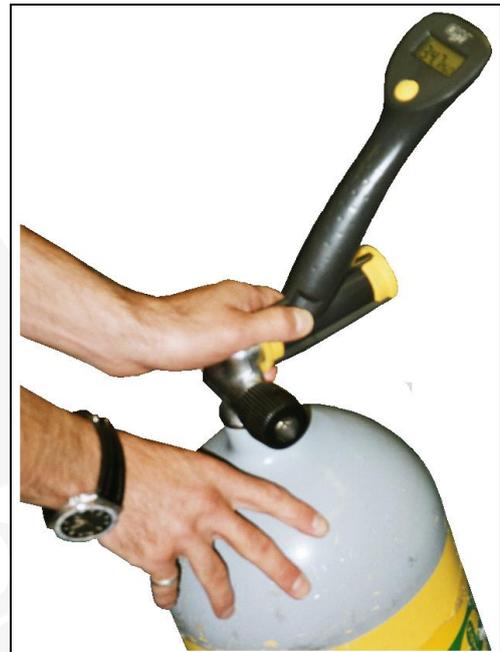


Foto 7: Sauerstoffmessung

12.3 Verwendung von Nitrox

Wie schon erwähnt, fordern die in Österreich angewendeten deutschen Vorschriften, dass mit Sauerstoff angereicherte Luft grundsätzlich **wie reiner Sauerstoff zu behandeln** ist und daher schon bei geringster Anreicherung die strengsten Schutzvorschriften für „reinen“ Sauerstoff unter hohem Druck gelten.

Der Handel ist bemüht, Tauchern die dazu passende Ausrüstung „anzubieten“, die natürlich nicht mehr für Pressluft verwendet werden darf und kann. Von jedem Taucher, der Nitrox verwenden will **wird erhofft, dass er sich eine neue „sauerstoffkompatible“ Tauchausrüstung kauft!** Da alle paar Jahre für sauerstofffreie Flaschen und daher auch für sauerstofffreie Lungenautomaten neue Normen mit veränderten Gewinden vorgeschlagen wurden, sieht es beinahe so aus, als erhoffe sich der Handel, dass sich sicherheitsbewusste Taucher öfters eine neue Tauchausrüstung kaufen.

Damit wird in Österreich der Zugang zum Nitroxtauchen mit hohen Kosten verbunden und dem sicherheitsbewussten Durchschnittstaucher erschwert.

Füllstationen, welche schon bestehen, sind nicht verpflichtet, sich diesen praxisfremden Regelungen anzuschließen und ihre Anlagen bei jedem neuen Normenvorschlag umzurüsten. Das unglückliche Nebeneinander von Normen, die sich gegenseitig ausschließen, führt bei Nitroxtauchern zu einer großen Verwirrung, die nicht zur Sicherheit beitragen kann.



In den meisten Ländern wurde das Tauchen mit Nitrox **bis 40 % Sauerstoff** zur Anhebung der Sicherheit von Urlaubstauchern eingeführt. Auf Tauchschiffen wird bis Nitrox40 die Standardausrüstung verwendet, weil weder NASA noch NOAA, noch die internationale Sicherheitsorganisation **DAN** ein erhöhtes Brandrisiko nachweisen konnten.

Auf vielen Tauchschiffen und Tauchbasen wird Nitrox bereits ohne Mehrkosten angeboten, damit die Sicherheit sowohl für Taucher als auch für den Reiseveranstalter erhöht werden kann. In Österreich hinkt dieses Sicherheitsdenken noch nach.

Flasche mit Ventil und Regler werden beim „**Sauerstoffservice**“ gereinigt und als „Nitrox-kompatibel“ **gekennzeichnet**. Einzelne Füllstationen füllen Flaschen mit „normalen“ deutschen Anschlüssen, andere füllen nur Flaschen mit abweichenden Anschlüssen, damit aufgrund des veränderten Gewindes nur besondere „Nitroxautomaten“ angeschlossen werden können und Verwechslungen ausgeschlossen werden. Die Belüftung von Trockentauchanzügen oder Jacketts mit Nitrox gilt in Teilen Österreichs zur Zeit als verboten, weil man von der „erhöhten Brandgefahr“ ausgeht, welche von den deutschen Vorschriften für „reinen Sauerstoff“ abgeleitet wurde. **„Ob Markierungsbojen mit Nitrox aufgeblasen werden dürfen oder nicht, konnte noch nicht geklärt werden“ ☹**

Wenn sich der Taucher eine zusätzliche Pressluft-Ponyflasche + Lungenautomat + Finimeter + Inflator mit passendem Montagegurt kauft, hat er zwar hohe Kosten, aber er kann Jacket und Anzug vorschriftsmäßig mit Pressluft belüften und im Notfall daraus atmen.

Sollte der Nitroxautomat vereisen, so wird aus diesem Missgeschick ein „Notfall“. **Die Anzeigen des Nitroxcomputers sind dann für Genauigkeitsapostel „ungültig“, weil anstatt Nitrox Luft geatmet wird ☹**

Die Kosten für den „sicherheitsbewussten Taucher“ werden durch die Auslegung von „Expertenmeinungen“ erhöht, während gleichzeitig der „Sicherheitsgewinn“ eines Tauchers durch Nitrox geschmälert wird.

Es erscheint daher nützlich, die in Österreich angewendeten behinderlichen Vorschriften (oder wenigstens den Anwendungsbereich bis 40 % Sauerstoff) zu überdenken. Es wäre **für die verschiedenen Tauchverbände ein Verdienst**, die Unsicherheit zu beenden und zu den Grundlagen von NOAA sowie zur Vorarbeit von TDI zurückzukehren und damit eine praxisnahe Annäherung an jene Länder herbeizuführen, wo mit Nitrox getaucht wird.

- Der Taucher muss den Sauerstoff im Atemgas nachmessen. Sobald die Anzeige „steht“ liest er den Sauerstoffanteil ab, trägt ihn gemeinsam mit der Höchsttauchtiefe in die Füllliste ein und bestätigt die Angaben mit seiner Unterschrift. Am Ende wird der Computer eingestellt.
- Der Taucher übernimmt dadurch die Verantwortung, dass er die eingetragene MOD nicht überschreitet und dass nur er mit dieser Nitroxfüllung taucht. Es wird auch angenommen, dass eine teilweise gefüllte Flasche nicht mit Luft aufgefüllt wird, denn Luftatmung verkürzt die Nullzeit gegenüber Nitroxatmung.
- Es gibt keine Verwechslungsgefahr, weil das Jacket an der Flasche bleibt. Wenn nicht unmittelbar nach der Messung getaucht wird, „notiert“ man den Sauerstoffanteil auf einem Klebeband oder Anhänger damit die Information nicht verloren geht.



13 Fragen und Antworten

1. Wie hoch sind Sauerstoff- und Inertgasdruck von Nitrox40 in 30 m Tiefe?

Sauerstoffdruck = 4 bar \times 40/100 = 1,6 bar

Inertgasdruck = 4 bar \times (1- 40/100) = 2,4 bar

2. Welche Sauerstoffdrücke verträgt „der Mensch“ über sehr lange Zeit?

Drücke von 0,16 bar (Luft in 2500 m Höhe) bis 0,5 bar (Luft in 14 m Tiefe)

3. Welche Kennzeichen sind charakteristisch für eine Sauerstoffvergiftung?

Muskelzuckungen, besonders im Gesicht, die der Betroffene selber nicht merkt, plötzlicher Krampfanfall mit Bewusstlosigkeit.

4. Welche Werte gibt die NOAA-Tabelle an?

Sie gibt an, wie lange sich ein Taucher dem angegebenen Sauerstoffdruck aussetzen darf, ohne dass eine CNS-Vergiftung zu erwarten ist.

5. Welche Sauerstoffdruckgrenzen gibt NOAA an?

1,6 bar für Urlaubstaucher und 1,4 bar bei großer Kälte (mit Nasstauchanzügen) oder bei anstrengender Arbeit.

6. Was bezeichnet man als MOD?

Die Höchsttauchtiefe in welcher der gewählte Sauerstoffdruck erreicht wird.

7. Wie weit liegen die Tiefen für die NOAA-Druckgrenzen auseinander?

0,2 bar Sauerstoff entspricht für die beiden NOAA Mischungen sehr genau 6 m.

8. Wie verändert sich der Sauerstoffdruck, wenn der Taucher 3 m aufsteigt?

Er wird um 0,1 bar vermindert.

9. Wie lange darf man bei einem Sauerstoffdruck von 1,5 bar tauchen?

2 Stunden.

10. Wie weit steigt die Sauerstoffbelastung bei 1,5 bar Sauerstoff in 1 Stunde?

Sie steigt um 50 % (z. B. von 10 % auf 60 %).

11. Wie weit ist die Sauerstoffbelastung nach einer Oberflächenpause von 1 ½ Stunden zurückgegangen?

Nicht auf 50 %, sondern auf die Hälfte (z.B. von 60 % auf 30 %).

12. Wie groß ist der Sauerstoffdruck von Nitrox32 in 34 m?

4,4 bar \times 32/100 = 1,4 bar

13. Wie tief darf mit Nitrox40 bei großer Kälte (Nasstauchanzug) getaucht werden?

Die Sauerstoffgrenze ist 1,4 bar, daher beträgt die Tiefengrenze 25 m.



14. Wovon hängt der Inertgasdruck eines Gewebes ab?

Vom Anfangsdruck, von der Zeit am Grund und vom Inertgasdruck des Atemgases (Tiefe).

15. Warum haben Nitroxtabellen veränderte Tiefen?

Damit sich die Lufttiefen der Standardtabelle ergeben. Je größer der Sauerstoffanteil, desto weiter liegen die Tiefen auseinander.

16. Wie verändern sich die Nullzeiten mit Nitrox?

Sie werden länger, weil sie mit der geringeren Lufttiefe zusammenhängen.

17. Welche Größen müssen am Computer eingestellt werden?

Die Sauerstoffdruckgrenze (manuell oder mit dem PC über ein „Interface“), der gemessene oder nächst kleinere Sauerstoffanteil (direkt in Vol. % O₂) und der Höhenbereich.

18. Welchen wesentlichen Vorteil hat der Nitroxcomputer gegenüber der Tabelle?

Man kann die durch Nitrox verlängerten Nullzeiten nützen, so dass auch ausgedehnte Wiederholungstauchgänge Nullzeittauchgänge bleiben.

19. Warum wird der gemessene oder nächst kleinere Sauerstoffanteil eingestellt?

Weil die Einstellung dem größeren Inertgasdruck entspricht. Die Gefährdung des Tauchers durch unzureichende Dekompression ist zwar gering, aber wesentlich größer als durch eine Sauerstoffvergiftung.

20. Welches Nitroxgemisch verwendet man in 1000 m Seehöhe, wenn man zur Planung eine Meerestabelle verwenden will?

1000 m werden mit Nitrox28 kompensiert.

21. Wie wirkt sich der Messfehler beim Sauerstoffanteil aus?

Abweichungen von ± 1 Vol. % Sauerstoff sind realistisch, weil die Messung nicht genauer sein kann als der Sauerstoffsensor.

Sauerstoff der Atemluft ± 1 % heißt, dass der wahre Wert 1 Vol. % größer oder kleiner sein kann als der angezeigte Wert (bei Nitrox32 zwischen 31 und 33 %).

Die Dezimalen des Sauerstoffmessgerätes erhöhen die sog. Anzeigegenauigkeit, aber nicht die Messgenauigkeit. 2 Stellen sind realistischer (!).

22. Welcher Sauerstoffdruck wird von CMAS zugelassen?

1,4 bar für den Tauchgang, 1,6 bar für sog. Dekompressionsstufen.

Bei der Berechnung der MOD (SUUNTO) wird vereinfacht angenommen, dass sich der Sauerstoffdruck mit der Seehöhe nicht verändert.

Die Dekompressionsstufen der neuen USN Tabelle beginnen mit Sauerstoff in 9 m Tiefe.

Die „Nitrox-tabelle 50/50 für 0-700 m“ (Nitrox50) gibt 60 min Nullzeit in 30 m Tiefe an.

Die CNS % wird von NOAA offensichtlich sehr restriktiv behandelt.

23. Was bedeutet der Best Mix?

Tauchen bei 1,6 bar Sauerstoff stellt die von NOAA empfohlene Grenze für sicheres Tauchen dar

*Bei 1,8 bar = **6 m tiefer** beginnt die lebensbedrohliche Gefährdung durch Sauerstoff*

*Bei 1,4 bar = **6 m weniger tief** kann der Sauerstoff bereits vernachlässigt werden.*