

SUB
MARINE
CONSULTING

NITROX

Version 2022 / 2023

THE

SUB
MARINE
CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

WWW.SMC-DE.COM

Vorwort & Dank

Wozu dieses Manual?

Es gibt NITROX Ausbildungen in Hülle und Fülle, meistens gibt es hierzu auch jede Menge annehmbares Material. Jedes dieser Materialien hat aber, bedingt durch die Organisation, die diesen Kurs zu verantworten hat, eine spezifische Sichtweise der Dinge. So z.B. wird bei PADI oder SSI das Thema Dekompressions-Tauchgänge traditionellerweise ausgespart, bei ANDI gibt es bei den ersten zwei NITROX Schülerstufen (LSU/CSU: Limited und Complete SafeAir User) keinerlei Hinweise auf Luftverbrauchsberechnungen. Weiterhin hört die heile NITROX-Welt bei den LEVEL1 / Intro-Kursen der meisten Sporttauch-Ausbildungsorganisationen normalerweise bei 32 % auf, etwas wenig, wenn man/frau weiß, dass z.B. die interessanten Mixes für ein DRÄGER DOLPHIN® so um 50 % bis 60 % liegen, bzw. preisen relativ viele Organisationen einen NITROX 80, bzw. > 75 als das ultimative Deko-Gemisch an: auch hier soll unser Manual weiterhelfen und wir werden einen Blick auf Tabellen mit EAN 32 / EAN 36 und mit „accelerated deco“ werfen! Bei allen Rebreather-Kursen und -Manuals schließlich werden Grundkenntnisse über NITROX bereits vorausgesetzt und nicht mehr angesprochen, wiederum andere und hervorragende Bücher erschliessen sich nur der perfekt englisch sprechenden Taucherin. Ein Grossteil der Literatur wendet sich ausschließlich an "Tekkies" und ist somit an den Bedürfnissen der "Otto-Normalluftverbraucher" vorbeigeschrieben. Auch zu den Themen Sauerstoff-Service, Gase mischen und komprimieren gibt es gute Bücher und Kurse, aber da wird dann eben die Sichtweise des Tauchers vernachlässigt. Da diese Materialien in der Regel nicht deutschen Ursprungs sind, wird normalerweise die spezifisch deutsche Situation (NITROX ab EAN22 ist wie 100 %iger Sauerstoff zu behandeln) kaum erläutert. Dieses Manual will versuchen, genau diesen Mängeln abzuhelpen und eine etwas umfassendere, dabei aber trotzdem knapp bleibende, Darstellung über **alle wesentlichen** mit NITROX-Tauchen zusammenhängenden Themen anbieten. Kein Manual auf dieser Welt deckt wirklich alles ab, darum gibt es hier eingestreut Hinweise auf viele, viele andere gute Bücher und Quellen. Ein Großteil ist sehr einfach im **D³-Archiv** zu finden:

<https://www.divetable.eu/D3/index.htm>

Wozu dient dieses Manual nicht?

Ganz klar: einmal durchlesen ist kein Ersatz für eine vernünftige Ausbildung! Dieses Manual dient auf gar keinen Fall als NITROX Trocken-Kurs: ihr müsst euch die grundlegenden Dinge gemeinsam mit einer erfahrenen Instruktorin aneignen und üben; vor allem die Gas-Analyse! Wenn ihr euch aber **vor** einem NITROX Kurs schon mal Gedanken macht und dieses Manual gründlich durcharbeitet, seid ihr auf dem richtigen Weg! Betrachtet dieses Material als Ergänzung zu dem, was ihr in eurem regulären Kurs erhaltet.

Esslingen, C.E. Januar 2000

P.S: wenn hier von "man" und "jeder" die Rede ist, so ist immer auch "frau" und "jede" miteingeschlossen. Das Wort "Taucher" steht aus diesem Grunde nicht nur für die männliche Spezies dieser "luftsaugenden Teile", es können somit immer auch Frauen gemeint sein. Der leichteren Lesbarkeit wegen habe ich auf eine politisch korrekte Orthographie verzichtet.

Dank:

gebührt allen denjenigen, die hierbei mehr oder auch weniger bewußt mitgearbeitet haben. Zunächst der Fa. SCUBAPRO: mit den Herren David Jackson, PADI Course Director CD # 29730 und den vielen nützlichen Informationen sowie von deren homepage. Natürlich auch allen meinen NITROX- und REBREATHER Schülern sowie meinen Instruktoren-Kollegen, die unter der Fülle dieses Materials, den vielen Rechenbeispielen und natürlich unter meiner relativ zackigen Schreibe zu leiden hatten. Desweiteren, wie immer, meinem Tabellen-Freund Maxe Hahn (Gott hab' ihn selig); Master Diver Chuck Young, H NSSC der United States Navy (USN); Ron Nishi, Supervisor Diving Scientist vom Defence and Civil Institute of Environmental Medicine (DCIEM) Canada.

Desweiteren möchte ich mich bei meinem ersten NITROX „Instruktor“ (NAUI) Yariv Yron bedanken: er ermöglichte mir, meinen ersten NITROX Kurs Ende der 80'iger in der Tauchbasis „AquaSport“ in Eilat, Israel, auf hebräisch zu geniessen ... Ausdrücklich möchte ich mich herzlich bei den Herren Lutz (NAUI) sowie Pascal Dietrich (PADI) für die freundliche Überlassung der NITROX Tabellen zum Abdruck bedanken (für die Version 1)! Desweiteren Danke den vielen inputs/feedbacks per e-mail! Schließlich und endlich gebührt Dank an jene Organisation, die sich seit Jahrzehnten um das Tauchen und ganz speziell um Nitrox verdient gemacht hat: die NOAA. Insbesondere möchte ich namentlich den (damaligen) Director des NOAA Diving Programs erwähnen: David A. Dinsmore! Hi Dave: danke für die Überlassung der NOAA Tabellen zum Abdruck!



Versionsgeschichte:

V1; 1999 - April 2000: erster Ansatz, alles Wesentliche über NITROX zusammenzutragen

V2; Oktober 2001: die Neuerungen des NOAA Diving Manual V4 [48] sowie des USN Manual V4 sind eingearbeitet, insbesondere die expandierten Deko Tabellen für NN 32 & 36, ebenso die feedbacks/Korrekturen von V1. Zusätzlich gibt es Infos und Tabellen über accelerated Deco von IANTD. Darüberhinaus sind die historischen Quellen bzgl. ZNS, REPEX und pulmonaler Ox-Tox eingearbeitet. Die Bibliographie wurde angepasst (eine aktuelle Version liegt immer auf unserer homepage! Hier der Link: <https://www.divetable.info/books/index.htm>) sowie die URLs bezgl. Organisationen etc. Desweiteren habe ich ein paar weitere Beispiele mit unserem Tauchgangs-Simulationsprogramm DIVE (Version 2.2) eingefügt. Ebenfalls in 2002 sind die NAUI RGBM Tabellen veröffentlicht worden und ein paar Bemerkungen finden wir im Manual.

V3; Januar 2004: kleinere Schreibfehler korrigiert, neue Ox-Tox Werte eingefügt

V4; Januar 2005: Hinweise zur neuen Normung, ein bisschen Bla-Bla gelöscht ...

V5; Februar 2007: Mischgascomputer, Beispiel mit einer Desktop Deco Software, neue Analyser, einführende Bemerkungen zu Dekompression mit Mischgasen, sowie: ein paar Tipps aus der Praxis ...

V6; Dezember 2008: die Neuerungen der USN Revision 6 von April 2008 sind hinzugekommen

V7; 2012: Major Release und ein paar Hinweise für Tekkies, accelerated deco

V8; 2014: update wg. der neuen USN Tabelle von 2008 und damit eben auch: 5th. Ed. NOAA Diving Manual [149]

V9; 2015: optische, semantische & didaktische Überarbeitung & Kürzungen

V10; 2018/2019: update, Nomogramme eingefügt

V11; 05/2021; update mit den neuen "k values" & ESOT für die Ox-Tox; sowie Infos zum neuen PADI Specialty "Decompression Chamber Procedures"

V12; finale Überarbeitung, Korrektur aller URLs und Bereitstellung auf der

"Diving Manuals 4 free" Seite:

<https://www.divetable.eu/index.htm>

Inhaltsverzeichnis

VORWORT & DANK	1
INHALTSVERZEICHNIS	4
MYTHEN & MISSVERSTÄNDNISSE	6
(NUR EIN BISSCHEN) GESCHICHTE & GRENZEN	8
WAS IST EIGENTLICH NITROX?.....	9
WAS ZUVIEL IST, IST ZUVIEL! DER UMGANG MIT DER SAUERSTOFF-TOXIZITÄT: 14	
1. ALT: USN UND NOAA DOSISBERECHNUNGEN, REPEX METHODE	14
UPDATE PER 2013 BZW. 2014:.....	27
WAS ZUVIEL IST, IST ZUVIEL! DER UMGANG MIT DER SAUERSTOFF-TOXIZITÄT: 29	
2. NEU: K-WERTE BERECHNUNG VON RAN ARIELI, IDF.....	29
WELCHES NITROX IST DAS BESTE FÜR MICH?	35
NOMOGRAMME	38
UMGANG MIT NITROX.....	41
NITROX AUSRÜSTUNG	54
TAUCHEN MIT NITROX TABELLEN.....	58
DESKTOP DECO SOFTWARE.....	72
MODIFIZIERTE ZH-L 16 EAN TABELLEN.....	76
ACCELERATED DECO TABLE (IANTD ©).....	76
LUFTVERBRAUCHSBERECHNUNG	78
VERFAHREN FÜR SICHERES TAUCHEN	81
TIPPS AUS DER PRAXIS	86

INDEX.....	91
DIE NOAA TABELLEN NN32 UND NN36 (EXPANDED) (GÜLTIG BIS 2013)	93
DIE NOAA TABELLE EAN32 (GÜLTIG AB 2014)	97
DIE NOAA TABELLE EAN36 (GÜLTIG AB 2014)	98
DIE NOAA TABELLE EAN40 (GÜLTIG AB 2014)	99
NAUI RGBM TABELLEN FÜR EAN32 & EAN36	101
HAFTUNGSAUSSCHLUß.....	104
IN MEMORIAM	105

Mythen & Missverständnisse

Tipp: dieses Kapitel ganz zum Schluss nochmals lesen.

Mythos #1: NITROX ist zum Tieftauchen

Nein. NITROX ist zum Verlängern von Nullzeiten bzw. zum Verkürzen von Deko-Stopps gedacht. Die Tiefengrenzen sind sogar restriktiver wie bei normaler Druckluft. Prinzipiell gilt auch hier: 40 sind genug für Hobby-Taucher! Wer tiefer tauchen will, sollte TRIMIX / HELIOX benutzen und sich auch dementsprechend ausbilden lassen!

Mythos #2: NITROX ist sicherer wie Druckluft

Kann man so pauschal nicht sagen. Wenn NITROX als Ersatz für Druckluft benutzt und auch genauso eingesetzt wird, ergibt sich aus der geringeren Stickstoffsättigung und dem erhöhten Sauerstoff-Anteil eine gewisse positive Beeinflussung des Tauchers. Wird aber NITROX als NITROX benutzt (Verlängerung von Nullzeiten: Umstellung des Tauchcomputers von Luft auf EAN) ist eben dieses Sicherheitspolster natürlich weggeschmolzen.

Mythos #3: NITROX ist nur etwas für "Tekkies"

Nein! Fast alle Tauchausbildungs-Organisationen bieten NITROX Einsteigerkurse an. Jeder, der einen Tauchgrundschein hat, kann diese absolvieren. Der Urlaubstaucher kann heute in fast allen attraktiven Tauchgebieten die Vorteile des NITROX auskosten, selbst auch auf modernen Tauchsafaribooten. Da sich „Nitrox/EAN“ zur „non-diving Specialty“ entwickelt hat, sind diese Kurse üblicherweise innerhalb von 4 h abgehandelt.

Mythos #4: mit NITROX kriege ich keinen Tiefenrausch und/oder keine Dekompressionskrankheit
Weder noch, leider! Da NITROX eben doch noch Stickstoff enthält und der erhöhte Sauerstoff-Anteil auch sein Scherflein zu einer, wie auch immer gearteten, Bewußtseinstrübung beisteuert, ist auch dieser Mythos falsch.

Missverständnis #1: NITROX ist kompliziert

Nein, ist es nicht! Jeder der Grundkenntnisse im Sporttauchen hat, kann sich mit begrenztem Aufwand an Zeit und Geld weiterqualifizieren. In der Regel ist die theoretische NITROX Ausbildung auf einen halben oder auch ganzen Abend begrenzt, daran anschliessend folgt üblicherweise eine theoretische Prüfung, die euch Gelegenheit gibt, zu kontrollieren, ob ihr das Erlernte auch wirklich umsetzen könnt. Die praktische Ausbildung ist normalerweise mit dem Üben der Gasanalyse und keinem, einem oder zwei Freiwasser-TG abgeschlossen. Nach dem Motto:

Einatmen, ausatmen: das wars!

© ALBI

Missverständnis #2: Für NITROX benötige ich *keine* spezielle Ausbildung

Ganz falsch: NITROX ist zwar nicht kompliziert, siehe oben; man muss aber eben doch ein paar Dinge mehr wissen, die einem beim Tauch-Grundkurs nicht vermittelt werden! Im Klartext: bei: "Einatmen, ausatmen: das wars!" kann man halt doch noch ein paar Dinge falsch machen, z.B. muss man sich 100%ig sicher sein, WAS GENAU man da denn einatmet!

Missverständnis #3: NITROX Kurs ist Geldmacherei

Nein, siehe Missverständnis #2. Wer dann den Einstieg zum technical diving sucht, zur Mischgastaucherei, zum Tauchen mit Rebreathern (Kreislaufgeräte), zum Höhlentauchen, usw. ist hier richtig aufgehoben. Für weitergehende Tauchaktivitäten (länger, tiefer, etc.) oder für Leute die

z.B. geräuschloses Tauchen mit Rebreathern benötigen, nämlich UW-Photographen oder Höhlentaucher (da Rebreather kaum Blasen erzeugen, die Sedimente aufwirbeln) etc. und wer die Vorteile einer Vollgesichtsmaske (Wärmeschutz, Schutz bei Sauerstoff-Krampfanfall) mit den weiteren Vorteilen eines Rebreathers (geringere Dehydrierung und geringere Auskühlung, da die feuchte und vorgewärmte Atemluft ja zirkuliert) kombinieren will: überall da sind NITROX Kenntnisse zwingend vorausgesetzt.

Na ja, gut: überall gibt es schwarze Schafe, auch in deiner Branche... So kann es durchaus vorkommen, daß ein windiger Tauchbasenbesitzer in irgendeiner Touristen-Lagune dir einen Nitrox-Kurs, oder auch das Gas, zu einem unverschämten Preis anbietet. Auch schon gesehen: wenn du einen EAN40 Schein haben willst, der ja eigentlich Standard ist, wird versucht, dir zuerst einen „limited“ EAN (bis EAN32) und gleich danach noch einen „full, unrestricted“ Kurs bis EAN40 anzudrehen ...

(nur ein bisschen) Geschichte & Grenzen

- 1876, Henry Fleuss: er war vermutlich einer der Ersten, der unwissentlich mit Mischgasen experimentiert hatte: Der Engländer Fleuss war Erfinder des Sauerstoff-Kreislaufgerätes. Während eines Tests im Jahre 1879 schaltete er aus purer Neugier die Sauerstoff-Zufuhr ab: das resultierende Gasgemisch (zuviel Kohlendioxid und zuwenig Sauerstoff) war ungeeignet für ihn: er wurde bewusstlos.
- 1919, Elihu Thompson Idee des Mischgases mit Helium zum Tauchen
- 1940, Dr. Chris J. Lambertsen: USN, erste militärische Experimente mit diversen Mischgasen
- 1942, Kenneth Donald: heroische Experimente mit Rebreathern und 3 Bar pO₂
(Buch „Oxygen and the Diver“, [\[182\]](#))
- 1950, Dr. Ed Lanphier: USN, theoretische Grundlagen für Mischgas-Dekompression
- 1957, Andre Galerne: Benutzung von 50/50 NITROX für kommerzielle Tauchoperationen in 18 - 20 m Tiefe
- 1960, USN: erste Deko-Tabellen für NITROX
- 1977, Dr. J. Morgan Wells: NOAA Diving Officer, führte das standardisierte NOAA I Gemisch ein, mit der MOD 40 m!
- 1979 NOAA II wird eingeführt
- 1982, H. Hartung, DRÄGER: Projekt mit über 5000 Arbeits-TG mit NITROX
- 1988, Dick Rutkowski: Gründung von ANDI: Einführung von NITROX bei Sporttauchern
- ab ca. 1992 fast alle kommerziellen Tauchausbildungsorganisationen bieten NITROX / EAN Kurse für Sporttaucher an
- ab ca. 1995 die ersten Rebreather Kurse für Sporttaucher werden angeboten, auch Rebreather können mit NITROX betrieben werden
- 2001: im Mai erscheint das neue NOAA Diving Manual V 4 [\[48\]](#), die NOAA Gemische heißen künftig: NN32 und NN36
- 2002: NAUI veröffentlicht RGBM Sporttaucher-Tabellen für Luft, NN32 und NN36
- 2005: die meisten Ausbildungsorganisationen bieten NITROX Kurse als „non diving specialty“ an, „Nitrox for free“ ist der Renner!
- 2008: die Firma United States Navy (USN) überarbeitet grundlegend ihre alten Dekompressionstabellen für Luft; und damit muss auch:
- 2013: die Firma NOAA [\[149\]](#) ihre Luft und EAN Tabellen überarbeiten! Für beide Tabellenwerke gilt:
Es gibt keinen 3 m / 10 feet stop mehr! Diese Stopps sind eine Etage tiefer, auf 6 m / 20 feet verlegt worden.
- 2017: [Version 6 des NOAA Manuals \[194\]](#)
- 2018: [Rev. 7 des USN Manuals](#)
- 2021: die alten USN / NOAA Ox-Tox Dosen werden durch die K-Werte (Ran Arieli, IDF) sowie durch „ESOT“ (aus dem „NDTT Manual“) verbessert und ergänzt

Was ist eigentlich NITROX?

In diesem Kapitel lernt ihr folgende Begriffe/Verfahrensweisen kennen:

Nomenklatur von Mischgasen:

NITROX, Enriched Air, Enriched Air Nitrox (EANx) sowie TRIMIX, HELIOX und HYDROX.

Am Ende dieses Kapitels angelangt, solltet ihr folgendes berechnen/erklären können:

Partialdruck eines Gases; Warum hat NITROX längere Nullzeiten gegenüber Druckluft?

Sämtliche obengenannten Begriffe (NITROX, Enriched Air, Enriched Air Nitrox (EANx), bzw.: SafeAir® sowie NITROX-pure® etc. ...) meinen ALLE das Gleiche: nämlich eine Sauerstoff-/Stickstoff-Mischung, bei der der Sauerstoffanteil größer ist als in "normaler" Luft, d.h.: in unserer normalen Druckluft (umgangssprachlich gerne auch als „Pressluft“ bezeichnet).

Druckluft hat üblicherweise ein Mischungsverhältnis von ca. 21 % Sauerstoff zu 79 % Stickstoff (einschließlich der Restgase wie Edelgase, Kohlendioxid und Wasserdampf). Druckluft könnte man dann auch als NITROX 21 bezeichnen: die Zahl nach dem Gasgemisch gibt den Volumenanteil des Sauerstoffs in Prozenten an.

NITROX rührt von der englischen Abkürzung der beiden Hauptbestandteile her, NITrogen von Stickstoff (chemisches Symbol: N₂) und OXYgen von Sauerstoff (chemisches Symbol: O₂). In der Regel wird bei der Namensgebung von Gasgemischen der Träger oder "diluent" (Verdünner) vor den Sauerstoff (mit OX) gesetzt. Demzufolge ist HYDROX eine Mischung von HYDRogen (=Wasserstoff) mit OXYgen.

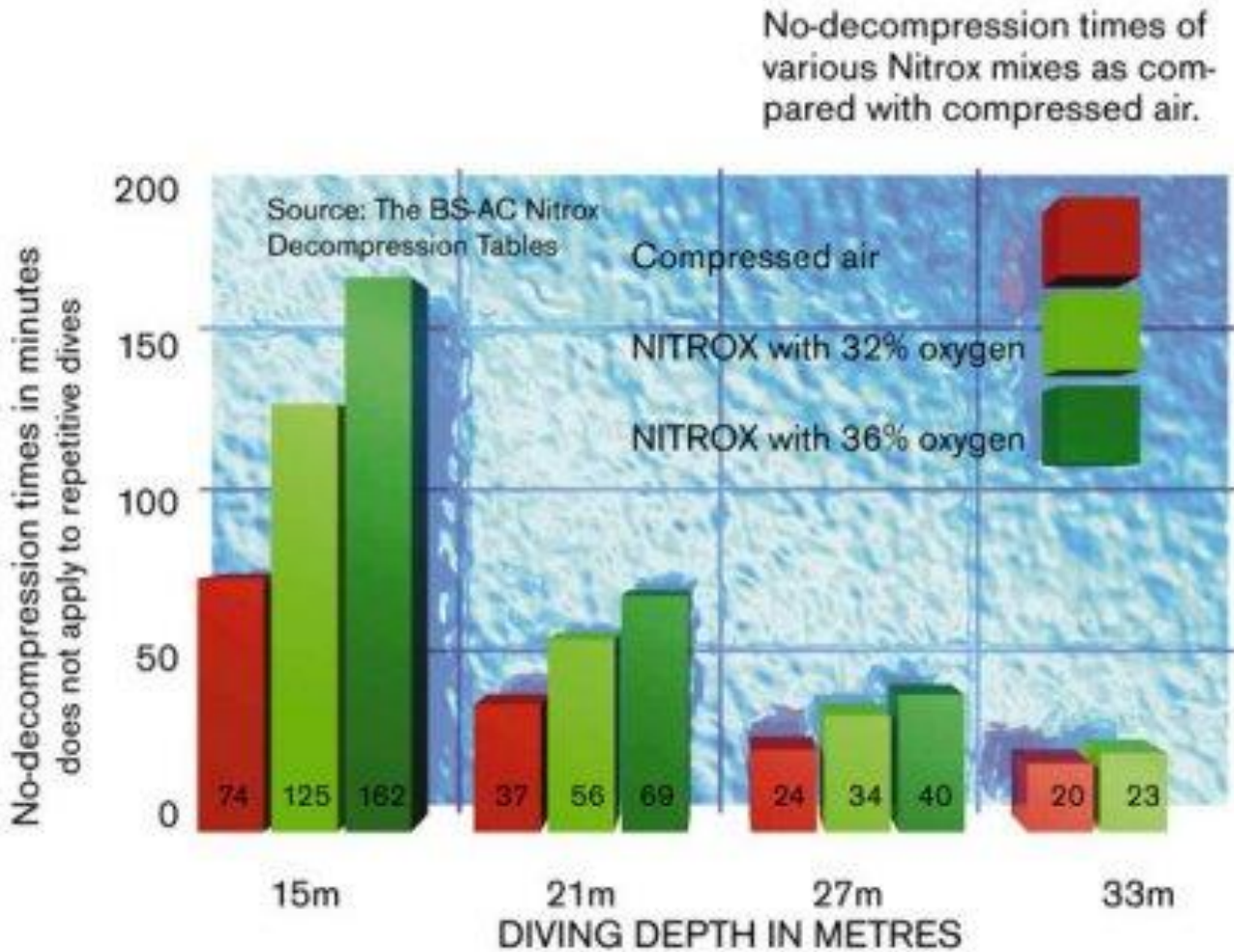
Bei HELIOX stammt der Namen von HELIum (chemisches Symbol: He) und OXYgen her.

Die Zahl nach dem Gasgemisch gibt üblicherweise den Sauerstoffanteil an (OBACHT: Ist in anglo-amerikanischen Ländern manchmal etwas anders! Also: aufpassen & analysieren!). Hiernach ist ein NITROX 36 ein Gemisch von 36 % Sauerstoff zu 64 % Stickstoff. TRIMIX ist ein Gemisch aus 3 (=TRI) Komponenten Helium, Stickstoff und Sauerstoff.

Da ja mehr Sauerstoff im NITROX enthalten ist (zumindest für die Gemische, welche zum üblicherweise Tauchen verwendet werden), sind die NITROX Gemische gegenüber normaler Druckluft mit Sauerstoff angereichert, auf englisch: "enriched", daher der Name "enriched Air" oder auch "enriched Air Nitrox", abgekürzt dann also "EAN" oder "EANx". Der Begriff "SafeAir®" ist eine "registered trademark" und wurde von ANDI für den gleichen Sachverhalt eingeführt. NITROX-pure® ist der Handelsname für qualitativ hochwertiges NITROX von Messer (Messer-Griesheim).

Fazit: wenn wir mit NITROX tauchen, atmen wir vermehrt Sauerstoff und weniger Stickstoff ein. Das bedeutet ganz einfach, daß unser Körper weniger Stickstoff aufnimmt, die Stickstoffsättigung deshalb geringer ist wie wenn wir mit Druckluft tauchen würden. Demzufolge werden ganz einfach unsere Nullzeiten (NDL) länger: sprich "more fun!": wir können länger tauchen bevor unsere Nullzeiten zu Ende sind.

Die Abbildung zeigt einen Vergleich der No-Decompression-Limits (NDLs) zwischen Luft (rot), NITROX 32 (hellgrün) sowie NITROX 36 (dunkelgrün), die Zahlen sind der BS-AC Tabelle (British Sub-Aqua Club) entnommen:



Einfaches Beispiel: Nullzeiten für einen TG (Tauchgang) auf 18 m:

Gemisch	Sauerstoffanteil [%]	Stickstoffanteil [%]	Nullzeiten [Minuten]
Druckluft	21	79	56
NOAA I (NN32)	32	68	95
NOAA II (NN36)	36	64	125

(die Zahlen sind den entsprechenden PADI RDPs entnommen)

Umgekehrt: tauche ich mit NITROX in der gleichen Tiefe und die gleiche Zeit wie meine mit Druckluft tauchende Kollegin, so habe ich durch meine geringere Sättigung ein größeres Sicherheitspolster wie mein Buddy. Ist doch schick, oder??? Darüberhinaus behaupten viele NITROX Taucher, dass sie sich nach dem Tauchen vergleichsweise fitter, frischer fühlen und auch entspannter tauchen würden ...

Weitere Beispiele zur Verlängerung der NDLS mit EAN / NITROX

NDL Vergleich Luft mit 2 EAN / NITROX Gemischen

Tiefe (M)	Luft (Minuten)	EAN 32 (Minuten)	EAN 36 (Minuten)
12	147	219	219
14	98	205	185
16	72	130	185
18	56	95	125
20	45	75	95
22	37	60	70
24	29	50	60
26	20	40	50
28	20	30	40
30	20	30	35 *
32	14	20	28 *
34	14	20 *	28 *
36	9	20 *	
38	9	16 *	
40	9	16 *	
42	8		

* überschreitet PO_2 von 1.4 Bar (= Obacht!)

leere Felder: überschreitet PO_2 von 1.6 Bar (= nicht zu betauen!)

die NDLS sind "No Decompression Limits" in Minuten, d.h.: die Zeit-Grenzen für Nullzeit-TG und sind den entsprechenden PADI RDPs (siehe weiter hinten) entnommen

Es gibt noch zwei weitere Abkürzungen, die wir uns merken wollen:

NOAA I = NITROX 32; ab 2001 heißt das: NN32 sowie:

NOAA II = NITROX 36; ab 2001 heißt das: NN36 ([48], 15-3). Diese Gemische sind standardisiert und das bedeutet, dass es hierfür käuflich erwerbbar Deko-Tabellen gibt und das normalerweise diese Gemische in einer gut geführten Tauchbasis vorhanden sind. Wollt Ihr z.B. andere Gemische haben als diese beiden, so müssen diese erst für euch hergestellt werden: und dies kann euch Zeit und / oder extra Geld kosten!

NOAA ist die Abkürzung von: "National Oceanic and Atmospheric Administration", eine Abteilung des US DOC (United States Department of Commerce). Diese Organisation hat sich schon früh mit NITROX beschäftigt und für US Navy Taucher sowie für Forschungstaucher die beiden erwähnten NITROX Gemische standardisiert. Die Sauerstoffgrenzen von 1,4 resp. 1,6 atm Sauerstoffpartialdruck (pO_2) sowie die zeitliche Begrenzung des Aufenthaltes unter erhöhtem Sauerstoffpartialdruck stammen ebenfalls aus diesen Forschungen und sind seit ca. 1950 erprobt und bewährt! Die etwas krummen Zahlen von EAN32 und EAN36 kommen ganz einfach daher, daß die NOAA Gemische standardisieren wollte, welche:

- 1) eine MOD = 40 m haben (bei einem $pO_{2, \max} = 1,6 \text{ ATM}$), was eben genau auch die Tiefengrenze für Sporttaucher mit Druckluft repräsentiert (s. weiter unten, bei den Beispielen)
- 2) sowie ein Gemisch, welches bei 100 fsw (feet of seawater, ca. 30 m) seine MOD erreicht

Dies führt uns zum nächsten wichtigen Begriff: der "**Partialdruck**" eines Gases bedeutet einfach den Teildruck der entsprechenden Gassorte im Gemisch. Die Summe der einzelnen Partialdrücke muss somit den Gesamtdruck ergeben (Gesetz von Dalton).

Für den Gesamtdruck P und die Partialdrücke p_i gilt:

$$\text{Dalton: } P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots ,$$

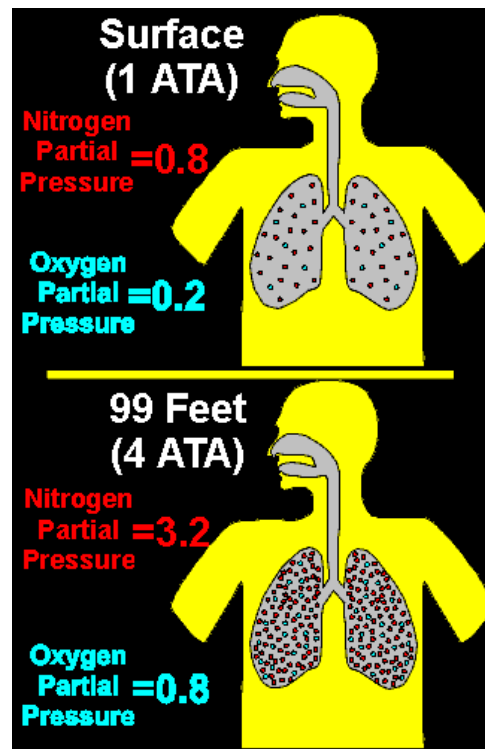
$$\text{Partialdruck: } p_i = f * P$$

P = Gesamtdruck, p_i = Partialdrücke, f = Anteil (fraction)

Bsp.: normale Luft unter Umgebungsdruck (ca.) = 1 Bar, die jeweiligen Anteile sind (ca.):

$$fN_2 = 0,79; fO_2 = 0,21.$$

Der Sauerstoffpartialdruck (wird gekennzeichnet als: pO_2) beträgt demzufolge 0,21 Bar; der Stickstoffpartialdruck (pN_2) 0,79 Bar. Kontrolle: $0,21 + 0,79 = 1,00$



Die Verhältnisse in der obigen Darstellung spiegeln die Oberfläche (surface) bei (ca.) 1 Bar (1 ATA) und ein Druck-Verhältnis Stickstoff zu Sauerstoff wie 80 zu 20 wieder. Bei einer Tiefe von 99 feet (ca. 30 m) herrschen hiernach ca. 4 Bar (4 ATA) und die entsprechend berechneten

Partialdrücke von 3,2 und 0,8 Bar. Die Dichte der Punkte soll die Dichte der Gase symbolisieren, da mit zunehmendem Druck die Dichte der Gase zunimmt.

Weitere Beispiele:

ein Taucher atmet in 40 m Tiefe Druckluft. Wie groß sind pO_2 und pN_2 ?

Lösung:

40 m Tiefe \cong Gesamtdruck 5 Bar.

Also: $pO_2 = 5 * 0,21 = 1,05$ Bar; $pN_2 = 5 * 0,79 = 3,95$ Bar.

Kontrolle = $1,05 + 3,95 = 5,00$ Bar.

Wir nehmen hier deshalb gerne die "40 m" Beispiele, weil das Wrack der "JURA" auf ca. 40 m liegt und dies eigentlich ein schönes und lohnendes Tauchziel im Bodensee ist.

Beispiel:

Wie sieht das gleiche Beispiel aus, wenn wir mit einem NITROX 32 tauchen?

Lösung:

40 m Tiefe \cong Gesamtdruck 5 Bar.

Also: $pO_2 = 5 * 0,32 = 1,60$ Bar; $pN_2 = 5 * 0,68 = 3,40$ Bar.

Kontrolle = $1,60 + 3,40 = 5,00$ Bar.

(Bem.: daher kommt auch das Gemisch und die etwas krumme Zahl von 32 Vol.-% O_2 : es sollte ein Gemisch sein mit der MOD von 40 m, da man nicht tiefer tauchen wollte als mit Luft, sondern nur länger!)

Weiteres Beispiel:

ein Taucher atmet in 30 m Tiefe ein NITROX 36. Wie groß sind pO_2 und pN_2 ?

Lösung:

30 m Tiefe \cong Gesamtdruck ca. 4 Bar.

Also: $pO_2 = 4 * 0,36 = 1,44$ Bar; $pN_2 = 4 * 0,64 = 2,56$ Bar.

Kontrolle = $1,44 + 2,56 = 4,00$ Bar.

Ebenso wollte die NOAA ein Gemisch haben, das längere Tauchgänge auf ca. 100 feet erlaubt, ihrem angestammten Haupteinsatzgebiet, deshalb der reduzierte pO_2 mit ca. 1,4 atm.

Darüberhinaus waren die EAN32 & EAN36 etwas feiner abgestimmt als die bisher von der United States Navy (USN) normierten Gemische von Nitrox B (60 % O_2), Nitrox C (40 % O_2) sowie Nitrox D (32,5 % O_2): der Sprung von ca. 32 zu 40 = 8 wurde einfach halbiert: $32 + 8/2 = 36$... Voila ...

Was zuviel ist, ist zuviel! Der Umgang mit der Sauerstoff-Toxizität:

1. Alt: USN und NOAA Dosisberechnungen, REPEX Methode

In diesem Kapitel lernt ihr folgende Begriffe/Verfahrensweisen kennen:

Was bedeutet "Sauerstoff-Toxizität"? Die 2 Arten der Sauerstoffvergiftung,

Wirkungsweise der Sauerstoffvergiftung, Anzeichen der Sauerstoffvergiftung, Was bedeutet "Hypercapnie"? Was hat der pCO_2 mit der Sauerstoffvergiftung zu tun?

Am Ende dieses Kapitels angelangt, solltet ihr folgendes berechnen/erklären können:

ZNS bzw. CNS; OTU; HBO; **Repex; Oberflächenpausen-Kredit**

Sauerstoff wirkt giftig unter Druck!

Üblicherweise bezeichnet man die Giftigkeit bzw. die giftigen Eigenschaften von Sauerstoff als "Sauerstoff-Toxizität". Prinzipiell gibt es 2 grundsätzlich verschiedene Arten der Sauerstoffvergiftung. Dies wird in der nächsten Tabelle zur Übersicht gegenübergestellt:

Allgemeine Bezeichnung	Ganzkörper-Sauerstoff Vergiftung oder Pulmonale Sauerstoffvergiftung	ZNS-Sauerstoffvergiftung (Zentrales Nerven System)
Name des Forschers	James Lorrain Smith	Paul Bert
Zeitraster	long term (langsam)	short term (schnell)
Dosishöhe	low dose (geringe Dosis)	high dose (große Dosis)
Wirkungsweise	Pulmonale (=die Lunge betreffend) Sauerstoffvergiftung, chronisch	ZNS Sauerstoffvergiftung, akut, spontan
Ab welchem Sauerstoff-partialdruck?	Ab 0,55 Bar pO_2 , ab ca. 15 h	Ab ca. 1,4 Bar pO_2 ;ab 3,0 Bar pO_2 innerhalb von Sekunden (*)

(*) ist stark abhängig vom Kohlendioxid Partialdruck pCO_2 ! Und natürlich von den Umgebungsbedingungen: Temperatur und Immersion (Aufenthalt im Wasser), Arbeit, Atemwiderstand. Bei der HBO Behandlung (HBO = Hyperbare Oxygenation) werden Patienten in der Kammer (warm, trocken) schon amal 3,0 Bar ausgesetzt! Andererseits gibt es klinische Daten von Ölbohrinsel-Tauchern, die „Hits“ bereits bei 1,2 Bar hatten sowie Vorfälle bei Rebreathern ab 1,3 Bar [42], S. 3-9 & 3-15!!!

Warum ist das so?

Der Mensch hat sich im Laufe der Jahrmlionen an die vorherrschenden 0,21 Bar pO_2 gewöhnt, jede Abweichung davon nach oben oder unten wirkt gesundheitsschädlich: zuviel resultiert in der Sauerstoffvergiftung, zuwenig in Bewußtlosigkeit bzw. Tod.

Wie sind die Wirkungsmechanismen? Hier nur ganz, ganz grob und oberflächlich:

bei erhöhtem pO_2 sind mehr Sauerstoff-Moleküle, als in normaler Druckluft üblich, vorhanden. Diese wirken direkt auf den Stoffwechsel der Zellen ein: es werden vermehrt sogenannte "freie Radikale" (aggressiv wirkenden chemische Verbindungen, Super- oder Per-Oxide) erzeugt. Diese wiederum wirken auf die Zellmembranen (Zellwände), Lipide (Fette) und Enzyme (Reaktionsbeschleuniger, auch Katalysatoren genannt) der gesunden Zelle. Derartige chemische Reaktionen wirken direkt auf die Funktionsweise aller Zellen, sie sind abhängig vom Partialdruck (je öfter, desto toller) und der Zeit (je länger, je lieber)!

In Taucher-Zeitungen und Portalen wird das folgende gerne als „Ox Tox“ (von „oxygen toxicity“) referenziert.

Die **pulmonale Sauerstoffvergiftung** beginnt ab 0,55 ata pO_2 innerhalb von ca. 15 h. Bei 2,0 ata kann es zwischen 3 - 6 Stunden dauern, bis die Symptome einsetzen; siehe folgende Tabelle:

pO_2 [ata]	Zeit [in Stunden]
1,0	12 – 24
1,5	8 – 14
2,0	3 – 6
3,0	1 – 3

(aus dem NOAA Manual V 3, Section 3)

Symptome:

- ◆ Schmerzen unter dem Brustbein (substernale Irritation)
- ◆ Schmerzen beim Einatmen
- ◆ unproduktives Husten
- ◆ Kurzatmigkeit
- ◆ verstärkte Anstrengung beim Atmen
- ◆ Reduzierung der Vitalkapazität (Lungenvolumen)
- ◆ Hautjucken, Übelkeit, Kopfschmerzen

Die **ZNS (= CNS, engl. für central nervous system) Sauerstoffvergiftung** kann ab ca 1,6 ata pO_2 innerhalb von 5 Minuten bis ca. 50 min. ([48], 3-21) beginnen und ist in jedem Fall zwischen 2 - 3 ata relativ rasch zu spüren. Der Beginn bzw. die Stärke der Symptome sind vom pCO_2 abhängig; der pCO_2 ist ja der Kohlendioxidpartialdruck. Kohlendioxid entsteht bei der Verbrennung von Sauerstoff mit Kohlehydraten (Zucker, 'MARS', Kartoffeln, etc., ...) im Körper. Das heißt: von der Atemtechnik, der Ausrüstung oder der Anstrengung abhängig. Dazu mehr weiter unten!

Symptome:

- ◆ Muskelzuckungen
- ◆ speziell bei Lippen, Gesicht und Händen
- ◆ Übelkeit und Schwindel
- ◆ Gesichtsfeldverengungen
- ◆ Klingeln im Ohr
- ◆ Müdigkeit
- ◆ Verwirrung
- ◆ Unregelmäßige Atmung
- ◆ Herzschlagverlangsamung (Bradycardie)

- ◆ Angst
- ◆ und schließlich Krämpfe.

Durchschnittliche NITROX-TG sind in der Regel zu kurz um eine Ganzkörper-Sauerstoffvergiftung hervorzurufen, deshalb werden Taucher in der Regel von den ZNS-Symptomen überfallen. Aus diesem Grunde gibt es für die ZNS-Symptome mehrere Merksprüchelein; eins auf Englisch und eins auf Deutsch wollen wir hier zeigen:

"CENT A DIVE"

C	Convulsions (Krämpfe)
E	Euphoria (Euphorie)
N	Nausea (Übelkeit)
T	Twitching (Muskelkrämpfe an den Lippen)
A	Anxiety (Angst)
D	Dizziness (Schwindel)
I	Irritation (Unruhe, Verwirrung)
V	Visual Disturbance (Tunnelsehen, Sehfeld-Störungen)
E	Ear Ringing (Ohrenklingeln)

CENT A DIVE wird zitiert in allen ANDI Manuals [23 - 27], VERSUS in [32], ein weiteres "VENTID" in [39] und aus [14] kommt: VENTIDC (Vol. 4, p. 38: Chap.: 17-11-1-2), von [48], 3-21: ConVENTID. Ein anderes ist z.B.: VERSUS aus [32].:

"VERSUS"

V	Visuelle Störungen
E	Extremes Ohrenklingeln
R	Rastlosigkeit, Euphorie, Angst
S	Spontane Krämpfe, Zuckungen
U	Unbehagen, Übelkeit
S	Schwindel

Ein weiteres Problem, neben der Abhängigkeit vom pCO₂, ist das relativ spontane Einsetzen der Symptome. Dies bedeutet: ohne Vorwarnung! Insbesondere können spastische Krämpfe plötzlich auftreten und dazu führen, dass der Taucher seinen Automaten ausspeit und ertrinkt! Die meisten Organisationen lernen ihren Schülern, die 1,4 er Grenze nicht zu überschreiten!

Was bedeutet "Hypercapnie"?

Hypercapnie ist eine Kohlendioxidvergiftung. Kohlendioxid entsteht beim Stoffwechsel durch die Veratmung von Sauerstoff. Kohlendioxid wird normalerweise wieder über die Atmung ausgeschieden und würde somit kein Problem darstellen. Durch Pendelatmung oder ineffektive Atmung, schlecht gewartete Automaten (oder z.B. bei Rebreathern, wenn der Atemkalk verbraucht oder die Kalkpatrone mit Wasser vollgelaufen ist oder beim raschen Aufstieg), erhöhte

Anstrengung und Sparatmung kann sich jedoch Kohlendioxid im Körper anreichern. Dabei wird der pH Wert des Blutes geändert (das Blut wird "saurer" durch den gestiegenen Anteil an Kohlensäure d.h. der pH-Wert fällt), der Taucher verspürt:

- ◆ Kopfschmerzen
- ◆ Enge in der Brust
- ◆ Atemnot ("Esoufflement")
- ◆ und schließlich Bewußtlosigkeit.

COMMERCIAL DIVER TRAINING MANUAL

EFFECTS OF VARIOUS PARTIAL PRESSURES OF OXYGEN

ppO ₂ (atm)	Effect and Where Encountered
<0.08	Coma, death
<0.08 – 0.10	Unconsciousness in most humans
0.09 – 0.10	Serious signs and symptoms of hypoxia
0.14 – 0.16	Initial signs and symptoms of hypoxia
0.21	Normal oxygen level in sea level air
0.35 – 0.40	Oxygen level in normal saturation diving operation
0.50	Threshold for whole body effects, maximum saturation diving exposure
1.4	IMCA limit for maximum ppO ₂ for a working diver's breathing gas
1.6	Oxygen level on 100% at 20 sw (in-water O ₂ decompression, USN Rev.6)
1.9	Oxygen level on 100% at 30 fsw (in-water O ₂ decompression, USN Rev.6)
2.2	Oxygen level on 100% in chamber at 40 fsw (surface decompression)
2.4	60/40 nitrox treatment gas at 6 ATA (165 fsw)
2.8	100% oxygen at 2.8 ATA (60 fsw) as in USN TT5, TT6, and TT6A
3.0	50/50 nitrox treatment gas at 6 ATA (165 fsw)

Source: *The Commercial Diver's Handbook* ©Best Publishing Company

Quelle: [193], S. 42

Wie wirkt sich die Hypercapnie auf die Sauerstoffvergiftung aus?

Nun, wie schon Murphy richtig sagte, kann's dadurch nur noch schlimmer werden! Warum: durch die Hypercapnie meint der Körper, er müsse zum Ausgleich mehr Sauerstoff transportieren und erweitert deshalb die Gefäße (Vasodilatation). Das ist besonders übel, weil das auch im Gehirn passiert (deshalb die Kopfschmerzen wie bei einem Kater (ebenfalls Vasodilatation, in diesem Falle aber durch ein paar Bierchen zuviel ...)). In der Folge werden die Gehirnzellen stärker durchblutet und deshalb wird noch mehr Sauerstoff herangebracht. Darüberhinaus gibt das saurer gewordene Blut den Sauerstoff besonders gerne ab!

Noch zwei weitere Begriffe, deren groben schematischen Zusammenhang man auch im obigen Bildchen erkennt, der "grüne" Bereich = ist der sichere Bereich; gelb ist „naja ...“, weiss etwas besser, die Schwelle beim Sättigungstauchen; die erwähnten TTx sind die Behandlungstabellen der USN.

"**Hypoxie**" bedeutet Unterversorgung mit Sauerstoff, also unterhalb einem pO₂ = 0,14 ata

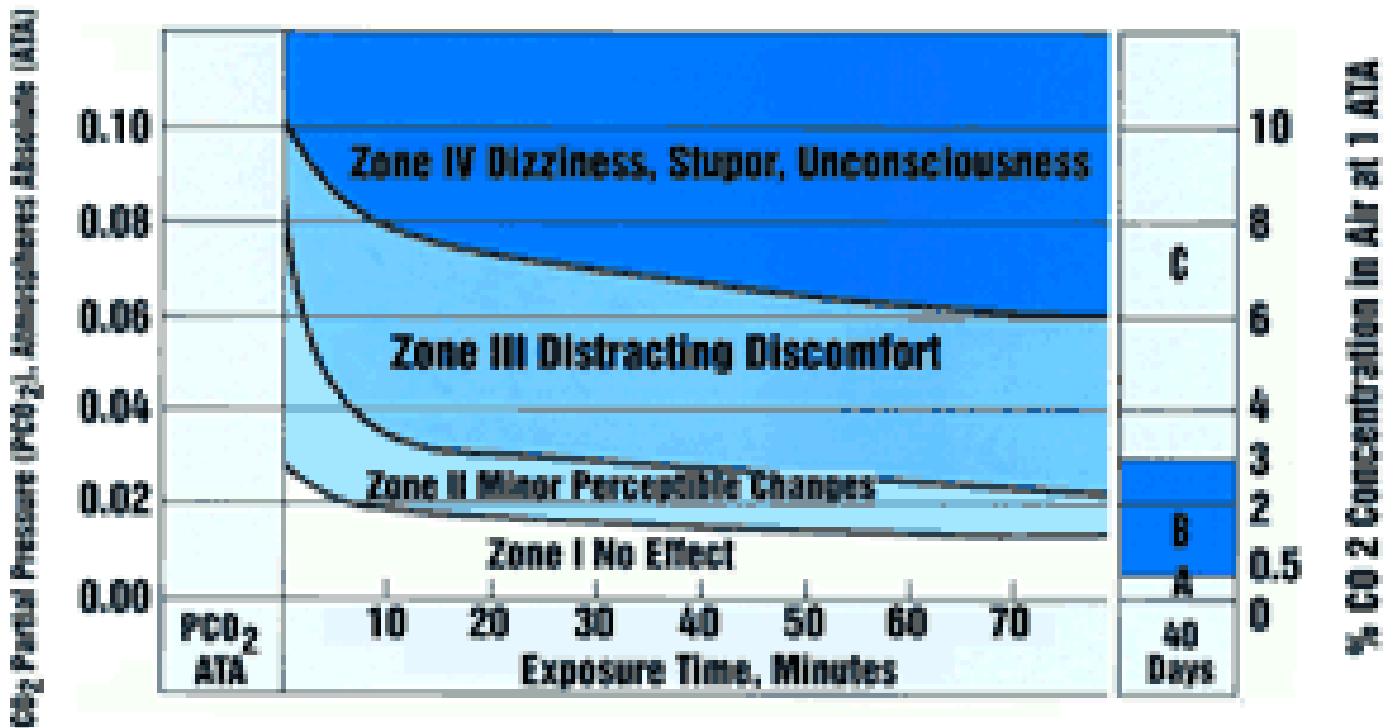
"**Hyperoxie**" ist dann das Gegenteil, nämlich eine Überversorgung mit Sauerstoff, also überhalb einem pO₂ = 0,22 ata

"HBO" bedeutet hyperbare Oxygenation: eine bewußte Herbeiführung einer Hyperoxie in einer Druck-Kammer zur Behandlung z.b. einer Dekompressionskrankheit, eines Gasbrandes oder eines Tinnitus, eines diabetischen Fußes oder, sehr viel häufiger, einer CO-Intoxikation (Kohlenmonoxid Vergiftung) .

**Aus dem NOAA Manual [48], Tabelle 3-1, S. 3-8:
Anwendungen und Physiologische Wirkung einiger pO₂**

pO ₂ [Bar]	Anwendung / Physiologische Wirkung
3.0	EAN 50 für Kammerbehandlung ab 6 Bar absolut
2.8	100 % O ₂ Kammerbehandlungsgas bei 2,8 Bar
2.4	EAN 40 für Kammerbehandlung bei 6 Bar absolut
2.2	Oberflächendekompression (USN) mit 100 % O ₂
1.6	Maximaler pO ₂ für Arbeits-TG
1.4	Maximaler pO ₂ für TG beim Sporttauchen
0.5	Grenze für Ganzkörper-Toxizität, Maximaler pO ₂ für Sättigungs-TG
0.35 - 0.40	Normaler pO ₂ für Sättigungs-TG
0.21	Umgebungsluft in Meereshöhe
0.150 - 0.168	Ausatemluft des Menschen
0.14	Beginn von Hypoxie
0.09 - 0.10	Schwere Anzeichen / Symptome von Hypoxie
0.08 - 0.10	Bewußtlosigkeit
Ab 0.08	Koma / Tod

Hier, wiederum aus dem NOAA Manual, die Wirkungen eines erhöhten Kohlendioxid Partialdrucks in Abhängigkeit von der Zeit [48], 3-10:



Hierbei bedeutet: exposure time: Zeit, no effect: kein Effekt, minor perceptible changes: geringfügige Veränderungen, distracting discomfort: zunehmendes Unwohlsein, dizziness: Schwindel, stupor: Benommenheit, unconsciousness: Bewußtlosigkeit. Um das Risiko einer ZNS Sauerstoffvergiftung zu verringern, halten sich NITROX Taucher an die Zeiten und Partialdrücke der NOAA Tabelle:

NOAA Oxygen Exposure Limits (ZNS Belastung)

(NOAA Grenzen für Sauerstoff-Exposition, aus dem NOAA Diving Manual 3rd ed., 1991 bzw. aus [48], 3-23)

pO ₂ [atm]	Maximum Single Exposure [min.]	Maximum per 24 h [min.]
1,60	45	150
1,50	120	180
1,45	135	180
1,40	150	180
1,35	165	195
1,30	180	210
1,25	195	225
1,20	210	240
1,10	240	270
1,00	300	300
0,90	360	360
0,80	450	450
0,70	570	570
0,60	720	720

Grauer Bereich: nur für ausserordentliche Sauerstoff-Belastungen, z.B. für Notfälle, (contingency planning) für pO₂ zwischen 1,40 und 1,60 atm, max. single exposure: maximale Dauer für einen Einzel-TG, max. per 24 h: maximale Summe der TG an einem Tag

Bsp.: ein TG sei auf 20 m mit einem EANx50. Wie lange darf ich maximal tauchen?

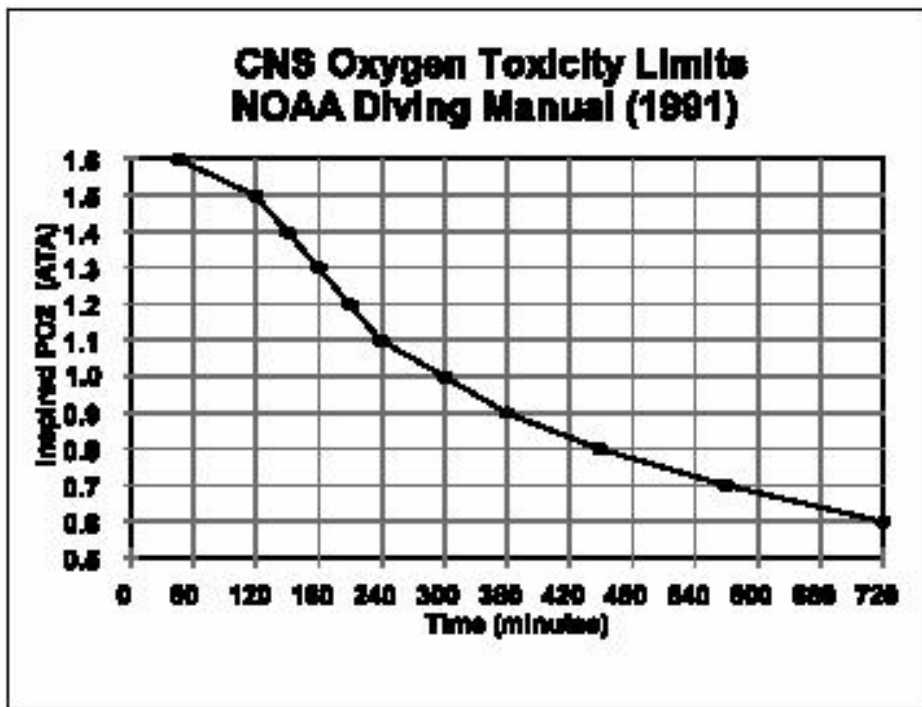
Lösung: Wie groß ist der pO_2 ? $3 * 0,5 = 1,5$; also max. Dauer 120 min!

Wie wird nun %ZNS (%CNS) berechnet?

Tauche ich tatsächlich die vollen 2 h, so ist die aufgenommene Dosis eben 100 %.

Wenn nun der TG nur 30 min. dauert habe ich $30/120 = 0,25$

d.h. 25 % meiner erlaubten maximalen ZNS Dosis aufgenommen.



Hier die graphische Darstellung der NOAA Limits. Diese Zahlen wurden nur zum kleinsten Teil experimentell ermittelt und von den Herren Edward D. Thalmann und Christian J. Lambertsen von der NEDU (Naval Experimental Diving Unit) und 1988 publiziert.

Bsp.: tauche ich mit meinem NITROX 32 zur JURA, dann beträgt meine max. Tauchdauer für einen TG 45 min. Will ich jedoch mehrere TG mit diesem Sauerstoff-Partialdruck machen, so ist die maximale Tagesdosis auf 150 min. begrenzt!

Im Klartext: bei der TG-Planung mit NITROX muss darauf geachtet werden, wie lange meine NOAA Limits und dann wie groß meine NDLs, bzw. meine Deko-Pausen dann werden!

OBACHT:

die Mindest-OFP zwischen NITROX TG ist 45 min., empfohlen werden üblicherweise:
90 min.! Weiteres Beispiel: PADI empfiehlt 60 min.

Die NOAA Limits enden ganz offenbar bei 1,4 atm pO_2 , hmmm... (*)

Was passiert, wenn wir die überschreiten? Nun, ich denke, es wird uns nicht sofort der Sauerstoff-Blitz treffen! Wir haben es hier mit empirischen Grenzwerten zu tun, genauso wie beim Stickstoff und den Deko-Zeiten einer Tabelle! Trotzdem, Vorsicht, ist immer die Mutter dieser Porzellankiste! (Ich will euch nicht empfehlen, meine Jugend-Sünden (=Dummheiten) nachzumachen und etwa damit behaupten, ein jeder könne bei ca. 2,6 Bar pO_2 im Freiwasser (Rotes Meer beim TOWER mit Druckluft, welche Tiefe?) überleben: GANZ SICHER NICHT! Auch wenn ich sowas früher regelmäßig getan habe ...) Schauen wir uns doch amal an, wie die Profis so was machen (Auszug aus dem U.S. Navy Manual 14-6):

Table 18-5. Single-Depth Oxygen Exposure Limits.

Depth	Maximum Oxygen Time
25 fsw	240 minutes
30 fsw	80 minutes
35 fsw	25 minutes
40 fsw	15 minutes
50 fsw	10 minutes

Wir sehen die maximal Tiefen & TG Zeiten für einmalige TG mit reinem Sauerstoff: 100 % Oxygen (O_2); 12 m (= ca. 2,2 Bar pO_2) sind ca. 40 feet, 15 m ca. 50 feet (ca. 2,5 Bar pO_2). Gut: hier haben wir andere Voraussetzungen (Training, Ausbildung, Gesundheit & körperliche Fitness) und andere Bedingungen (i.d.R. Hilfstaucher, Taucherarzt und Deko-Kammer in der Nähe) die wir NICHT auf Hobby-/Sport-/Urlaubstaucher übertragen dürfen! Weiterhin dürfen auf Grund der Gaszusammensetzung und der damit verbundenen größeren Dichte die 100% O_2 Grenzwerte nicht mit den Mischgas-Grenzwerten verglichen werden, da durch die höhere Dichte die Atemarbeit (Muskeln in eurem Brustkorb) steigt und somit in größerer Tiefe für CO_2 Anreicherung in den Geweben sorgt!

(*): nein, tun sie eben nicht: nur für die unter die Regularien der OSHA (= Occupational Safety and Health Administration, eine Arbeitsschutzbehörde der Regierung der Vereinigten Staaten) fallenden Taucher gilt die 1,4 Obergrenze, und damit für alle Sporttaucher im anglo-amerikanischen Raum, die medizinisch versichert sein wollen.

Zusammenfassend, hier eine kleine Auswahl der Faktoren, die die **ZNS-Toxizität begünstigen**

- Arbeit (körperliche Belastung) und: erhöhter arterieller pCO_2
- Hyperthermie und Fieber
- Aspirin, Steroide, Opiate, Insulin, Viagra, Coffein
- Fluoreszierendes Licht

Andere Organisationen haben ebenfalls andere Ox-Tox Limits gesetzt, insbesondere im kommerziellen Tauchen gelten diesseits des Atlantiks komplett andere Regeln, wie dort überm großen Teich, hier als kleine Tabelle:

Organisation / Name	PO_2 [Bar]	Max. Tauchzeit [min.]

U.S.N.	2,5	10
U.S.N.	2,2	15
U.S.N.	2,0	25
U.S.N.	1,9	80
U.S.N.	1,75	240
NOAA	1,6	45
NOAA	1,4	150
National Undersea Research Center, North Carolina	1,45	-
Swedish Navy	1,40	-
DAN (R. Vann)	1,20	-

Hierzu auch [48], 3.3.3.3.6! Das Ganze wird sogar noch verschärft, wenn wir auch noch auf die Ganzkörper Tagesdosis achten wollen. Wie können wir das bewerkstelligen? Wir nehmen die folgende OTU Tabelle (Oxygen Tolerance Units) her:

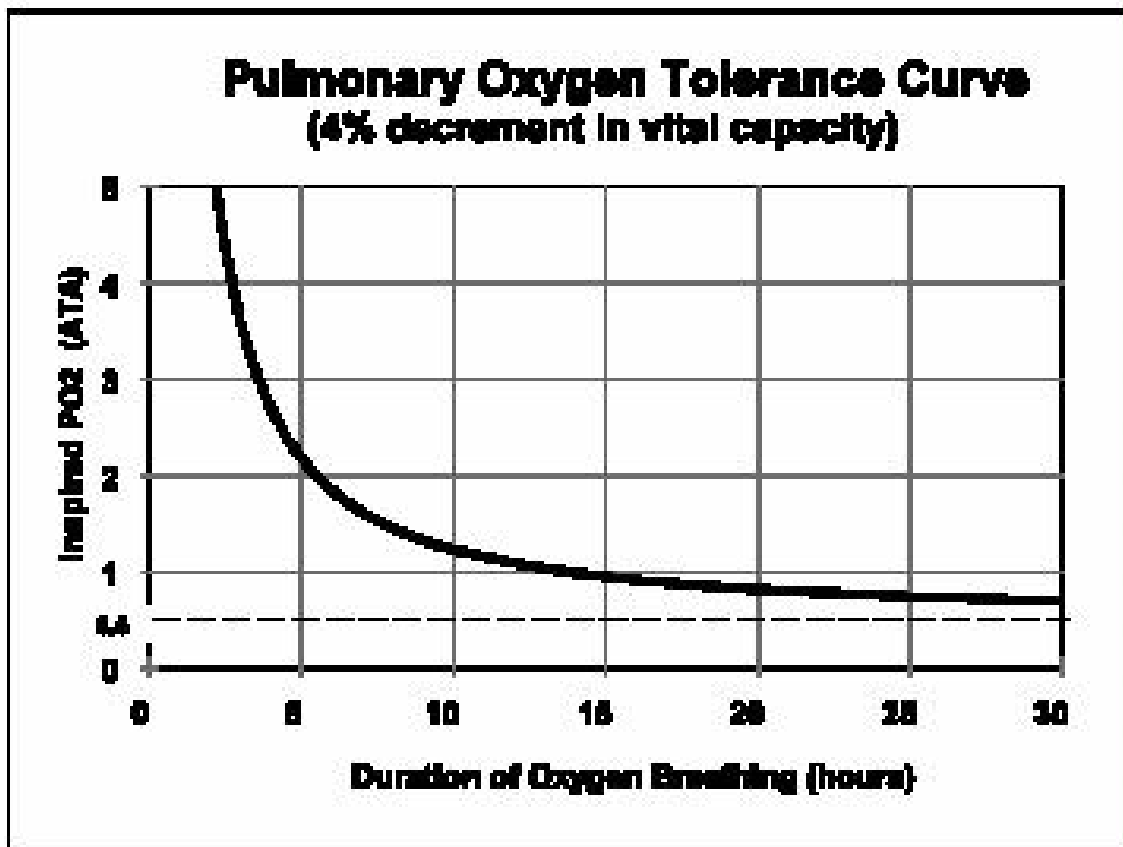
OTU Tabelle (Oxygen Tolerance Units; aus [48], 3-25:)

pO ₂ [atm]	OTU / min.		pO ₂ [atm]	OTU / min.
0,50	0,00		1,25	1,39
0,55	0,15		1,30	1,48
0,60	0,27		1,35	1,56
0,65	0,37		1,40	1,63
0,70	0,47		1,45	1,70
0,75	0,56		1,50	1,78
0,80	0,65		1,55	1,85
0,85	0,74		1,60	1,92
0,90	0,83		1,65	2,00
0,95	0,92		1,70	2,07
1,00	1,00		1,75	2,14
1,05	1,07		1,80	2,22
1,10	1,16		1,85	2,28
1,15	1,23		1,90	2,35
1,20	1,32		2,00	2,49

1 OTU ist die Dosis, die man bei 1 atm und 100 % Sauerstoff innerhalb einer Minute aufnimmt.

Bem.: früher wurden die OTUs als "UPTD" bezeichnet, als "Unit of Pulmonary Toxic Dose",
Bsp.: unser berühmter JURA TG mit NN32 bedeutet also 1,92 OTU / min.

Jetzt müssen wir nur noch wissen, wieviel OTUs denn erlaubt sind. Hierbei benötigen wir die folgende REPEX Tabelle von Bill Hamilton von 1988 (REPEX = REPetitive EXcursions, also wiederholte Sauerstoff-Aussetzung)(aus [48], 3-25)(Die Original Monographie von Hamilton ist: Hamilton, R.W., Kenyon, D.J., Peterson, R. E., Butler, G.J., Beers, D.M., 1988 May, Repex: Development of repetitive excursions, surfacing techniques, and oxygen procedures for habitat diving, NURP Technical Report 88-1A, Rockwell M.D., U.S. DoD):



Tauch Tage	Durchschnittliche Dosis	Maximale Total-Dosis (für alle Tage)
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200
15 – 30	300	Nach Anforderung

Die genaue Berechnung geht nach folgender Formel:

$$OTU = t * ((pO_2 - 0,5) / 0,5) \exp 0,83$$

Wobei t die Tauchzeit in Minuten ist.

Die obige Formel wurde teilweise aus klinisch gewonnenen Daten angepasst. Die Daten wurden aus der gemessenen Verringerung der Vitalkapazität abgeleitet:

Kleines Beispiel gefällig? Also $pO_2 = 1,6$ Bar (unser allgegenwärtiges JURA Beispiel): $(1,6 - 0,5) / 0,5 = 2,2$. Dies tippt ihr in euren Taschenrechner ein und nehmt dann den angegebenen Exponenten 0,83:

$$2,2 \text{ (dann: Taste } x^y \text{) } 0,83 = 1,924$$

Diese Zahl bedeutet 1,924 OTUs/min. Schauen wir in der OTU Tabelle bei 1,6 Bar nach, so finden wir abgerundet 1,92. Das bedeutet nun einfach folgendes: bei unserem durchschnittlichen JURA-TG von 20 min. ist unsere totale Sauerstoff-Belastung in OTUs:

$$20 \text{ min} * 1,924 \text{ OTU/min} = 38,48 \text{ OTU}$$

Mit Deko und allem Pipapo runden wir (siehe im Kapitel Luftverbrauchsberechnung) auf 50 min und sind somit auf der sicheren Seite:

$$50 * 1,93 = 96,5; \text{ wiederum gerundet ca. } 100 \text{ OTUs}$$

Vergleichen wir das mit den max. erlaubten 850 OTUs so haben wir jetzt:

$$100 / 850 = 0,118; \text{ also ca. } 12 \% \text{ der zulässigen REPEX Dosis abgekriegt}$$

Jedoch, was die ZNS Belastung betrifft, haben wir unsere zulässigen 45 min. für einen einzelnen TG gut "ausgeschöpft" und von den erlaubten max. 150 min. für unseren kompletten Tauchtag am Bodensee bereits:

$$50 / 150 = 0,33; \text{ also ca. } 33 \% \text{ ausgeschöpft.}$$

Machen wir mehrere TG innerhalb 24 Stunden, so müssen alle Werte (ZNS Belastung bzw. REPEX) für jeden TG addiert werden! Diese Summen sollten die Obergrenzen nach den beiden Tabellen bzw. die 100% Marke nicht überschreiten! Sind nach der TG Planung einmal 100 % erreicht, so sollte mit dem Tauchen aufgehört werden! Sicherer ist dann eine OFP von 24 Stunden!

Oberflächenintervall (OFP [Oberflächenpause]) beim NITROX Tauchen

Genau wie beim Druckluft tauchen während der OFP eine Entsättigung passiert (der Körper gibt ja Stickstoff ab), wird auch die Sauerstoff-Belastung während einer OFP reduziert. Bei einer normalen Druckluft Tabelle seht ihr mit länger werdender OFP den Wiederholungsgruppen-Buchstaben in Richtung des Buchstabens "A" spazieren. Beim NITROX gilt für den Sauerstoff die Halbwertszeit von 90 min. Mit dieser Annahme reduziert sich nach 90 min. OFP die Sauerstoff-Belastung auf die Hälfte (50 % des ersten Wertes), nach weiteren 90 min. wiederum auf die Hälfte, d.h.: auf 75 % (50 + 25), dann auf 87,5 % (50 + 25 + 12,5) usw.:

Dauer der OFP [Minuten]	Abnahme der Sauerstoff-Belastung [%]
90 min:	50 %
180 min.	75 % (50 + 25)
270 min.	87,5 % (75 + 12,5)
360 min.	93,75 % (87,5 + 6,25)
450 min.	96,875 % (93,75 + 3,12)
540 min.	98,44375 % usw.

Im Klartext: nach ca. 9 h OFP soll die Sauerstoff-Belastung verschwunden sein!

In einer Faust-Formel zur Abschätzung sieht das so aus (aus [23], S. 18):

$$(90 / \text{OFP}[\text{min.}] * [\% \text{ZNS}]) / 2$$

Bsp.: % ZNS direkt nach dem TG sei 35 %, die OFP betrage 2 h, also:

$$(90 / 120 * 35) / 2 = 13,12$$

die Sauerstoff-Belastung von 35 % ZNS hat sich durch die OFP auf ca. 13 % verringert.

Natürlich gibt's auch hierfür wieder eine Tabelle für diejenigen, die nicht die Formeln nehmen wollen (Obacht: die Formel ist eine lineare Vereinfachung, deshalb gibt's es ein paar kleinere Diskrepanzen zur Tabelle, welche der e-Funktion angepasst ist):

OFP [Stunden:Minuten]	Multiplikator [* %CNS]
0:30	0,80
1:00	0,63
1:30	0,50
2:00	0,40
2:30	0,31
3:00	0,25
3:30	0,20
4:00	0,16
4:30	0,13
5:00	0,10
6:00	0,06
9:00	0

Wer die Formel hierfür genauer mag (z.B. aus [19], S.24):

$$\% \text{CNS}(t) = \% \text{CNS} * \exp (-t / 130)$$

t ist die OFP in Minuten.

Anwendung der Formel: auf welchen Wert ist die %CNS Dosis von 42 % nach einer OFP von 45 min. gesunken? Tippe in den Taschenrechner: $45 / 130 = 0,346\dots$, dann „change sign“ (+/-), dann \exp (oder auch e^x) = $0,7\dots$, dann $* 42 = 29,7$, also ca. auf 30 %

Hier weitere Beispiele, auch mit mehreren NITROX TG an einem Tauchtag; gesucht sind immer: % ZNS sowie OTUs

A) TG 40 m, 20 min., NITROX 30;

$pO_2 = 5 * 0,3 = 1,5$ Bar, d.h. bei 120 min. maximal, also: $20 / 120 = 0,16$ gerundet 17 % ZNS und 1,78 OTU/min,
also $20 * 1,78 = 35,6$, also 36 OTUs, d.h.: $36 / 850 = 0,042$; d.h.: gerundet ca. 5 % REPEX.

B) TG 22 m, 60 min., NITROX 40;

$pO_2 = 3,2 * 0,4 = 1,28$ Bar, d.h. bei 180 min. maximal, also $60 / 180 = 0,33$ gerundet 34 % ZNS und 1,48 OTU/min,
also $60 * 1,48 = 88,8$, also 89 OTUs, d.h.: $89 / 850 = 0,104$; d.h.: gerundet ca. 11 % REPEX

Würden wir die TG A) und B) an einem Tag hintereinander machen (zunächst einmal ohne Berücksichtigung der OFP), dann müßten wir einfach die %-Zahlen addieren, also:

ZNS = $17 + 34 = 51$ %
REPEX = $5 + 11 = 16$ %

Berücksichtigen wir jetzt noch eine OFP von 2:00 (also 120 min.) zwischen den TG A und B, so ergibt sich folgendes nach Abschluß des 2. TG:

ZNS = $17 * 0,4 + 34 = 40,8$; also ca. 41 %
REPEX = $5 + 11 = 16$ % (bleibt natürlich unverändert!)

Nach welcher OFP ist dieser ZNS Wert auf 10 % gesunken?

$41 \% * 0,25 = 10,25$; also nach einer OFP von ca. 3:00, also 180 min.

C) ein etwas interessanterer TG geht zum Wrack des Kiesfrachters „Sonja“ an der Überlinger Promenade. Die Simulation mit unserem Programmchen [DIVE](#) ergibt:
(zum kostenlosen download da: https://www.divetable.info/DIVE_V3/index.htm)

TG 50 m, 30 min., NITROX 25 mit Deko-Stopps (EANx 25) auf 15 m / 1 min. (deep stop), 12 m / 3 min., 9 m / 4 min. auf 6 m / 10 min. und 3 m / 15 min. mit reinem Sauerstoff

$pO_2 = 6 * 0,25 = 1,5$ Bar, $30 / 120 = 0,25 \leftrightarrow 25$ % ZNS; $1,78 \text{ OTU/min} * 30 = 53,4 \leftrightarrow 54$ OTU
deep stop auf 15 m, $pO_2 = 0,63$ Bar (mit EANx 25), $1 / 570$ (vergessen wir)
Deko-Stopp auf 12 m, $pO_2 = 0,6$ Bar, $3 / 720$ (vergessen wir ebenfalls)
Deko-Stopp auf 9 m, $pO_2 = 0,5$ Bar, ist offiziell vergessbar
Gaswechsel auf reinem Sauerstoff:
Deko-Stopp auf 6 m: $pO_2 = 1,6$ Bar:
 $10 / 45 = 0,22 \leftrightarrow 23$ % ZNS; $1,92 \text{ OTU/min} * 10 = 19,2 \leftrightarrow 20$ OTU
Deko-Stopp auf 3 m: $pO_2 = 1,3$ Bar:
 $15 / 180 = 0,083 \leftrightarrow 9$ % ZNS; $1,48 \text{ OTU/min} * 15 = 22,2 \leftrightarrow 23$ OTU
Ergibt:
 $25 + 23 + 9 = 57$ % ZNS, sowie $54 + 20 + 23 = 97$ OTU, d.h.: $97 / 850 = 0,114$;
also 12 % REPEX

D) ein vergleichbarer TG, jetzt mit EAD Methode und der Deco2000 Tabelle kontrolliert!
(50 m, Nitrox 26, 20 min).

Die EAD liefert 46,2 m, also bei 48 m und 21 min. nachgeschaut ergibt:

12 m / 3 min., 9 m / 4 min., 6 m / 7 min., 3 m / 17 min. (mit EANx 26 dekomprimiert), alternativ:

12 m / 3 min., 9 m / 4 min., 6 m / 3 min., 3 m / 11 min. (mit reinem Sauerstoff dekomprimiert ab 6 m, [DIVE V2.2]):

$$pO_2 = 6 * 0,26 = 1,56 \text{ Bar:}$$

$$20 / 45 = 0,44 \leftrightarrow 45 \% \text{ ZNS; } 1,92 \text{ OTU/min} * 20 = 38,4 \leftrightarrow 39 \text{ OTU;}$$

die 12 und 9 m Stopps vergessen wir getrost (warum?)

$$\text{Deko-Stopp auf 6 m: } pO_2 = 1,6 \text{ Bar}$$

$$3 / 45 = 0,06 \leftrightarrow 7 \% \text{ ZNS; } 1,92 \text{ OTU/min} * 3 = \text{ca. } 6 \text{ OTU}$$

$$\text{Deko-Stopp auf 3 m: } pO_2 = 1,3 \text{ Bar:}$$

$$11 / 180 = 0,06 \leftrightarrow 7 \% \text{ ZNS; } 1,48 \text{ OTU/min} * 11 = 16,28 \leftrightarrow 17 \text{ OTU}$$

Ergibt: 45+7+7= 59, also ca. 60 % ZNS, sowie 39+6+17=62, also ca. 70 OTUs

OBACHT:

üblicherweise wird in wissenschaftlichen Veröffentlichungen mit den echten SI Einheiten gerechnet; d.h.: in ATA, kPa bzw. in atm; so sind alle neueren NOAA Tabellen in atm. Dies seht ihr an den Achsenbeschriftungen der Graphiken. Taucher und oft auch eure Desktop-Deco Softwaren rechnen halt in Bar resp. 1 Bar = ca. 10 m Wassersäule (WS), was für uns normale Taucher eigentlich auch ausreichend ist. Wollt ihr die Ergebnisse genau miteinander vergleichen, so müsst ihr umrechnen!

Bsp.: der Umrechnungsfaktor von 1 atm zu Bar beträgt 1,01325 und 10,33 m WS (reines Wasser) bzw. 10,08 m WS (☉ Meerwasser). Sei z.B. der NOAA Grenzdruck 1,6 atm ~ 1,62 Bar. D.h. rechnet eure Deco-Software mit Bar ist die entsprechende Tauchtiefe eben nicht 6 m sondern 6,2 m.

Update per 2013 bzw. 2014:

Im neuen aktuellen, der 5. Ausgabe, des NOAA Manuals [149] wird die O₂-HWZ allerdings auf 120 min gesetzt! Siehe a.a.O., S. 4-27 sowie die Tabelle 4.7 auf S. 4-30. D.h. wir haben damit folgendes:

$$\text{Dosis}(t) = \text{Dosis}_0 * e^{(-0,00578 * t)}$$

Formel 0.1 O₂ HWZ, NOAA neu

t ist die OFP in min, die Dosis₀ diejenige beim Verlassen des Wassers, also zu Beginn der OFP.
Mit:

$$\lambda_{O_2} = 0,693 / 120 \text{ min} = 0,00578 \text{ min}^{-1}$$

Formel 0.2 Lambda O₂, NOAA neu

Und wir finden auch da die putzigen Bemerkungen bzgl. der alten 90 min HWZ: „ ... *this procedure has not been experimentally verified.* ... based on a 120 min halftime, consistent with traditional NOAA practices.“

D.h. als kleines Beispielchen:

verlassen wir das Wasser mit einer ZNS Dosis von 80 % des NOAA Limits, so ist bei Beginn der OFP (t = 0,0 min):

OFP [h]	0	0,5	1	2	3	4	6	8
ZNS Dosis [%]	80	67	57	40	28	20	10	5

Allerdings sollten wir bei dieser ganzen ZNS-Dosen-Rechnerei einen Satz des großen Meisters selber, Bill Hamilton, dem „Erfinder“ des ganzen REPEX-Getöses, nicht vergessen:

„There is no experimental basis on this!“

(R.W. Bill Hamilton, 49th UHMS workshop, 2001, p. 70)

Fazit:

Wie kann die Sauerstoffvergiftung vermieden werden?

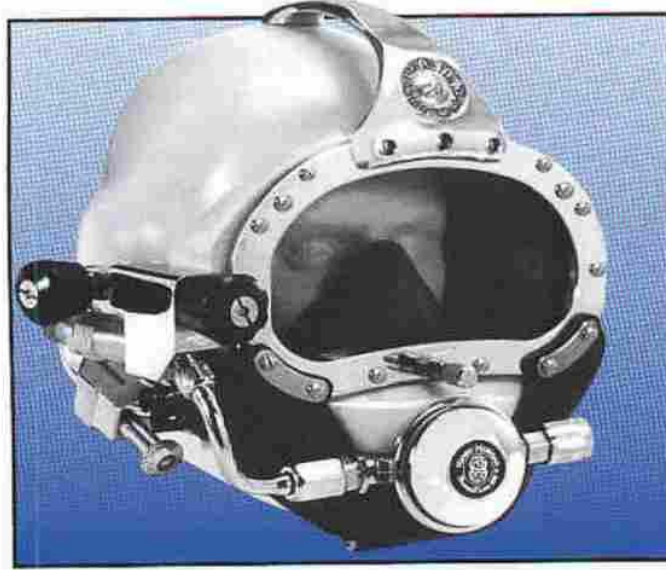
Ganz einfach, wie beim Tiefenrausch und der Deko-Krankheit auch! Nicht zu lange und nicht zu tief tauchen, d.h. die 1,4 Bar pO_2 Obergrenze einhalten und 100 % Tagesdosis nicht überschreiten! Bei Auftreten der Symptome: sofort auftauchen und Luftatmung. Keine TG, auch keine Druckluft-TG mehr. Bei Druckkammerbehandlungen mit reinem Sauerstoff wird, je nach Tabelle, immer eine 5 bis 15 minütige Luftpause alle ca. 25 min. Sauerstoff-/Nitrox- Atmung eingelegt („air break“).

Noch eine abschliessende, persönliche Bemerkung: egal, ob NOAA ZNS Limits oder OTUs: diese Werte basieren auf gemessenen Experimenten am Menschen, d.h. die Werte unterliegen naturgemäß einer grossen Variabilität. Will sagen: auch wenn ich einen Limit genau einhalte, habe ich keine Garantie, dass mir nix passiert! Anders gewendet: mit 101 % OTU oder ZNS Dosis wird mich nicht sofort der Sauerstoff-Blitz treffen! Desweiteren werden i.d.R. bei 3 – 5 Sport-TG pro Tauchtag mit den üblichen Profilen die OTU/Repex Werte immer im grünen Bereich liegen.

Was machen Berufs- / Militäertaucher um der Ertrinkungs-Gefahr durch Krämpfe bei einer Sauerstoffvergiftung zu begegnen? Es werden Vollgesichtsmasken oder Helme getragen! Hierdurch ist das gesamte Gesicht auch vor Kälte geschützt, jedoch wird auch der Tauchreflex (Erniedrigung von Pulsfrequenz und Blutdruck sowie Zentralisierung der Blutverteilung) verhindert. Bei einem auftretenden Krampf kann der Taucher jedoch seinen Automaten nicht ausspeien oder bei Bewußtlosigkeit auch nicht verlieren! Hier 2 Beispiele für Vollgesichtsmasken: die AGA Divator (links) und eine EXO Band-Maske von Kirby-Morgan (rechts):



Und hier ein Beispiel für einen modernen Tauchhelm (Kirby-Morgan Super-Lite) für mehrere tausend Euro:



Desweiteren sind die Sauerstoff-Tabellen incl. der Ox-Tox Grenzen und ZNS-Dosen dort komplett anders ausgelegt, d.h. da geht es auch bis zu 2 oder auch amal 3 Bar p_{O_2} ... Mehr dazu , Hintergründe, Profi-Tabellen und Einsatzprozeduren: im [deco-workshop!](https://www.divetable.info/workshop/workshop.htm) (Siehe da: <https://www.divetable.info/workshop/workshop.htm>)

Was zuviel ist, ist zuviel! Der Umgang mit der Sauerstoff-Toxizität:

2. Neu: K-Werte Berechnung von Ran Arieli, IDF

Nachdem es seit langem Kritik an den oben erläuterten Dosisberechnungen und Dosisgrenzen gibt, und zwar aus allen professionellen Lagern, sei es von den HBOT, C- & R-, und MIL-diving Fraktionen, werden langsam Alternativen in Betracht gezogen. Eine davon sind die K-Werte von Ran Arieli, IDF (israeli defence forces). Ran & Kollegen (alle Quellen dazu im „[deco workshop](#)“) haben an Hand von mehreren tausend Rebreather-TG von israelischen Militärtauchern die Koeffizienten für die sogen. „power function“ entwickelt. Es gibt davon zwei: eine für die ZNS (CNS-OT) und eine für die Ganzkörper (P-OT). Auch die „recovery function“, die Erholung von der Ox-Tox Dosis während der OFP / SI gestaltet sich anders: die nachfolgenden Folien sind aus den entsprechenden Kapiteln des „deco workshops“ bzw. dem dazugehörigen [Manual](#) entnommen. Es werden die Formeln der „power functions“ sowie der „recovery function“ (Erholung von der Ox-Tox Dosis während der OFP / SI) erläutert sowie die „risk“ (Risiko-Werte). Nachdem die K-Werte relativ unhandlich sind, gibt es zum Abschluß noch 3 pragmatische Tabellen zum einfache ablesen dazu; Weitere Quellen & allgemeine Infos sind da aufgelistet:

An agile implementation of the "K-Value" severity index for cns- and pulmonary oxygen toxicity (CNS-OT & P-OT); <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17583.87205>

"There is no experimental basis on this!" (*)

SUB
MARINE
CONSULTING

Übliche Vorgehensweise bei
EAN-/Nitrox-/TEC-Kursen:

(*) "There is no
experimental basis
on this!"

R.W. Bill Hamilton,
49th UHMS workshop, 2001, p. 70



"There is no experimental basis on this!" (*)

SUB
MARINE
CONSULTING

Jean-Claude LE PÉCHON: The CNS counter (cont'ed...)

30 /54

This is the most stupid thing I ever saw in diving physiology!

1 – The selected limit values are only a decision of NOAA

This is totally arbitrary: French regulation limits 1.6 bar to 3 hours !!!!

2 – CNS intoxication is **NOT** linear neither proportional to
the duration of exposure

3 – The effects of a given PO₂ level on the brain are extremely
different for 1.4 or 1.6 Bar,
and those % cannot be added.

This CNS clock is of NO value and cannot predict the risk of convulsion

*When it is incorporated in a dive computer you should question the
manufacturer's understanding in diving physiology ...*



<http://jclp-hyperbarie.fr>

Selecting breathing gases – Amsterdam – March 2018



24

Mother Nature is a Bitch: jenseits von 1,6 ... Details von der israel. Navy [Ran Arieli]:

Übersicht K-Werte Berechnungen für
CNS-OT bei risc ca. 1 % & P-OT < 10 % ΔVC:

power function:

$$K = t^2 * pO_2^c$$

CNS-OT: **K < 26,108** *t in min.* *pO₂ in atm* *c = 6.8*

P-OT: **K < 250** *t in hours* *pO₂ in atm* *c = 4.57*

recovery function:

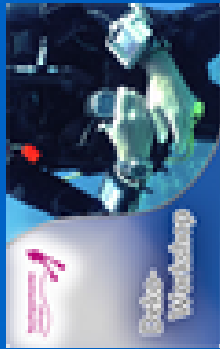
$$K_{\text{recovery}} = K_{\text{end}} * e^{- (\tau * t_{\text{recovery}})}$$

τ = time constant: 0.079; t_{recovery} in min.



**Mother Nature is a Bitch: jenseits von 1,6 ...
 Details von der israel. Navy [Ran Arieli]
 CNS-OT:**

t_{max} sind zur leichteren Merkbarekeit nach unten korrigiert!

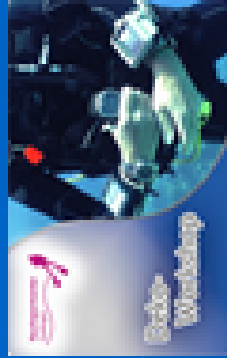


Sub
MARINE
CONSULTING

t_{max} [min]	K_{max} @ 1% risc	pO_2 [atm]	bottom time [min]												% of K_{max}				
			10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	80		120	180	240	
15		2	42	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18		1,9	30	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20		1,8	20	46	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		1,7	14	31	56	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30		1,6	9	21	37	58	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40		1,5	6	13	24	37	54	73	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50		1,4	3	8	15	23	33	46	60	76	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
65		1,3	2	5	9	14	20	27	36	46	57	68	82	-	-	-	-	-	-
85		1,2	1	2	5	8	11	16	21	26	33	40	47	-	-	-	-	-	-
110		1,1	0	1	2	4	6	8	11	14	18	22	26	59	-	-	-	-	-
150		1	0	0	1	2	3	4	6	7	9	11	13	31	55	-	-	-	-
200		0,9	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	15	26	60	-	-	-
300		0,8	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	3	6	12	27	48	-	-
500		0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	4	10	19	-	-
700		0,6																	

Mother Nature is a Bitch: jenseits von 1,6 ... Details von der israel. Navy [Ran Arieli] P-OT:

SUB
 MARINE
 CONSULTING



pO ₂ [atm]	Bottom time [min]											
	60	90	120	150	180	240	300	360	420	480	540	600
3	152	341	606	1364	2424	3788	5454	7424	9697	12272	15151	
2.5	66	140	263	590	1054	1646	2371	3227	4215	5334	6585	
2	24	53	95	214	380	594	855	1164	1520	1924	2375	
1.9	19	42	75	169	301	470	676	921	1202	1522	1879	
1.8	15	33	59	132	235	367	528	719	939	1189	1468	
1.7	11	25	45	102	181	283	407	554	723	915	1130	
1.6	9	19	34	77	137	214	308	420	548	694	857	
1.5	6	14	26	57	102	159	230	313	408	517	638	
1.4	5	10	19	42	74	116	168	228	298	377	465	
1.3	3	7	13	30	53	83	119	163	212	269	332	
1.2	2	5	9	21	37	58	83	113	147	186	230	
1.1	2	3	6	14	25	39	56	76	99	125	155	
1	1	2	4	9	16	25	36	49	64	81	100	
0.9	1	1	2	6	10	15	22	30	40	50	62	
0.8	0	1	1	3	6	9	13	18	23	29	36	
0.7	0	0	1	2	3	5	7	10	13	16	20	
0.6	0	0	0	1	2	2	3	5	6	8	10	
0.5	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	

Welches NITROX ist das Beste für mich?

In diesem Kapitel lernt ihr folgende Begriffe kennen:

EAD; MOD; Best MIX

Desweiteren sollt ihr am Ende dieses Kapitels folgendes berechnen/erklären können:

Wie bestimme ich die EAD zu einem vorgegebenen Mix? Wie berechne ich die MOD?; Was ist der Best MIX, für welche Tiefe?

EAD bedeutet "**Equivalent Air Depth**" (Äquivalente Luft Tiefe) und ist somit ganz einfach eine Tiefe in Metern, die dem reduzierten Stickstoff-Angebot Rechnung trägt! Bei NITROX ist die EAD **immer kleiner** als die tatsächliche Tauchtiefe. **OBACHT**: dies gilt in dieser Schärfe nur für SCUBA. Ausdrücklich sei der Sonderfall Rebreather erwähnt! Bei gewissen Betriebszuständen (Mix, Anstrengung) kann die EAD tiefer werden wie die tatsächliche Tauchtiefe! Für SCUBA gilt die einfache Formel:

$$\text{EAD [m]} = ((\% \text{ N} / 79) * (\text{Tiefe} + 10)) - 10$$

Folgendes anschauliche Beispiel:

Der $p\text{N}_2$ für einen 30 m TG mit einem Nitrox40 beträgt: $4 * 0,6 = 2,4$ Bar.

Der $p\text{N}_2$ für einen 20 m TG mit Druckluft beträgt $3,0 * 0,79 =$ (etwa) 2,4 Bar.

Im Klartext: die Stickstoffaufnahme des Körpers beträgt mit dem Nitrox40 auf 30 m genau gleichviel wie bei dem TG mit Druckluft auf ca. 20 m: deshalb wird die EAD des Nitrox 40 für einen TG auf 30 m als 20 m ausgewiesen!

Wozu benötigen wir nun die EAD?

Ganz einfach: wir können unseren vorhandenen ("Luft"-)Tauchcomputer benützen bzw. unsere normalen "Luft"-Tauchtabellen, auch wenn wir mit NITROX tauchen! Wir berechnen mit dem Mix und unserer Tauchtiefe die EAD und lesen dann die dazugehörigen NDLS in der Luft-Tabelle ab! Wir benutzen spaßeshalber die neue "DECO 2000" von meinem Freund Maxe Hahn.

Bsp.: EAD für einen TG auf 40 m mit einem NITROX 32, (% N ist dann also 68)

$$(68 / 79 * (40 + 10)) - 10 = 33,03 \text{ m,}$$

wir können dann in einer normalen Druckluft Tabelle bei 33 m den NDL nachgucken (= 12 min) obwohl wir auf 40 m (NDL = 7 min) sind.

Bsp.: EAD für einen TG auf 22 m mit einem NITROX 40;

$$60 / 79 * 32 - 10 = 14,3 \text{ m, also NDL (statt 23 min.) nunmehr 72 min.}$$

MOD bedeutet "**Maximum Operation Depth**", (Maximale Operations (=Tauch) Tiefe) d.h.: die maximal erlaubte Tauch-Tiefe für das eingesetzte Gemisch! Sie ergibt sich einfach aus dem maximal erlaubten Sauerstoff-Partialdruck.

$$\text{MOD [m]} = (\text{max. erlaubter } p\text{O}_2 * 10 / \text{O}_2 \text{ Anteil}) - 10$$

Es gibt somit **2 MODs**:

nämlich eine für:

- „normale“ bzw.
- anstrengende TG („work phase“: Kälte, Strömung, UW-Arbeit)
- bzw. die sogenannte „bottom phase“ (**$pO_2 = 1,4 \text{ Bar}$**);

und eine für:

- "easy diving" in warmem Wasser bzw.
- "contingency planning", sprich für eine aussergewöhnliche Sauerstoff- Belastung, sonstige
- Ausnahme- oder Notfälle und die
- Dekompressionsphase (**$pO_2 = 1,6 \text{ Bar}$**).

Weitere MODs ergeben sich aus den Empfehlungen verschiedener TEC-Ausbildungsorganisationen ([51], S. 20, [45], S. 28 ff bzw. [46], S. 40): hierbei soll für die Faktoren: Kälte, Anstrengung, Dekompression, lange Grundzeiten jeweils von 0,025 (in den Deko-Stopps) über 0,05 bis zu 0,1 Bar vom maximalen Wert $pO_2 = 1,6 \text{ Bar}$ abgezogen werden. Somit kann man leicht bei einem JURA TG (kaltes Wasser im Bodensee, Grundzeit 30 min., Deko, Anstrengung) auf einen maximal erlaubten pO_2 von $1,6 / 1,4 - 4 * 0,1 = 1,2 / 1,0 \text{ Bar}$ kommen!

Bsp.:

NN 32	maximale Tiefe:	$14 / 0,32 - 10 = 33,75 \text{ m}$
	Ausnahme Tiefe:	$16 / 0,32 - 10 = 40,00 \text{ m}$
NN 36	maximale Tiefe:	$14 / 0,36 - 10 = 28,88 \text{ m}$
	Ausnahme Tiefe:	$16 / 0,36 - 10 = 34,44 \text{ m}$

Weiteres Bsp.:

Berechne die MOD (maximale Tiefe) und die Ausnahme Tiefe für ein NITROX 50.

Lösung:

für ein NITROX 50 ist die MOD: $14 / 0,5 - 10 = 18 \text{ m}$, die Ausnahme-Tiefe: $16 / 0,5 - 10 = 22 \text{ m}$

Best MIX Verfahren:

Hier wird für eine vorgegebene Tauchtiefe der beste MIX ermittelt! Es wird der optimale Sauerstoff-Anteil berechnet und zwar ganz einfach so, dass der pO_2 1,4 Bar nicht überschreitet!

$$\text{Best MIX f. Sauerstoff [\%]} = 1,4 / (\text{Tiefe} + 10) / 10 \text{ oder } 1,4 / \text{Umgebungsdruck}$$

Bsp.: für einen TG auf 30 m wollen wir den Best MIX bestimmen:

$30 \text{ m} \leftrightarrow 4 \text{ Bar}$, also: $1,4 / 4 = 0,35\%$, d.h.: NITROX 35

Bsp.: TG auf 44 m, Best MIX?

$44 \text{ m} \leftrightarrow 5,4 \text{ Bar}$, also $1,4 / 5,4 = 0,259$, d.h. ein NITROX 25

Bsp.: TG auf 51 m, Best MIX?

$51 \text{ m} \leftrightarrow 6,1 \text{ Bar}$, also $1,4 / 6,1 = 0,229$, d.h. ein NITROX 23

(doch OBACHT bei diesem Beispiel, siehe weiter unten!)

Natürlich kann man auch einen Best MIX für den Stickstoff vorgeben! Dabei ist der maximal zulässige bzw. der maximal vernünftige Stickstoffpartialdruck $pN_2 = 4,5 \text{ Bar}$; bzw. bei anderen Organisationen / Vorgaben eben weniger. Dies würde welcher Tiefe mit normaler Druckluft entsprechen?

$$4,5 / 0,79 = 5,69;$$

$$5,69 - 1 = 4,69, \text{ also } 46,9 \text{ m}$$

Da dies schon relativ tief sein kann, gehen andere Organisationen, z.B. ANDI, von einem maximalen $pN_2 = 4,0$ Bar aus um die Gefahr des Tiefenrausches zu verringern. Dies entspricht mit Druckluft einer Tiefe von:

$$4,0 / 0,79 = 5,06; \quad 5,06 - 1 = 4,06, \text{ also unsere allseits bekannten } 40 \text{ m}$$

Nehmen wir jetzt unser Bsp. mit dem TG auf 51 m mit dem NITROX 23: dieses Gemisch würde ja 77 % N_2 enthalten, also: $6,1 * 0,77 = 4,69$ Bar pN_2 : wir wären schon bei weitem in der Tiefenrausch Zone!

Der Best MIX für den Stickstoff ergibt sich nach der genau gleichen Methode, lediglich mit dem anderen max. Stickstoff-Partialdruck von 4,0 Bar:

$$\text{Best MIX f. Stickstoff [\%]} = 4,0 / \text{Umgebungsdruck}$$

Das würde für unseren TG bedeuten: $4,0 / 6,1 = 0,65$, also 65 % Stickstoff

So, jetzt sind wir in einer handfesten Zwickmühle! Auf der einen Seite haben wir für diesen TG den Best MIX mit 23 % Sauerstoff ermittelt um nicht über die 1,4 Bar Grenze zu gehen, andererseits überschreiten wir damit den vernünftigen Stickstoffpartialdruck. Den Sauerstoffanteil dürfen wir nicht vergrößern wegen der Gefahr der Sauerstoffvergiftung, damit ist aber der Stickstoff-Anteil zu groß, den Stickstoff-Anteil können wir aber auch nicht verringern, denn dann würde ja wieder der Sauerstoff-Anteil über die gefährliche Grenze steigen!

Was können wir tun? Nun, ganz einfach: nicht so tief tauchen!!!

Diese Antwort mag den Profi nicht begeistern, wenn z.B. unbedingt so tief getaucht werden muss (Bergungsarbeit oder ähnliches). Doch auch hier gibt es eine Abhilfe: entweder man riskiert den höheren pO_2 mit 1,6 Bar. Oder aber man ersetzt einen Teil des Stickstoffs durch Helium. Warum Helium: nun, Helium ist genauso ein Inertgas wie Stickstoff und reagiert chemisch nicht mit dem Körper. Desweiteren ist Helium immer das Mischgas der Wahl bei tiefen TG da es sehr viel weniger narkotisch wirkt wie Stickstoff: damit sind wir plötzlich beim TRIMIX gelandet! Wir müssen deshalb bei diesem TG ca. 12 % Helium zusetzen und hätten damit 65 % Stickstoff, 23 % Sauerstoff und hätten somit unseren optimalen Best MIX für Sauerstoff und Stickstoff hingekriegt. Dafür haben wir uns mehrere neue Aufgaben geschnitzt: Helium hat eine ca. 5 mal höhere Wärmekapazität und eine höhere thermische Leitfähigkeit als Stickstoff, d.h. der Taucher kann u.U. sehr schnell auskühlen. Desweiteren müssen wir jetzt mit speziellen Helium bzw. Trimix-Tabellen dekomprimieren! Dies bedeutet i.d.R. eine sehr viel längere Deko mit mehr Deko-Stufen, die auch schon sehr viel tiefer beginnen. Da Helium ca. 2,65 mal schneller durch die Körpergewebe diffundiert und auch die Verträglichkeit der Körpergewebe gegen Helium-Überdruck anders wie bei Stickstoff ist, muss man sehr viel präziser Deko-Zeiten und Stopp-Tiefen einhalten. Desweiteren muss man die vorgeplanten Grundzeiten peinlich genau einhalten! Abgesehen davon ist Helium nicht ganz billig und auch nicht an jeder Strassenecke zu kaufen. Wie man mit allen diesen Herausforderungen umgeht lernt ihr in einem TRIMIX Kurs! Zu Risiken und Nebenwirkungen mit TRIMIX lesen Sie das TRIMIX-Manual und befragen Sie ihre PADI / ANDI / IANTD / SSI / NAUI - oder was auch immer-Instruktorin: sie hilft Ihnen gerne weiter !!!

Auf jeden Fall lernen wir eins daraus: für tiefere TG nicht nur den Best MIX für Sauerstoff, sondern immer auch den max. vernünftigen Stickstoff-Partialdruck kontrollieren!

Nomogramme

Wer nicht gerne rechnet, kann die folgenden Nomogramme benutzen! Hier werden die fraglichen Zahlen einfach über das Ablesen an geraden Linien (Lineal) ermittelt. Es sind die Nomogramme für

- Rebreather
- EAD
- pO_2 , fO_2

(Quelle: [167] Bevan, John (ed.) (2011) The Professional Diver's Handbook, Submex Ltd., ISBN 978-0-09508242-6-0).

Diese Nomogramme sind zu finden auf den Seiten 218 und 219:

Fig. 16 Nomogram for equation relating to gas rebreather system with plotted example

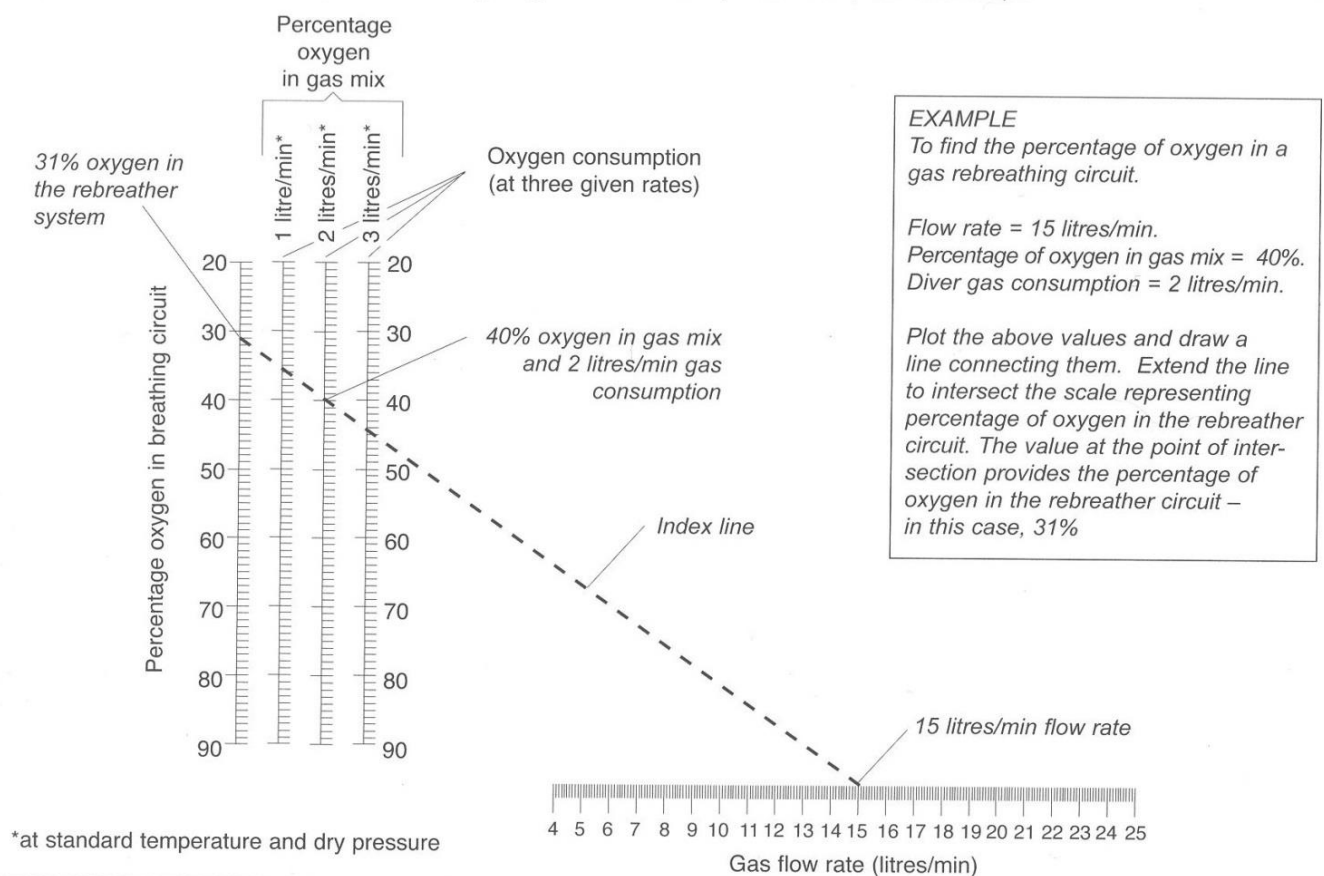
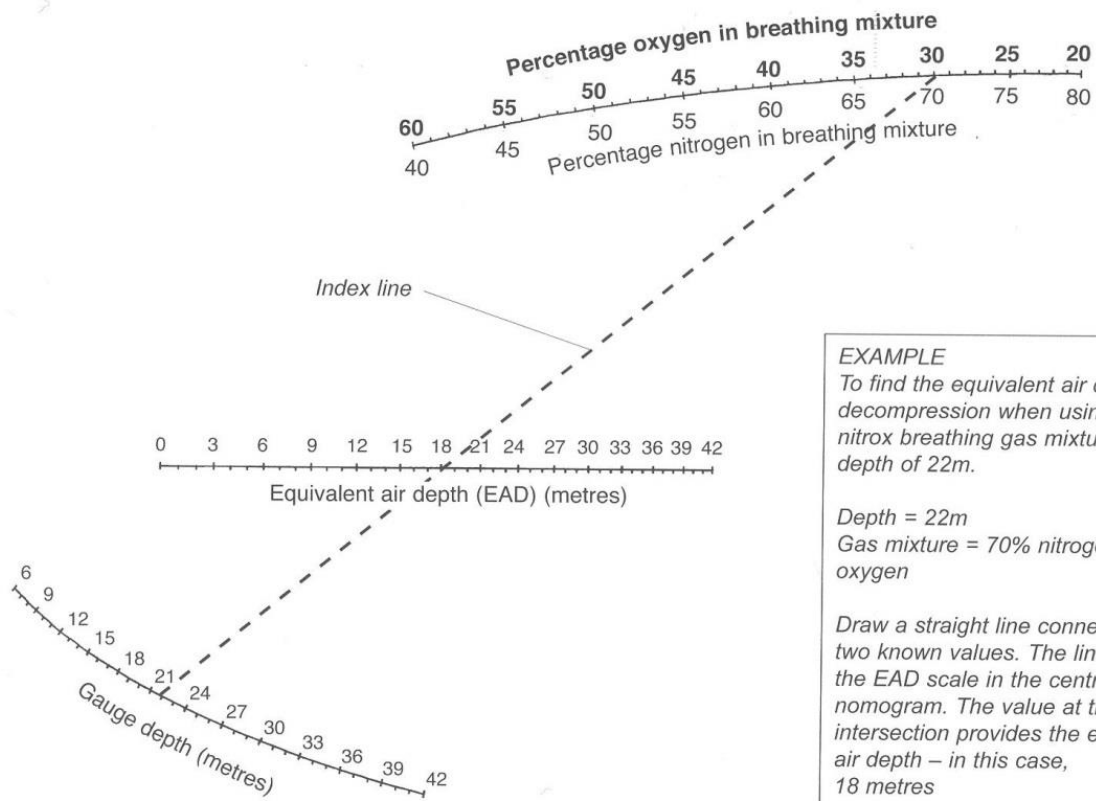


Fig. 17 Nomogram for calculating Equivalent Air Depth for dive decompression procedures

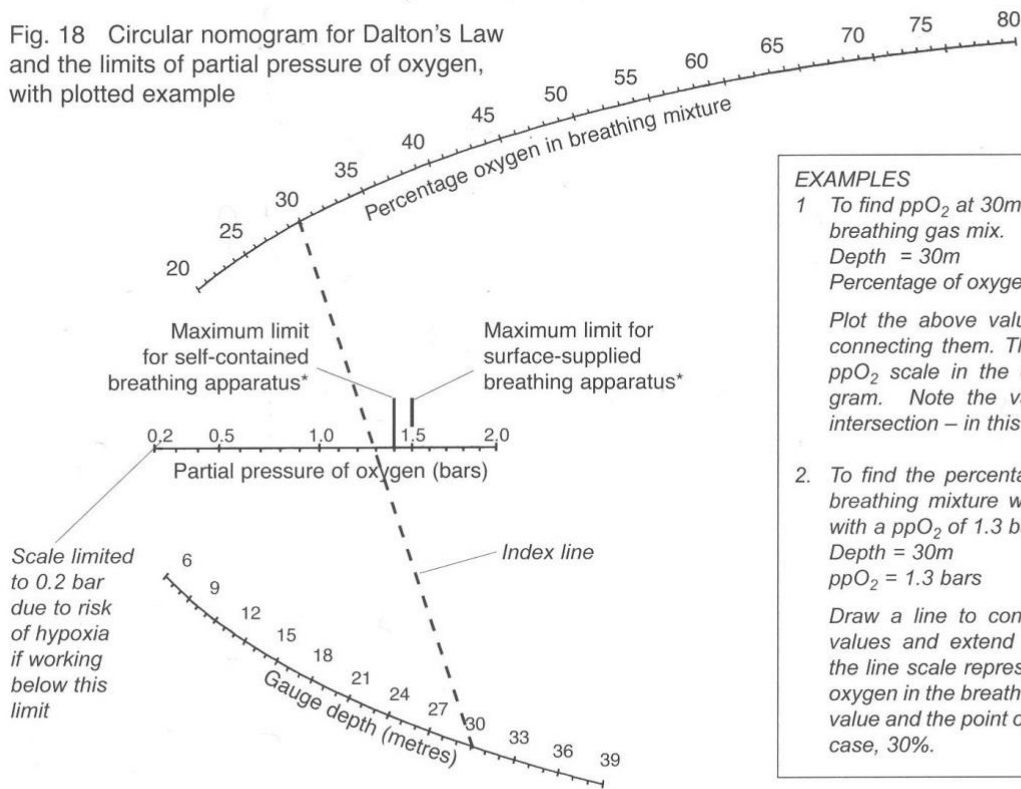


EXAMPLE
 To find the equivalent air depth for decompression when using a 70/30 nitrox breathing gas mixture at a depth of 22m.

Depth = 22m
 Gas mixture = 70% nitrogen/30% oxygen

Draw a straight line connecting the two known values. The line intersects the EAD scale in the centre of the nomogram. The value at the point of intersection provides the equivalent air depth – in this case, 18 metres

Fig. 18 Circular nomogram for Dalton's Law and the limits of partial pressure of oxygen, with plotted example



EXAMPLES

- To find ppO_2 at 30m using a 30% oxygen breathing gas mix.
 Depth = 30m
 Percentage of oxygen in gas mix = 30%.
 Plot the above values and draw a line connecting them. The line intersects the ppO_2 scale in the centre of the nomogram. Note the value at the point of intersection – in this case, 1.3 bars.
- To find the percentage of oxygen in the breathing mixture when working at 30m with a ppO_2 of 1.3 bars.
 Depth = 30m
 $ppO_2 = 1.3$ bars
 Draw a line to connect the two known values and extend the line to intersect the line scale representing percentage of oxygen in the breathing mixture. Note the value and the point of intersection – in this case, 30%.

*UK Health and Safety Executive (HSE) ppO_2 (partial pressure of oxygen) limits

Umgang mit NITROX

Am Ende des Kapitels könnt Ihr folgendes erläutern/erklären:

Das Feuerdreieck; Die 5 prinzipiellen Füllmethoden; Wie führe ich eine Gasanalyse durch? Wie funktioniert der Analyzer? Wie fülle ich ein Füll-Log aus? Welche korrekte Kennzeichnung müssen Flaschen haben? Worin besteht der sichere Umgang mit NITROX Flaschen? Wie werden NITROX Flaschen transportiert?



Das Feuerdreieck:

Aus euren Pfadfinder-Zeiten wißt ihr sicherlich noch die Bestandteile des Feuerdreiecks: Sauerstoff, Brennstoffe, Zündquellen (Hitze)! Alle 3 müssen immer vorhanden sein, um ein Feuer zu nähren: wenn eines größer wird, werden es die anderen auch! Oder umgekehrt: wenn wir eines davon ganz entfernen, wird das Feuer automatisch erlöschen (kleiner Exkurs für angehende Feuerwehrmänner).

Daraus folgt automatisch: im Umgang mit NITROX muss man vorsichtiger sein wie mit normaler Druckluft!

Den gegenüber der normalen Umgebungsluft erhöhten Sauerstoffanteil des NITROX bringt man weg, in dem man gut lüftet, bzw. die NITROX Flaschen gleich im Freien lagert; Brennstoffe (Lumpen, Öle [Silicon etc.], Metallspäne), synthetische oder sonstige brennbare Materialien



fernhält; und Hitze vermeidet indem man z.B. Flaschen-Ventile ganz langsam aufdreht oder beim Füllen/Überströmen lassen gut kühlt! Zündfunken werden vermieden, in dem elektrische Systeme entsprechend ausgelegt sind (EX-geschützte Schalter etc.), keine Flammen und offene Feuer. Insbesondere gilt striktes Rauchverbot wo mit NITROX hantiert wird (gilt auch für die Genuß-Zigarette nach dem Tauchen!). Ventile müssen bei Nicht-Gebrauch abgedeckt werden. Holen wir unsere Flaschen von Messer-Griesheim, sind die Ventile mit einem Schumpfschlauch zugeschweißt und sind so vor Verschmutzung, Fett (Hände!) und Rostpartikeln geschützt (Abbildung hierzu weiter unten)! Deutlich könnt ihr das entsprechende Aussengewinde erkennen:



Für NITROX Ventile am Automaten bzw. der Flasche müssen spezielle Abdeckkappen verwendet werden! Hier haben wir ja ein M 24 x 2 Aussengewinde an der Flasche (und kein G 5/8" wie beim DIN Anschluß!), bzw. G 3/4" für reinen Sauerstoff (siehe auch hierzu das nächste Bild). Damit wird wirksam verhindert, dass Druckluft-Automaten an NITROX Flaschen angeschlossen werden können oder umgedreht ein für den NITROX-Einsatz gereinigter Automat mit der normalen Druckluft "ölverpestet" wird! Im Moment wird das **M 26 x 2 genormt (EN 144-3: 2003)** und wird bis ca. 2007 Pflicht werden!



Links im Bild sehen wir den speziellen NITROX Fini (zur Ausrüstung und den HD-Teilen: siehe weiter unten), vorne die schwarze Ventilabdeckkappe und am Automaten an der ersten Stufe das entsprechende Innengewinde. Die erste Stufe ist deutlich gekennzeichnet (gewidmet) für den ausschliesslichen Gebrauch mit NITROX.

Für kommerzielle Nutzung (betrifft Tauchschulen, Berufstaucher etc.) sind zum Schutz der Ventile an Druckgasbehältern (Flaschen) sogenannten Ventil-Schutzkörbe vorgeschrieben, siehe nächstes Bild ... !



Nochmals der Hinweis auf die Ventilabdeckkappe: ihr seht dies schwarze Teil aufgeschraubt auf dem Ventil.

Im Vergleich zu einem DIN Automaten ein neuer EAN Automat nach DIN 144-3 genormt, *jeweils links* im Bild:



Die rechte Abb. zeigt handelsübliche Adapter: links Luft -> Euro-EAN (G5/8 innen, M26*2 aussen), zum Anschluß eines neuen, hochwertigen Luftautomaten an eine Euro-EAN Flasche (bis 40%), rechts: Euro-EAN -> Luft (M26*2 innen, G5/8 aussen), zum Betrieb eures teuren EAN Automaten an Nitrox-Flaschen im Ausland.

Zusammenfassung:

Brennstoffe sind:

- ◆ Fette (auch Körperfett, Sonnencreme, Kosmetika, Silicone)
- ◆ Öle
- ◆ Metalloxide (auch Rostpartikel, Metallspäne)
- ◆ Farben & Reinigungsmittel
- ◆ Aktivkohle
- ◆ Putzlumpen, Reinigungstücher
- ◆ Kunststoffe

Zündquellen sind:

- ◆ Übliche Zündfunken, elektrische Schaltvorgänge, offenes Licht
- ◆ Hitze durch Kompression (Gasgemische werden heiß bei Druckerhöhung)
- ◆ Hitze durch Reibung (hohe Strömungsgeschwindigkeit von Gasgemischen, Ventile zu schnell aufgerissen, auftreffen von Rostpartikeln etc. auf die erste Stufe)

OBACHT:

Insbesondere soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, dass NITROX Gemische mit Fett zum explodieren neigen: diese Neigung steigt mit steigendem Sauerstoff-Gehalt. Reiner Sauerstoff mit Fetten kann zur sofortigen Explosion führen!

Die Verwendung nicht-kompatibler Materialien mit Nitrox kann fatale Folgen haben: siehe Bilder unten. Es sind die Zustände nach Sauerstoff-Verpuffungen zu sehen (Quelle: High Pressure Combustive Oxygen Flow Simulations, Bruce R. Wienke, in: Proceedings DAN Nitrox Workshop November 2000, p. 171):

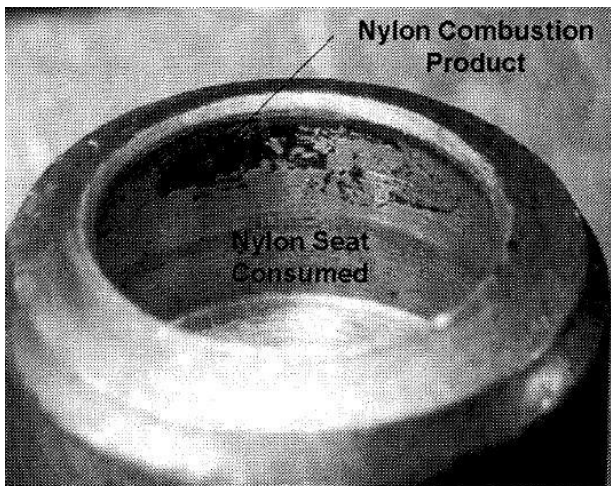


Figure 3. Valve seat retainer with nylon seat consumed in 46 percent nitrox

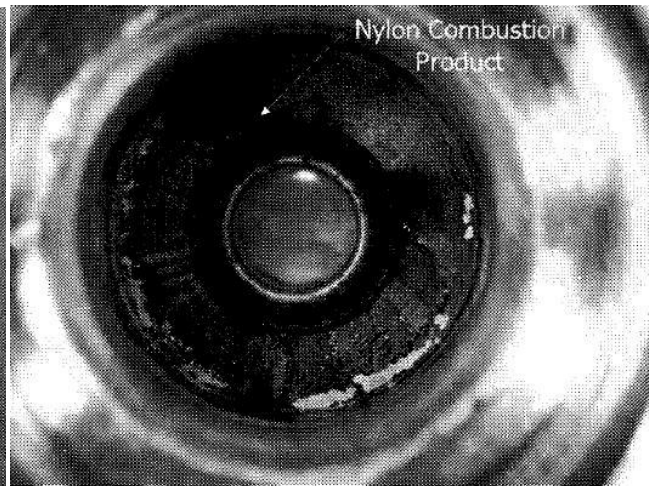


Figure 2. Crown orifice from burned cylinder valve seat in 46 percent nitrox

Hier ein normales Druckluft Flaschen-Ventil, mit EAN29 abgeschossen:



Füllmethoden:

Die hauptsächlichsten Füllmethoden sind:

- ◆ Partialdruck Methode
- ◆ Mischen nach Gewicht
- ◆ Kontinuierliches Mischen
- ◆ Mischen durch Mitteldruck
- ◆ Mischen durch Lufttrennung

Partialdruck Methode: hier wird mit 100 % reinen Gasen gearbeitet, d.h. eine NITROX Flasche wird komplett geleert und dann mit 100 % Sauerstoff aus einer Speicherbank auf den erforderlichen Partialdruck gefüllt, hernach wird einfach mit hochreinem Stickstoff abgedrückt auf 200 Bar. Für die Füllung mit Sauerstoff muss aus diesem Grunde mit einem hochgenauen Manometer gearbeitet werden!

Mischen nach Gewicht: genau die gleiche Methode in grün, lediglich wird als Messgerät eine hochgenaue Waage benutzt.

Die beiden obigen Methoden funktionieren auch mit reiner, ölfreier Druckluft als "Topp-Gas" statt dem hochreinen Stickstoff. Es muss dann halt lediglich der Sauerstoffanteil der Druckluft, die nachgeschoben wird, schon bei der ersten Füllung mit Sauerstoff mitberücksichtigt werden: in jedem NITROX-Technikerhandbuch oder in einem NITROX-Gasblender-Kurs findet ihr Tabellen hierzu (siehe auch [18] und [52]).

Kontinuierliches Mischen: normale Atemluft wird in einer Mischeinrichtung mit reinem Sauerstoff im richtigen Mischungsverhältnis gemischt, danach wird dieses Gemisch in einem ölfreien Kompressor verdichtet. Diese Methode wird der NOAA zugeschrieben und ist deshalb seit mehr als 20 Jahren in Gebrauch.

Mischen durch Mitteldruck: von grossen Vorratsgefäßen (Speicherbank) mit reinem Sauer- und Stickstoff werden Mischungen in einem Mischbehälter hergestellt, anschliessend wird wieder mit einem ölfreien Kompressor komprimiert.

Mischen durch Lufttrennung: hierbei werden Molekularsiebe (Hohlfaser Membran) mit normaler Luft durchströmt, wobei sich ein kleiner Teil des Stickstoffs von der Luft trennt, die verbleibende Mischung hat dann einen erhöhten Sauerstoff-Volumenanteil. Das resultierende Gemisch muss auf 200 Bar komprimiert werden. Mit dieser Methode wird normalerweise bis zu NITROX 40 produziert.

Ein relativ ähnliches Verfahren ist das sogenannte "PSA" (pressure swing absorption)-Verfahren: hierbei wird aber nicht eine röhrenförmige Hohlfasermembran verwendet, sondern zwei großflächige Molekularsiebe. Auch diese lagern Stickstoff an die große interne Oberfläche an, dann wird jeweils eines befüllt und das entstandene NITROX komprimiert während das andere zum reinigen mit normaler Luft durchströmt wird, dann wird der Prozeß umgedreht (swing) und solange wiederholt, bis der erforderliche Sauerstoff-Anteil erreicht ist.

Je nach Füllmethode ist z.B. in den USA eine mehrstündige „Ruhepause“ der Flaschen vor Gebrauch vorgeschrieben, damit sich die Gase gut durchmischen können. Für jede dieser Füllmethoden gibt es ausführliche Literatur, Üben könnt ihr das in einem Gasmischer / Gas-Blender Kurs.

Bemerkung: diese amerikanische Abkürzung "PSA" nicht mit der deutschen verwechseln. Hier in Deutschland bedeutet "PSA": "persönliche Schutz-Ausrüstung". Lustigerweise taucht das auch beim Tauchen wieder auf: eine Tauchausrüstung ist nämlich eine sogenannte PSA gemäß 89/686 EWG Richtlinie, Kategorie 3. Beim NITROX -Tauchen muss deshalb die PSA ein "CE" Zeichen (frz. für: conforme europeenne) tragen und eine Seriennummer besitzen sowie eine Gebrauchsanweisung vorweisen!

In der Regel gilt für diese Systeme folgendes:

- ◆ Alle Teile müssen sauerstoffverträglich sein, d.h. der komplette Sauerstoff-Service muss durchgeführt sein, also sauerstoffrein und sauerstoffkompatibel (zu diesen Begriffe weiter unten noch mehr!)
- ◆ Die Strömungsgeschwindigkeit des Sauerstoff soll gering sein (Vorschrift der U.S.N.: max. 4,8 Bar / Minute), keine Kugelventile
- ◆ Messing oder Edelstahl ist als Material zu verwenden
- ◆ Gummi O-Ringe und Silicon-Fette sind verboten
- ◆ Rückschlagventile müssen vorhanden und natürlich gängig sein

Das produzierte Gemisch muss den sogenannten OCA (oxygen compatible air) Standards entsprechen und ist somit von höherer Qualität als normale Druckluft (in der 3. Spalte in Klammern die nach der USN erlaubten Grenzwerte für normale Druckluft):

Substanz	Maximal erlaubte Konzentration	
	OCA	(USN)
Kondensierter Kohlenwasserstoff	0,3 mg/m ³	5 mg/m ³
Gasförmiger Kohlenwasserstoff	25 ppm	
Fremdkörper, Staub	2 micron	
CO (Kohlenmonoxid)	2 ppm	20 ppm
CO ₂ (Kohlendioxid)	500 ppm	1000 ppm
Wasserdampf	-40 °C Taupunkt	

Gasanalyse:

Jeder der mit NITROX (oder auch mit TRIMIX oder HELIOX etc.) taucht, muss seine persönlichen Flaschen einer Analyse unterziehen! Wenn ihr die Flaschen nicht ordnungsgemäß beschriftet habt und vertauscht oder sonst irgendwie im Zweifel seid: **Analyse wiederholen!**

Allergrößte Vorsicht ist hier die Mutter dieser Porzellan-Kiste!!! Warum?

Nun: entweder habt ihr zuviel Sauerstoff im Gemisch und ihr überschreitet somit eure MOD und setzt euch der Gefahr der Sauerstoffvergiftung aus! Oder aber habt ihr zuwenig Sauerstoff drin, dann ist alles möglich: von der Hypoxie bis zu einem erhöhten Risiko einer Deko-Krankheit. Im Bild weiter unten sehen wir einen Oxygen-Analyzer (Sauerstoff-Analysegerät) mit angeschlossenem Sensor:

Funktionsweise eines Sauerstoff-Analyzers:

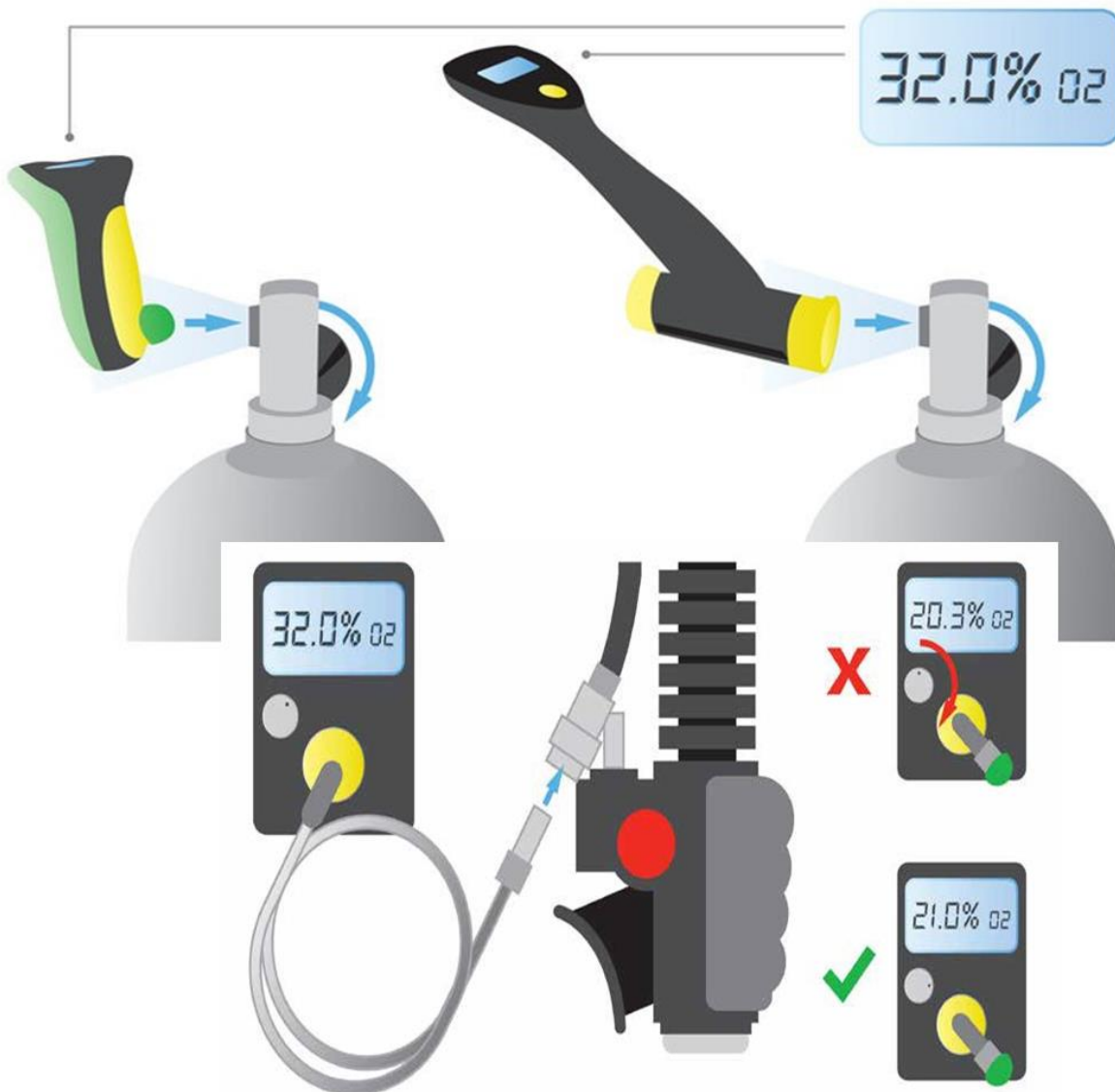
der Analyzer ist eigentlich ein einfaches Digital-Voltmeter (Details im nächsten Bild, ein älteres, aber durchaus noch gebräuchliches Modell); er besteht aus:

- ◆ dem eigentlichen Voltmeter, meistens mit 9 V Block zur Energieversorgung,
- ◆ mit Ein-/Aus Schalter
- ◆ einem Drehknopf-Potentiometer (= die Justierschraube)
- ◆ mit LCD-Display
- ◆ Sensor mit Anschlußkabel

Im Sensorgehäuse sind spezielle Chemikalien drin, die eine elektrische Spannung produzieren. Diese Spannung ist proportional dem Sauerstoff-Partialdruck. Mit dem Voltmeter wird lediglich die Spannung gemessen, die am Sensor anliegt und so dargestellt, dass es als Volumenprozent Sauerstoff erscheint. Beim MiniOX I von MSA (siehe [38]) besteht der galvanische Sensor aus einer Gold-Kathode, umhüllt von einer Fluoropolymer Membrane. Die Blei-Anode ist in einer Kalium-Hydroxid Lösung eingetaucht. Die zwischen diesen Elektroden anliegende Spannung ist proportional zum Sauerstoff-Partialdruck und nicht zum Volumenanteil in Prozent! Daraus folgt sofort, dass eine Messung nur unter Umgebungsdruck vorgenommen werden darf, wenn ihr auf 20,9 % kalibriert habt! Der Sensor funktioniert nur linear unter einem Sauerstoffpartialdruck von 0 bis max. 0,7 Bar! Die Messtemperatur liegt dabei im Bereich von 0 - 40° Celsius, die Luftfeuchtigkeit max. 90 %. Es gibt noch weitere Gase, die die Messung wesentlich verfälschen können : Diäthyl-Äther und Methoxy -Fluoran. Die abgegebene Spannung liegt im Bereich von 8 - 17 mV bei 0,2 Bar pO₂ und wird über einen Standard OA (Operations Amplifier) verstärkt und über einen LCD Treiber (Liquid Crystal Display) zur Anzeige gebracht. Bei einer Durchflußrate von ca. 5 - 10 L/min. benötigt das Gerät ca. 15 Sekunden um einen genauen Wert anzuzeigen.



Hier noch eine hübsche Folie aus einem SSI EAN Specialty mit zwei relativ aktuellen Analyzern:



Noch ein heisser Tipp zur Behandlung des Sensors: die darin enthaltenen Chemikalien sind anfällig für Wasserdampf. TIPP: haltet den Sensor trocken und verpackt ihn sofort wieder nach Abschluß der Analyse. Euer Sensor wird es euch mit einer verlängerten Lebensdauer danken! Macht insbesondere keinen Unsinn und blast nicht in das Ding rein: manche Taucher "wollten nur mal eben schnell" den Sauerstoffgehalt der Ausatemluft messen. Nichts gegen Forscherdrang, aber diese Leute sollten einfach amal glauben, was in den entsprechenden Tabellen darüber steht. Andernfalls laßt ihr diese Unbelehrbaren euren Sensor bezahlen: ein paar solcher Blase-Aktionen und der Sensor ist durch den Wasserdampf aus der Ausatemluft ruiniert und mißt nur noch Schrott!

Durchführung der Gemisch-Analyse und Ausfüllen der Flaschenbeschriftung:

- ◆ Kalibrierung des Analyzers: Sensor anschliessen, einschalten, ca. 1 Minute warten, dann den Justierpoti so drehen, dass das Display eine bekannte, vorgegebene Zahl wiedergibt. Also entweder 20,95 (21) wenn ihr bei Umgebungsluft kalibriert, oder 100 wenn ihr mit reinem Sauerstoff kalibriert.
- ◆ Messung: Flaschenventil ganz langsam aufdrehen (wie immer!) und einen leichten NITROX Gastrom erzeugen, den Sensor in den Gasstrom halten und das Display beobachten. Keine Messung unter Druck machen! Wenn die Zahl am Display sich stabilisiert hat, Meßwert ablesen und auf Flasche sowie Füll-Log vermerken.

- ◆ Macht ihr mehrere Messungen hintereinander, weil ihr z.B. ein paar Flaschen im Kompressorenraum zu checken habt, sorgt für gute Durchlüftung. Zwischen den einzelnen, unmittelbar hintereinanderfolgenden Messungen braucht ihr nicht nachjustieren. Dies ist erst dann nötig, sobald ihr den Analyzer einmal ausgeschaltet habt.
- ◆ Beschriftung: Auf der NITROX Buddel ist ein größeres rechteckiges Schild angebracht mit freien Feldern für: Flaschendruck, % N, % O, max. Tauchtiefe (MOD), Name und Datum. Tragt die Zahlen mit einem wasserfesten Filzstift ein, schreibt euren Namen leserlich drauf und merkt euch die Seriennummer der Flasche!


NITROX Contents Data	
Fill Date	<input type="text"/>
Oxygen %	<input type="text"/>
Pressure	<input type="text"/>
Max. Depth	<input type="text"/>
Analyzed by	<input type="text"/>
User	<input type="text"/>
<p>Caution: This cylinder contains gas other than air. Observe maximum operation depth limit. Use only with appropriate procedures for the mix indicated. Failure to heed proper use may result in serious injury or death.</p> 	

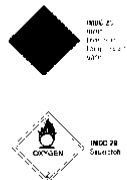
FIGURE 15.14
Cylinder Contents Label

- ◆ Nicht sofort nach dem Füllen messen: gebt für die Durchmischung der Gase 1 - 2 Stunden Zeit

Hier ein Beispiel von einem Flaschenetikett (aus [48], S. 15-21):

Darüberhinaus ist in der BRD die Flaschenkennzeichnung folgendermaßen vorgeschrieben:

- ◆ Blaue Flaschenschulter
- ◆ Grauer oder weisser Flaschenkörper
- ◆ Grosses Etikett (wie oben beschrieben)
- ◆ "NITROX" Beschriftung auf dem Flaschenkörper



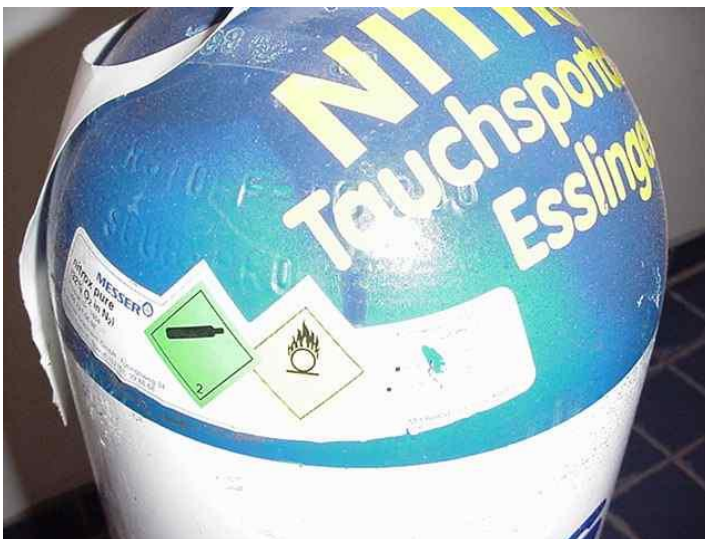
- ◆ Gefahrgut-Kennzeichnung: verbrennungsfördernd (gelbe Raute mit Flamme)
- ◆ Gefahrgut-Kennzeichnung: Druckluft (grüne Raute , Nr. 2)

Im Ausland sieht eine gültige Flaschenkennung so aus (aus [48], S.15-20):



FIGURE 15.12
Single Tank with Nitrox Tank Wrap

Und nun das Ganze noch in Farbe am lebenden Beispiel mit NITROX Flaschen aus dem Tauchsportcenter, sprich Deutsche Kennzeichnung: in der Abbildung sehen wir die blaue Flaschenschulter, die separate Aufschrift NITROX, sowie die Kennzeichnungen entsprechend der GGVS: die grüne und die gelbe Raute. In der linken oberen Bildecke könnt Ihr noch den Flaschenanhänger sehen: er ist aus weißem Plastik und ebenfalls mit der Art des NITROX Gemisches beschriftet.



Die nächste Abbildung zeigt eine NITROX Flasche in voller Schönheit mit der Kennzeichnung NITROX auf der Flasche selbst mit dem weissen Flaschenkörper sowie dem Flaschenaufkleber / Flaschenetikett am Flaschenfuß mit den Flächen zum Beschriften aus eurer Gasanalyse.

Ausfüllen des Füll-Logs:

Hier das Beispiel des Füll-Logs vom Tauchsportcenter Esslingen:

EANx Fill Log vom: TAUCHSPORTCENTER ESSLINGEN

Sauerstoff TG / EANx Flasche mit der Seriennummer:

Flaschendruck: [bar], erhalten am:

Die persönliche O2 Analyse ergab: [%], bei 1.4 bar ppO2

beträgt die maximale Tauchtiefe somit: [m]

Taucher: Vor- & Zuname:

EANx / NITROX Zertifikatnummer:

Datum / Unterschrift:

Sauerstoff TG zurück am:

Restdruck: [bar]

O2 Analyse: [%]

Unterschrift Prüfer:

Eingetragen wird in das Füll-Log:

- ◆ Die Seriennummer der EANx Flasche
- ◆ Der Flaschendruck (NITROX Automat anschliessen)
- ◆ Der Sauerstoffgehalt (Analyse ist persönlich durchzuführen!), damit berechnet ihr die
- ◆ MOD
- ◆ Euren Namen, NITROX Zertifikat (Brevet) Nummer

Das ausgefüllte und von euch unterschriebene Füll-Log verbleibt beim Füller/Entleiher der Flaschen: wenn ihr die Flaschen zurückgibt, wird nochmals der Druck sowie der Sauerstoffgehalt kontrolliert: hiermit soll ausgeschlossen werden, dass ihr die Flaschen drucklos zurückgibt oder aber mit anderen Gemischen 'rumgepuscht habt!

Gebt ihr die Flaschen drucklos, d.h. mit weniger als 30 Bar Restdruck zurück, kann eine für euch kostenpflichtige Reinigung erforderlich werden! Da ja die Flaschen beim Füllen mit der Partialdruck-Methode mit 100 % Sauerstoff gefüllt werden, muss absolut sicher sein, dass die Flasche immer noch sauerstoff-rein ist! (Sonst fliegt sie nämlich dem Flaschen-Füller um die Ohren!)

Umgang, Lagerung und Transport von NITROX Flaschen:

In Deutschland gelten besondere Vorschriften, was NITROX selber (wie 100 % Sauerstoff zu behandeln!) und was den Umgang mit Druckgasbehältern angeht! Insbesondere gibt es die:

- ◆ Gefahrgutverordnung Strasse (GGVS), Transport (liegend, quer zur Fahrtrichtung, Kennzeichnung der Flaschen)
- ◆ TRG (Technische Regeln Druckgase) Nr. 400/401/402, 200 und 280
- ◆ Unfallverhütungsvorschrift (UVV) VBG 16 sowie 61 und 62

Beispiel für eine Flaschen- / Gerätekenzeichnung:

___ % O ₂	___ % N ₂	___ MOD	Datum _____	Unterschrift _____
___ % O ₂	___ % N ₂	___ MOD	Datum _____	Unterschrift _____

ACHTUNG: Dieses Gerät darf nur von ausgebildeten NITROX Tauchern, die im Besitz eines NITROX Brevets eines anerkannten Verbandes sind, genutzt werden! Der Inhalt des Gerätes muss vor jedem Tauchgang vom Benutzer persönlich analysiert werden. Alle oben geforderten Angaben müssen unbedingt eingetragen werden!

Abbildung 0-1: Flaschen-/Gerätekenzeichnung

Beispiel für aktuellen Gefahrgut-Sticker (Bsp. Druckluft) für Transport und Lagerung:


Verdichtete Luft - Pressluft			Inhalt: ___ Liter
Stoffbezeichnung	Inhalt (Vol.-%)	CAS-Nr.	Einstufung CLP
Stickstoff	79,8 %	7727-37-9	Press. Gas (H280)
Sauerstoff	20,5 %	7782-44-7	Ox. Gas 1 (H270)
		Press. Gas (H280)	
Gefahrenhinweise			
H280 - Enthält Gas unter Druck; kann bei Erhitzen explodieren			
Sicherheitshinweise			Achtung
P403 - An einem gut belüfteten Ort aufbewahren			
Name: _____			
Straße: _____			
PLZ: _____		Ort: _____	
Tel.: _____			

Abbildung 0-2: Gefahrgut-Sticker

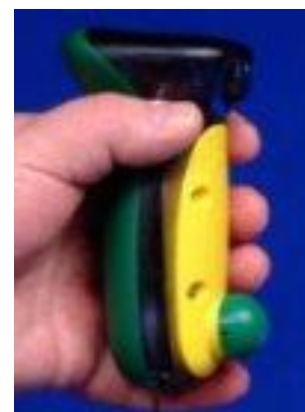
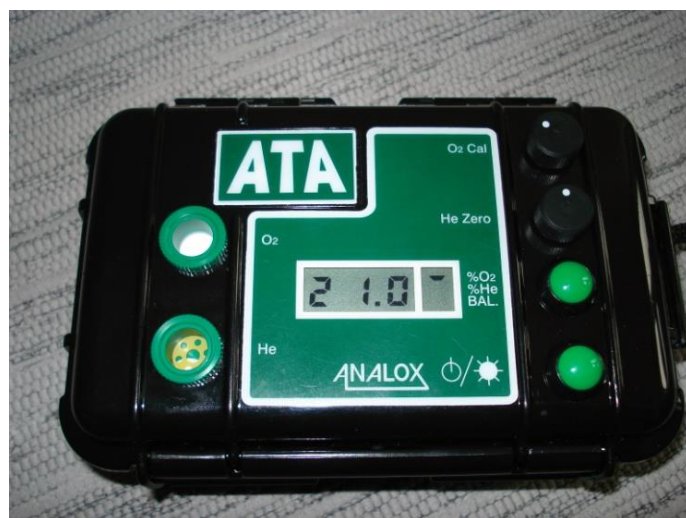
Neuere Analyser: kleine, zusammengesetzte Gehäuse. rechts.: mit Anschluß direkt am Inflator, ganz rechts.: Ein-Hand Gerät. Bei Geräten der Fa. ANALOX (www.analox.net) sind Korrekturtabellen zu finden. Die Tabellen sind für Luftfeuchtigkeit und Temperatur (li.) sowie für barometrische Höhen-Korrekturen (re.) gedacht; die Abbildung darunter zeigt einen Analyser (ganz links), der alles kann: O₂ und He analysieren:

Atmosphere oxygen percent in relation to temperature and relative humidity

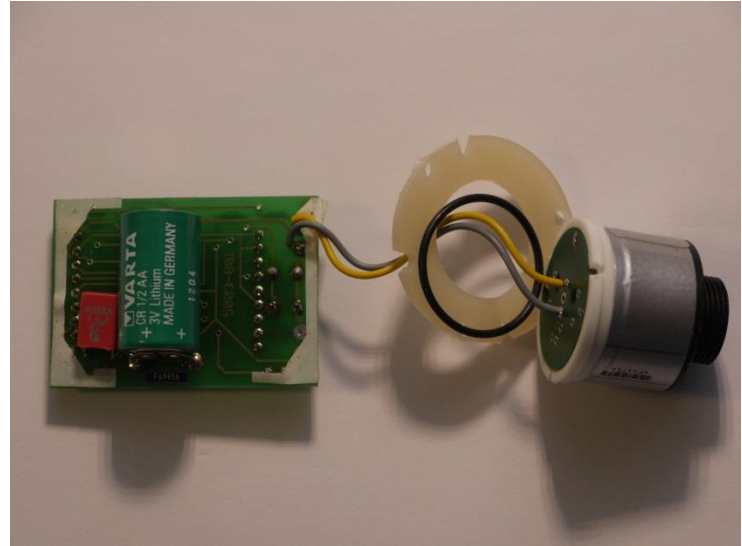
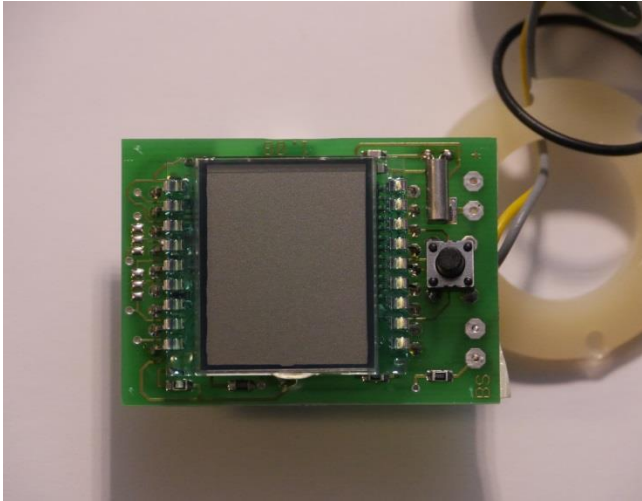
TEMPF TEMP C	32 0	40 4	50 10	60 16	70 21	80 27	90 32	100 38	110 43	120 49
Relative humidity	Atmospheric Oxygen Percent									
10	20.9	20.9	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7
20	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.6	20.5	20.4
30	20.9	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	20.6	20.5	20.4	20.2
40	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	20.6	20.5	20.4	20.2	19.9
50	20.8	20.8	20.8	20.7	20.6	20.5	20.4	20.2	20.0	19.7
60	20.8	20.8	20.7	20.7	20.6	20.5	20.3	20.1	19.8	19.5
70	20.8	20.8	20.7	20.6	20.5	20.4	20.2	19.9	19.6	19.2
80	20.8	20.8	20.7	20.6	20.5	20.3	20.1	19.8	19.5	19.0
90	20.8	20.7	20.7	20.6	20.4	20.3	20.0	19.7	19.3	18.7
100	20.8	20.7	20.6	20.5	20.4	20.2	19.9	19.5	19.1	18.5
H2O at 100% RH	0.6	0.8	1.2	1.8	2.5	3.4	4.7	6.5	8.6	11.5

If the temperature and RH axis meet in this part of the chart, calibrate to the chart O2 level or with dry air to maintain 0.5% O2 accuracy in NITROX

Altitude		Pressure in Bar	Atmospheric O ₂ concentration	
Feet	Meters		PP O ₂ mBar	SEV %O ₂
-1000	-305	1.03	217	21.67
0	0	1	209	20.9
1000	305	0.97	202	20.18
2000	610	0.94	194	19.43
3000	914	0.92	187	18.73
4000	1219	0.89	181	18.05
5000	1524	0.86	174	17.39
6000	1829	0.84	168	16.75
7000	2134	0.81	161	16.13
8000	2438	0.79	155	15.53
9000	2743	0.76	149	14.94
10000	3048	0.74	144	14.38
11000	3353	0.72	138	13.83
12000	3658	0.69	133	13.3
13000	3963	0.67	128	12.78
14000	4267	0.65	123	12.28
15000	4572	0.63	118	11.8
16000	4877	0.61	113	11.33
17000	5182	0.59	109	10.88
18000	5486	0.57	104	10.44
19000	5791	0.55	100	10.02
20000	6096	0.53	96	9.61



Und hier noch die Innereien des Billig-Analyzers (hier, oben in der Mitte) für ca. 30 €:



Links oben: die grüne Hauptplatine mit dem Display-Chip, die OAs sind drunter verbaut, rechts in der Mitte der Ein-/Aus Schalter

Rechts oben: Rückseite der Platine mit der kleinen Batterie, rechts daneben der O₂-Sensor

Hier links: Details des Sensors

NITROX Ausrüstung

Am Ende des Kapitels könnt Ihr folgende Begriffe erläutern/erklären bzw. voneinander unterscheiden:

Sauerstoff-Service, Sauerstoffverträglichkeit; Sauerstoff-Reinheit; Sauerstoff-Kompatibilität

Aus welchen Bestandteilen besteht ein NITROX Tauchausrüstung und wie wird der NITROX Service gemacht?

HD/ND Teile, Jacket und Inflator, Trockentauchanzug, 1. Stufe/2. Stufe, Flasche, NITROX Computer

Sauerstoffverträglichkeit (andernorts auch als: „Sauerstoff-Service“ bezeichnet):
Prinzipiell gilt folgendes:

Sauerstoffverträglich = sauerstoffrein + sauerstoffkompatibel

Sauerstoffrein: wird ein Material, in dem es mit vorgeschriebenen Reinigungsmitteln gereinigt wird und vollständig von anderen Verunreinigungen (z.B.: Ölreste, Fusseln, Metallsplitter) befreit ist. Die für die Reinigungsprozedur zugelassene Reinigungsmittel sind: Attar-C heavy Duty Cleaner (erhältlich über SCUBAPRO, Regwash 41-050-00), DOT 111/113 für das Ultraschall-Bad oder ein Tauchbad sowie wasser-/ölfreie Druckluft, fusselfreie Tücher, fett- und talkumfreie Latexhandschuhe, sauberes Trinkwasser. Sauerstoffreinheit kann z.B. mit UV-Licht kontrolliert werden.

Eine gereinigte NITROX Flasche, welche aus Versehen mit normaler Kompressoren-Druckluft gefüllt wurde, ist wegen dem höheren Kohlenwasserstoffgehalt der Druckluft nicht mehr sauerstoffrein! Sie muss sofort gereinigt werden.

Sauerstoffkompatibel: sind alle diejenigen Materialien, welche unter Sauerstoff nicht brennbar sind und auch nicht zerfallen/reagieren. Hierbei müssen diese Stoffe einem Druck von bis zu 200 Bar reinem Sauerstoff und über 100° C standhalten. Gummi O-Ringe müssen durch Materialien wie VITON oder Urethan ersetzt werden. Silikonfett ist durch Halocarbon-Fette zu ersetzen, z.B.: Scubapro KRYTOX 41-494-103.

Sauerstoffverträglich ist demzufolge nur ein Bauteil, wenn es aus sauerstoffkompatiblen Elementen besteht, welche sauerstoffrein gemacht worden sind. Diese Bauteile werden auch als dem „Sauerstoff-Service unterzogen“ bezeichnet, oder auch „Sauerstoff-Service durchgeführt“! Für diese Prozeduren gibt es lange Check-Liste und genau Anweisungen: dies lernt ihr normalerweise in einem Gasmischer / Gas-Blender Kurs

Die Tauchausrüstung: besteht aus NITROX Sicht aus 2 Gruppen von Teilen:

- ◆ Hochdruck (HD) Teile, ab 40 Bar
- ◆ Niederdruck (ND) Teile, bis max. 40 Bar

HD Teile müssen prinzipiell sauerstoffverträglich sein: Flaschen, Ventile und Automaten müssen sauerstoffrein gemacht werden. Für NITROX-Automaten und -Ventile gibt es spezielle Bauformen, die alle sauerstoffkompatible Komponenten erhalten. Dies gilt auch für Finimeter sowie für NITROX integrierte Tauchcomputer (an der HD Kupplung, sowie dem HD Schlauch und den O-Ringen).



Hier diverse NITROX Flaschen, noch nicht gewidmet:

Hier eine Draufsicht auf gewidmete ("dedicated") NITROX Automaten (links INT) und rechts "DIN":



Sowie auf Flaschenventile (man beachte das Aussengewinde bei dem "DIN" Ventil rechts!):



Für die ND Teile gilt: Vollgesichtsmasken, 2. Stufen, AIR II, Inflator und Jackets müssen NITROX zugelassen, d.h. sauerstoffkompatibel sein. Für Trockentauchanzüge gilt (leider): EANx/NITROX-Gemische sind für die Belüftung von Konstantvolumenanzügen (unsere Trockis) nicht zugelassen. Die Belüftung muss durch Atemluft oder ein anderes, nicht brennbares Gas (z.B.: Argon wegen geringerer Wärmeleitung wie Stickstoff) erfolgen.

Vorsicht mit der Kombination: NITROX mit Vollgesichtsmaske/Trocki/Argon. Kleinste Mengen von Argon über den Trockis in die Maske gelangt können zur Bewußtlosigkeit führen, wenn ihr pures Argon benutzt. Auch wenn ihr normoxisches Argon in der Pony-Flasche mit euch führt (Argox 20), da Argon ein sehr viel höheres Narkosepotential hat wie unser gewohnter Stickstoff! Desweiteren gibt es ein Problem, das allerdings in der Regel nur bei Sättigungs-TG auftreten kann: die sogenannte "isobare Gegendiffusion an der Körperoberfläche": durch diesen Vorgang kann während einer Dekompressionsphase der Partialdruck in den Körpergeweben höher werden wie der Partialdruck ausserhalb vom Körper bzw. sogar wie der Umgebungsdruck.

Hier ein Beispiel für eine ARGON Pony-Bottle zum Befüllen des Trockis:

Wie gesagt, aus Kostengründen: normale Druckluft in der Pony-Bottle tut's für „normale“ Trimix-TG auch. Die geringere Wärmeleitung macht sich eh nur bemerkbar, wenn ihr den kompletten Anzug gründlichst mit Argon spült. Die Firma USN empfiehlt z.B. 6 komplette Flutungen 😊.



NITROX Computer: müssen, wenn sie gasintegriert arbeiten, sauerstoffkompatibel sein. Für alle anderen Geräte, welche nicht an den HD-Abgang angeschlossen werden, trifft dies nicht zu. Ein guter NITROX Computer läßt sich in 1% Schritten von 21 bis 99% Sauerstoff einstellen. Er sollte die ZNS Dosis sowie den OFP Kredit berechnen. Desweiteren sollte der max. Sauerstoff-Partialdruck einprogrammierbar sein, der Computer muss bei Überschreitung dann eine Warnung von sich geben!

Hier einige Beispiele von NITROX Computern, links den ALADIN NITROX, rechts mit Funksteuerung. Der Drucksensor und Sender befindet sich in der Kapsel rechts unten im Bild. Diese Kapsel wird direkt auf einen HD-Abgang der 1. Stufe geschraubt, der Flaschendruck wird per Funk auf den Computer übertragen:



Das Display links zeigt einen NDL TG:

Tauchtiefe 33 m, Tauchzeit 14 min., Sauerstoffmix 36 %, d.h.: ein NITROX 36, einen NDL Vorrat von noch 27 min.:



Wird jetzt die ZNS Dosis überschritten bzw. der vorher(!) einprogrammierte und zulässige Sauerstoffpartialdruck, so gibt das Gerät eine Warnung von sich. Im Display rechts sehen wir: Tiefe 28,2 m, Zeit 29 min., da wir mit dem NITROX 36 einige Zeit auf 33,2 m waren, haben wir die 1,4 Bar überschritten!



Die "40 % Regel":

Hierbei handelt es sich um eine (in Europa) halb-offizielle, sozusagen von Taucher-zu-Taucher, Regel, welche besagt, dass bis zu einem Sauerstoffgehalt von 40 % man bei sauerstoffkompatiblen Teilen auf Sauerstofffreiheit d.h. einen Teil des Sauerstoff-Services verzichten könne.

Im Ausland ist das eigentlich die Regel: bis 40% O₂ werden dort die normalen Automaten verwendet!

Explizite wird das in [48], Kap. 15, beschrieben: die Nitrox Flaschen werden je nach



FIGURE 15.13
NOAA Oxygen Service Label

Servicezustand resp. zu verwendendem Gemisch gekennzeichnet, S. 15-19:

Tauchen mit NITROX Tabellen

Nach dem Studium dieses Kapitels solltet ihr mit folgenden Tabellen umgehen können: DCIEM, PADI RDPs, NOAA NN 32/36 Tabellen sowie IANTD und für das SCUBA Tauchen folgendes berechnen/planen können:

Nullzeit-TG mit NITROX; Deko-TG mit NITROX; Dekompression mit anderen NITROX-Gemischen; Accelerated Deco (beschleunigte Deko)

Vorweg: sämtlichen genannten Organisationen (in alphabetischer Reihenfolge: ANDI, DCIEM, IANTD, NAUI, NOAA, PADI, USN) danke ich für die grosszügige Unterstützung und die freundliche Überlassung der Tabellen zum Abdruck in diesem Manual.

Für das Rebreather Tauchen mit SCR oder CCR gelten andere Gesetzmäßigkeiten. Für SCR deshalb, weil im Atembeutel eine andere Konzentration der Gase herrscht, wie im Premix (in der Flasche) angegeben bzw. gemessen! Beim CCR schließlich kann mit konstanten Partialdrücken getaucht werden: hier muss ein spezieller Computer die Überwachung der Stickstoff- (oder auch Helium-) Sättigung vornehmen und die Dekompressionspflichten ausrechnen!

SCUBA:

Wir benutzen nun folgende Tabellen:

DCIEM Tabellen mit der EAD Methode (Dank an DCIEM)

PADI RDPs (Recreational Dive Planner) für Druckluft, EANx 32 und EANx 36 (Dank an PADI)
 NN (=NOAA) Tabellen für Luft, EAN 32 (NN32) und EAN 36 (NN 36) (Dank an NOAA)

DCIEM: der wohl umfangreichste Satz an Tabellen stellt die DCIEM (siehe [28]) her, es gibt aber keine speziellen NITROX Tabellen, sondern nur Tabellen für Druckluft-TG. Wir haben die EAD Methode zu benutzen (siehe [28], Appendix D). Die MODs und EADs sowie die dazugehörigen Sauerstoffpartialdrücke sind für 3 Gemische (32, 36 und 40 NITROX) auf der Seite 1D-16 aufgelistet: auch hier gilt, dass die Tiefen im grau schattierten Bereich nur für "emergency considerations", also nur für Notfallbetrachtungen, aufgeführt sind!

Bsp.: wir tauchen mit einem NITROX 40 auf 23 m. Frage: EAD, MOD?

Bei 23 m finden wir die EAD 18 m, MOD = 27 m. Wir sehen aber auch, dass die EAD von 23 bis 26 m gleich sein soll (=18 m); d.h. eigentlich sind wir mit den Berechnungen von Hand besser bedient, da hier die tabellentypischen Rundungen wegfallen. Mit der EAD 18m gehen wir in die NDL Tabelle und finden 50 min.

Hier die NDLs der DCIEM Standard Air Diving Table ([28], Appendix 1B):

9 [m]	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39 [m]
300 [']	150	75	50	35	25	20	15	12	10	8 [min.]

Die Berechnung von "Repetitive Groups" sowie den sogenannten "repetitive factors" für die OFP nehmen wir im "PADI DIVE COMPUTER & DIVE TABLES" Specialty durch, da die Behandlung von Wdh-TG bei dieser Tabelle vom gewohnten Standard abweicht! Das dazugehörige Manual: "PADI Specialty: Tauchcomputer und Tauchtabelle" gibt es bei uns käuflich zu erwerben; aktueller Katalog unter:

<https://www.divetable.info/Flyer/Katalog.pdf>

Etwas Besonderes möchte ich aber doch hervorheben (Seite 1D-4): es sind 2 Gasanalysen vorgeschrieben, die erste unmittelbar nach dem Füllen, die zweite nach 6 bis 48 h! Es wird empfohlen, die Flaschen für eine Stunde mit 20 - 40 U/min. zu rollen (stelle ich mir ziemlich lustig vor, bei einer Doppel-12er ... ©).

DCIEM DIVING MANUAL

TABLE 1(N): EQUIVALENT AIR DEPTH (EAD) AND PARTIAL PRESSURE OF OXYGEN (PO₂) FOR OPEN-CIRCUIT NITROGEN-OXYGEN DIVING (MSW)

Actual Depth (msw)	Mixture					
	60% N ₂ /40% O ₂		64% N ₂ /36% O ₂		68% N ₂ /32% O ₂	
	EAD (msw)	PO ₂ (ATA)	EAD (msw)	PO ₂ (ATA)	EAD (msw)	PO ₂ (ATA)
9	6	0.8	6	0.7	9	0.7
10	6	0.8	9	0.8	9	0.7
11	9	0.9	9	0.8	9	0.7
12	9	0.9	9	0.8	12	0.7
13	9	1.0	9	0.9	12	0.8
14	9	1.0	12	0.9	12	0.8
15	12	1.0	12	0.9	12	0.8
16	12	1.1	12	1.0	15	0.9
17	12	1.1	12	1.0	15	0.9
18	12	1.2	15	1.1	15	0.9
19	15	1.2	15	1.1	18	1.0
20	15	1.3	15	1.1	18	1.0
21	15	1.3	18	1.2	18	1.0
22	15	1.3	18	1.2	18	1.1
23	18	1.4	18	1.2	21	1.1
24	18	1.4	18	1.3	21	1.1
25	18	1.5	21	1.3	21	1.2
26	18	1.5	21	1.4	24	1.2
27	21	1.5	21	1.4	24	1.2
28	21	1.6	21	1.4	24	1.3
29	21	1.6	24	1.5	24	1.3
30	21	1.6	24	1.5	27	1.3
31			24	1.5	27	1.4
32			27	1.6	27	1.4
33			27	1.6	30	1.4
34			27	1.6	30	1.5
35	DEPTH CUT-OFF				30	1.5
36					30	1.5
37					33	1.6
38					33	1.6
39					33	1.6


Note: Oxygen percentage in breathing gas is to be within $\pm 0.5\%$ of the specified nominal concentrations listed. EAD and PO₂ have been computed for the worst case. EAD and PO₂ values below the cut-off depth for 68% N₂/32% O₂ are provided for emergency considerations only.

Mit freundlicher Genehmigung durch DCIEM

PADI NITROX RDPs (Recreational Dive Planner, Tabellen zum Planen von Nullzeit-TG für das Sporttauchen):

Diese finden wir auf den folgenden Seiten. Es gibt einen RDP für EANx 32 und einen für EANx 36 sowie eine Tabelle, die für EANx Gemische zwischen 30 und 40 % Sauerstoffanteil die EADs und die Sauerstoffpartialdrücke angibt, auf der Rückseite dieser Tabelle finden wir eine ZNS Tabelle

von 0,6 bis 1,4 (-1,6: grauer Bereich) Bar Sauerstoffpartialdruck, die ZNS Dosen gehen gerundet von 5 bis 100 %. Hier zuerst diese Rückseite:



DSAT
DIVING SCIENCE & TECHNOLOGY CORP.

Oxygen Partial Pressure (ata)

0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	
36	29	23	18	15	12	11	9	8	6	3	5%
72	57	45	36	30	24	21	18	15	12	5	10%
108	86	68	54	45	36	32	27	23	18	7	15%
144	114	90	72	60	48	42	36	30	24	9	20%
180	143	113	90	75	60	53	45	38	30	12	25%
216	171	135	108	90	72	63	54	45	36	14	30%
252	200	158	126	105	84	74	63	53	42	16	35%
288	228	180	144	120	96	84	72	60	48	18	40%
324	257	203	162	135	108	95	81	68	54	21	45%
360	285	225	180	150	120	105	90	75	60	23	50%
396	314	248	198	165	132	116	99	83	66	25	55%
432	342	270	216	180	144	126	108	90	72	27	60%
468	371	293	234	195	156	137	117	98	78	30	65%
504	399	315	252	210	168	147	126	105	84	32	70%
540	428	338	270	225	180	158	135	113	90	34	75%
576	456	360	288	240	192	168	144	120	96	36	80%
612	485	383	306	255	204	179	153	128	102	39	85%
648	513	405	324	270	216	189	162	135	108	41	90%
684	542	428	342	285	228	200	171	143	114	43	95%
720	570	450	360	300	240	210	180	150	120	45	100%

Time in Minutes →


Percent of Allowable Exposure

Oxygen Exposure Table for Enriched Air (nitrox)

Total exposure in 24 hours should not exceed 100 percent.
Partial pressures above 1.4 ata for contingency planning only.

WARNING

DO NOT attempt to use these tables unless you are fully trained and certified in the use of enriched air (nitrox), or are under the supervision of a certified enriched air scuba instructor. Proper use of these tables will reduce the risk of decompression sickness and oxygen toxicity, but no table or computer can eliminate those risks.



Distributed by
International PADI Inc.
© DSAT Corp. 1995

Mit freundlicher Genehmigung durch PADI Intl./ PADI Europe

Hier die Vorderseite für die Mixes von 30 - 40 % und den gerundeten EADs und Sauerstoffpartialdrücken:

DSAT DIVING SCIENCE & TECHNOLOGY CORP.



Distributed by
International
PADI Inc.

© DSAT Corp, 1995

METRIC

Oxygen Nitrogen Depth	30%		31%		32%		33%		34%		35%	
	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.
6	4.2	0.48	4.0	0.50	3.8	0.51	3.6	0.53	3.4	0.54	3.2	0.56
10	7.7	0.60	7.5	0.62	7.2	0.64	7.0	0.66	6.7	0.68	6.5	0.70
12	9.5	0.66	9.2	0.68	8.9	0.70	8.7	0.73	8.4	0.75	8.1	0.77
14	11.3	0.72	11.0	0.74	10.7	0.77	10.4	0.79	10.1	0.82	9.7	0.84
16	13.0	0.78	12.7	0.81	12.4	0.83	12.1	0.86	11.7	0.88	11.4	0.91
18	14.8	0.84	14.5	0.87	14.1	0.90	13.7	0.92	13.4	0.95	13.0	0.98
20	16.6	0.90	16.2	0.93	15.8	0.96	15.4	0.99	15.1	1.02	14.7	1.05
22	18.4	0.96	17.9	0.99	17.5	1.02	17.1	1.06	16.7	1.09	16.3	1.12
25	21.0	1.05	20.6	1.09	20.1	1.12	19.7	1.16	19.2	1.19	18.8	1.23
30	25.4	1.20	24.9	1.24	24.4	1.28	23.9	1.32	23.4	1.36	22.9	1.40
35	29.9	1.35	29.3	1.40	28.7	1.44	28.2	1.49	27.6	1.53	27.0	1.58
40	34.3	1.50	33.7	1.55	33.0	1.60	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING
42	36.1	1.56	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING

Oxygen Nitrogen Depth	36%		37%		38%		39%		40%		AIR	
	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.	EAD	O ₂ p.p.
6	3.0	0.58	2.8	0.59	2.6	0.61	2.4	0.62	2.2	0.64	2.0	0.66
10	6.2	0.72	5.9	0.74	5.7	0.76	5.4	0.78	5.2	0.80	5.0	0.82
12	7.8	0.79	7.5	0.81	7.3	0.84	7.0	0.86	6.7	0.88	6.5	0.90
14	9.4	0.86	9.1	0.89	8.8	0.91	8.5	0.94	8.2	0.96	8.0	0.98
16	11.1	0.94	10.7	0.96	10.4	0.99	10.1	1.01	9.7	1.04	9.5	1.06
18	12.7	1.01	12.3	1.04	12.0	1.06	11.6	1.09	11.3	1.12	11.0	1.14
20	14.3	1.08	13.9	1.11	13.5	1.14	13.2	1.17	12.8	1.20	12.5	1.23
22	15.9	1.15	15.5	1.18	15.1	1.22	14.7	1.25	14.3	1.28	14.0	1.31
25	18.4	1.26	17.9	1.30	17.5	1.33	17.0	1.37	16.6	1.40	16.3	1.43
30	22.4	1.44	21.9	1.48	21.4	1.52	20.9	1.56	20.4	1.60	20.0	1.64
35	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING
40	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING
42	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING	WARNING

Equivalent Air Depth Table for Enriched Air (nitrox) — Depths in Metres, O₂ p.p. in ata
Depths/EADs with O₂ p.p. greater than 1.4 ata for contingency planning only.

Product No. 61057 Version 1.0 010PDJ8

Mit freundlicher Genehmigung durch PADI Intl./ PADI Europe

Einige Bsp.: 1. TG.: NITROX 32, Tiefe 24 m, 38 min., OFP 2,5 h; 2. TG.: NITROX 32, 18 m, 59 min. Frage: Wdh-Gr nach den TG (NDLs, ZZ) sowie die ZNS Dosis?

Antwort: bei 24 m und 38 min (= 39 nach Tabelle) finden wir Wdh-Gr Q, der NDL wäre 50 min. gewesen, der pO₂ beträgt 1,09 Bar (Vorderseite, Tabelle Nr. 1), ZNS Dosis somit (bei 1,1 Bar und 48 min. in der DSAT/ZNS Tabelle nachgeschaut) 20 %. Nach der OFP sind wir bei: B (Vorderseite,

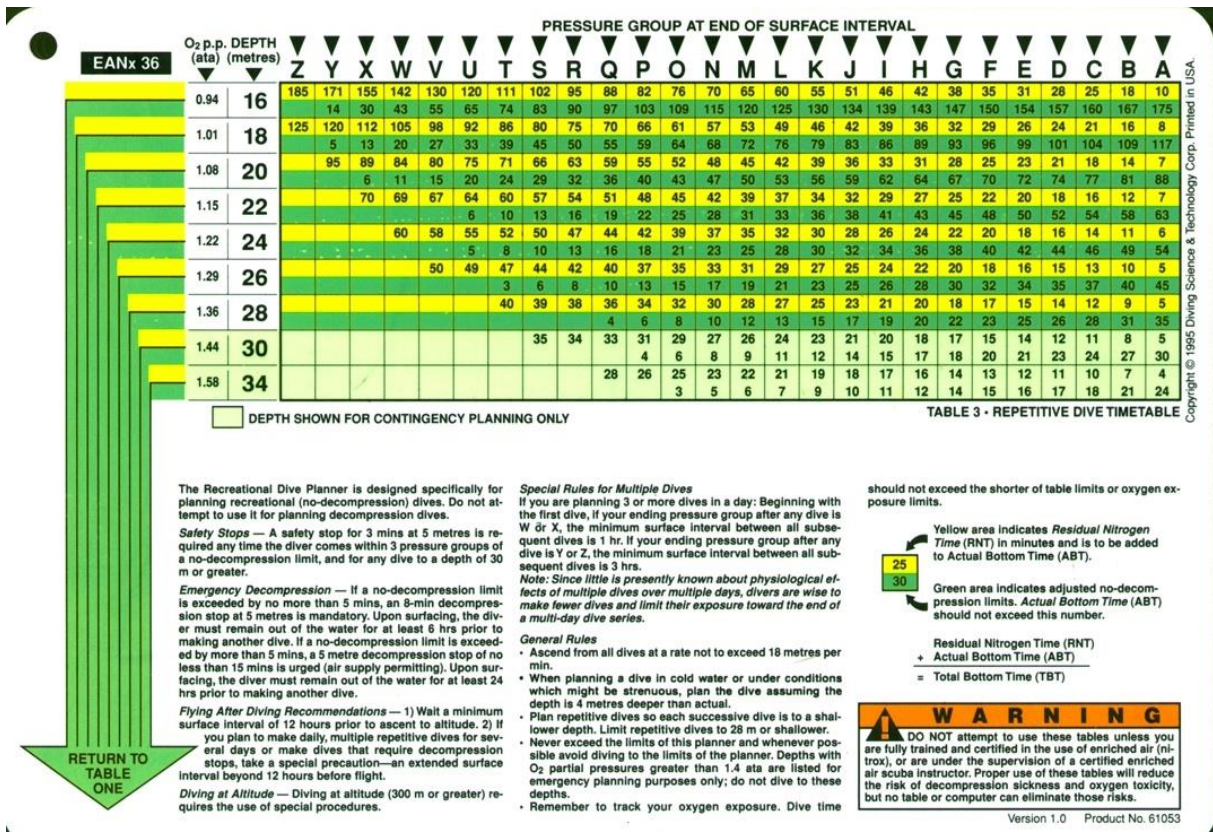
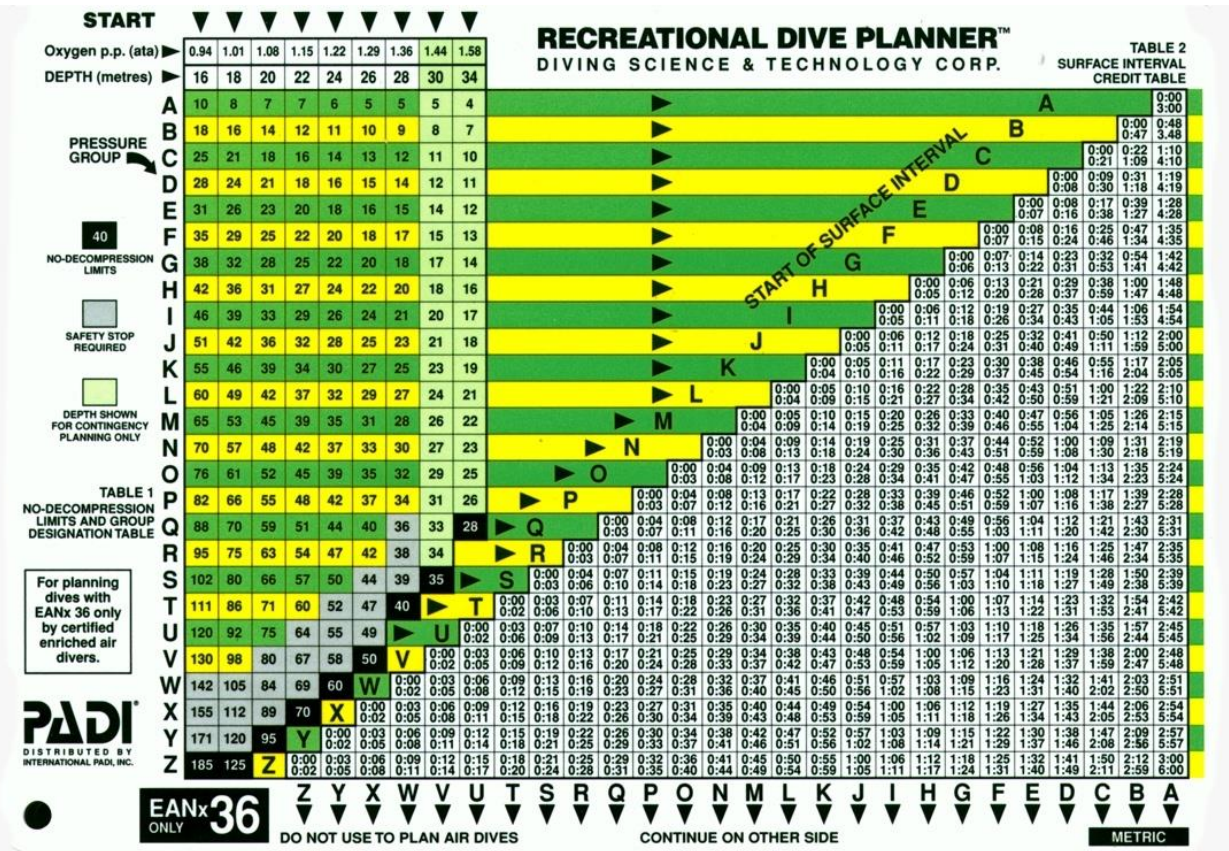
Tabelle Nr. 2). Schnittpunkt von B und 18 m (Rückseite, Tabelle Nr.3) liefert: ZZ: 14 min., NDL: 81 min. Da wir aber nur 59 min. bleiben wollen und auch die Wdh-Gr nach diesem TG gefragt ist, gehen wir nach der üblichen Formel vor: ZZ + effektive Grundzeit = totale Grundzeit, also: $14 + 59 = 73$ min (diese Formel findet ihr auf der Rückseite, rechts unten aufgemalt). Wir drehen also die Tabelle wieder auf die Vorderseite und gehen in die 18 m Spalte und finden bei 77 min. (statt 73): U. Der pO_2 beträgt 0,90 Bar, also ZNS Dosis = 20 % (bei 0,9 Bar und 72 min.), also totale ZNS = $20 + 20 = 40$ %.

Zum Gemisch-Wechsel können wir auch die Tabellen wechseln, und zwar jedesmal, wenn wir auf die Teil-Tabelle Nr. 3 gehen! Zur Erinnerung: **innerhalb** eines Tabellensatzes sind die Wdh-Gr vergleichbar! Wenn wir die OFP absolviert haben, können wir genau mit dieser Wdh-Gr in die Teil-Tabelle 3 (Rückseite) gehen!

Bsp.: 1. TG Druckluft, 40 m, 9 min., OFP 90 min., 2. TG NITROX 36, 25 m, 36 min.

Antwort: G, nach der OFP: B. Der pO_2 beträgt immerhin (selber ausrechnen) = 1,05 also die ZNS Dosis (bei 1,1 Bar und 12 min. geschaut) = 5 %. Jetzt wechseln wir auf den RDP 36, Rückseite, und suchen den Schnittpunkt zwischen B und 25 (=26 m) und finden ZZ = 10, NDL = 40. Also: ZZ + eff. = tot.; $10 + 36 = 46$ min., Vorderseite bei 26 m (statt 25 m und bei 47 min.) ergibt: T, der pO_2 beträgt 1,29; also ZNS Dosis (1,3 Bar und 36 min.) = 20 %, ZNS total = $5 + 20 = 25$ %.

PADI RDP EANx 36, Vorder- und Rückseite:



Mit freundlicher Genehmigung durch PADI Intl./ PADI Europe

Ansonsten benutzen wir die EAD Methode mit jeder beliebigen Druckluft-Tauchtafel: dies hat den wesentlichen Vorteil, dass wir:

- ◆ unsere "alte" Tauchtafel weiter benutzen können
- ◆ wir nur eine einzige Tafel benötigen (und nicht für jedes Gemisch eine separate)

Wir können deshalb mit den wildesten Gemischen mit der EAD Formel jeweils die exakte EAD berechnen und schauen einfach mit unseren Tauchzeiten nach, wie unsere Wdh-GR ausschauen. Beispiel anhand der "DECO 2000" Tafel (die wohl [hoffentlich!] jeder von euch besitzt und damit umgehen kann! Und wenn nicht? Dann sofort den PADI DIVE COMPUTER & DIVE TABLES Specialty machen !!!

Wir haben ein NITROX 31 und wollen auf 22 m tauchen. Die EAD Formel liefert uns: $(69/79 * 32) - 10 = 17,9$ m, also NDL = 45 min. (bei 18 m abgelesen). Wir wollen nun 2 solcher TG mit jeweils 35 min. machen. 1. TG liefert Wdh-Gr E, wir machen 1 h OFP. Auf der Rückseite gehen wir in die E-Zeile: 1h = 60 min. sind im Intervall zwischen 0:30 und 1:00 h: an dieser Linie nach unten zur ZZ-Tafel und den Schnittpunkt zur 18 m Zeile gesucht (wir tauchen ja auf 22 m, aber die EAD ist ja nachwievor nur 18 m!) und finden: 34 min. Also wieder auf die Vorderseite: 34 + 35 = 69 min. 75 min. liefert Wdh-Gr G, und einen Deko-Stopp auf 3 m von 14 min.

Zu unserer eigenen Sicherheit kontrollieren wir noch den Sauerstoff-Partialdruck ($0,31 * 3,2 = 0,992$, also 1 Bar) und unsere ZNS Dosen: jeweils ca. 15 % , also Summe ca. 30 %.

Für die weiteren DEKO TG nehmen wir jetzt mal spaßeshalber (übungshalber, der Abwechslung wegen) die (alten) NOAA NN Tafeln [48], Seiten VII-1 und VII-3 (Kopien davon: siehe Anhang):

Bsp.: 1. TG EAN 36, 33 m, 40 min., OFP 2,5 h; 2. TG EAN 36, 25 m, 30 min.

Antwort: NDL für den 1. TG wäre 30 min., da wir aber 40 min. Grundzeit haben, müssen wir auf 3 m einen Deko-Stopp machen von 7 min. Dauer, Wdh-Gr: J. Nach der OFP: E. Für den 2. TG: Schnittpunkt zwischen E und 25 m ergibt: ZZ: 30 min. und NDL: 30 min. Wir bleiben genau 30 min.: also: 30 min ZZ + 30 min. effektive Grundzeit = 60 min. totale Grundzeit. Mit 60 min. bei 25 m geschaut: 60 min. ergibt einen NDL, Wdh-Gr.: J.

ZNS Dosen (Seite R-8): 40 min. @ 1,6 = 89 % , 30 min. @ 1,3 = 17 % , d.h. total also: 89 + 17 = 106 % , also nix wie Raus ausm Wasser und einen Tag Coca-Cola (= mach mal Pause)! Die ZNS Dosen der Deko-Stops haben wir nicht berücksichtigt! Warum? Nun, der pO_2 beträgt weniger als 0,5 Bar! (Stimmt??? Nachrechnen !!!).

Dekompression mit anderen NITROX Gemischen:

Für die folgenden Überlegungen gilt: ihr taucht mit irgendeinem Gemisch und für die Zeit des Deko-Stops wechselt ihr in der entsprechenden Tiefe auf eine andere Flasche mit einem "fetteren" Gemisch. Prinzipiell gilt dann, je höher der Sauerstoffanteil im NITROX in den Deko-Flaschen ist um so kürzer sind die erforderlichen Deko-Stops. Begrenzt wird das durch die Tiefe und die Zeit. Ein NITROX 80 oder gar reinen Sauerstoff solltet ihr auf der 3m Stufe und allenfalls, bei ruhiger See, ohne Wellen etc., noch auf der 6 m Stufe anwenden und keinesfalls tiefer. Da ihr dann mit einem relativ hohen Sauerstoffpartialdruck arbeitet, müsst peinlich genau auf eure ZNS Dosen achten! Ein paar Beispiele zur Verkürzung der Deko-Zeiten, als Basis dienen für diese Beispiele die NOAA Luft, NN 32 & 36 für EANx 32 & 36 Tafeln (NOAA Luft ist identisch mit der US Navy Tafel):

A) TG mit Luft, 30 m, 40 min., Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	15 min.
Wechsel auf EAN 32 in 3 m, Deko-Stopp in 3 m Tiefe, Verkürzung auf:	kleiner 7 min.
Wechsel auf EAN 36 in 3 m, Deko-Stopp in 3 m Tiefe, Verkürzung auf:	max. 10 min.
B) TG mit Luft, 27 m, 50 min., Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	18 min.
Wechsel auf EAN 32 in 3 m, Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	17 min.

Wechsel auf EAN 36 in 3 m, Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	14 min.
C) TG mit EAN 32, 30 m, 60 min., Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	25 min.
Wechsel auf EAN 36 in 3 m, Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	23 min.
D) TG mit EAN 32, 33 m, 40 min., Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	7 min.
Wechsel auf EAN 36 in 3 m, Deko-Stopp in 3 m Tiefe:	kleiner 7 min.

Offenbar kann man Verkürzungen der Deko-Stops erzielen, abhängig vom Sauerstoff-Anteil des Deko-Gemisches. Mehr Tabellen darüber findet man in [15], [28] und [46], wo mit bis zu 100 % Sauerstoff dekomprimiert wird, Stichwort: „accelerated decompression“, also beschleunigte Dekompression.

Wie funktioniert das mit diesen Tabellen: ganz einfach: ihr schaut beim entsprechenden TG am Ende nach der Deko-Pause die Wdh-Gr nach, mit dieser wechselt ihr, sozusagen von hinten, in die Tabelle mit dem höheren Sauerstoffanteil. Beim Schnittpunkt mit der alten Wdh-Gr und der gleichen Tiefe seht ihr die verkürzten Deko-Zeiten dann in der Tabelle mit dem fetteren Gemisch. Warum ist das eine sinnvolle und gestattete Vorgehensweise: nun, die Wiederholungsgruppen Buchstaben sind nämlich konsistent über alle 3 Tabellen (Luft = USN, NN32, NN36), da ja hiermit nur eine Stickstoffsättigung ausgerechnet wird! Darüberhinaus seid Ihr damit immer auf der sicheren Seite, trotz verkürzten Deko-Stops! Woran seht Ihr das? Ganz einfach: wenn Ihr den Schnittpunkt eurer alten Wdh.-Gr. (z.B. Luft) in der NITROX Tabelle sucht, findet Ihr beim gleichen Buchstaben (gleiche Sättigung) immer eine etwas längere Grundzeit, als in eurer TG-Planung.

Hier, nochmals langsam zum Mitschreiben beim Beispiel TG A):

der Luft-TG auf 30 m mit 40 min. liefert die Wdh-Gr .: K (Table 1, dort ist auch der 15 min. Deko-Stopp verzeichnet). Mit diesem K spaziert ihr z.B. in der EAN36 Tabelle ebenfalls in der Table 1 von unten hoch und sucht den Schnittpunkt von K mit 30 m: dort findet ihr einen Deko-Stopp von 10 min., allerdings für einen TG mit 50 min., den ihr natürlich mit diesem Gemisch so nicht gemacht habt. Aber die Sättigung ist genau dieselbe: ihr erkennt das, weil ja der gleiche Wdh-Gr Buchstabe benutzt wird. Zur Erinnerung: eine Wdh-Gr in Tabellen vom Typ „U.S. Navy“ bedeutet die Sättigung mit ca. 2 fsw (foot of seawater) Stickstoff! (siehe mal wieder unser Specialty: „Tauchcomputer & Tauchtabellen“!)

Eine Simulation mit unserem PC Progrämmchen DIVE Ver 2.82 ergibt für den gleichen TG und die Gaswechsel auf 3 m bzw. 6 m Tiefe folgendes Bild:

TG A) 30 m, 40 min.:	
Luft:	24 min. Deko-Stopp auf 6 (5') und 3 m (19')
EAN 32:	19 min. Deko-Stopp auf 6 (3') und 3 m (16')
EAN 36:	18 min. Deko-Stopp auf 6 (3') und 3 m (15')
EAN 80:	12 min. Deko-Stopp auf 6 (2') und 3 m (10')
EAN 99:	10 min. Deko-Stopp auf 6 (2') und 3 m (8'')

TG B) 27 m, 50 min.:	
Luft:	24 min. Deko-Stopp auf 6 (3') und 3 m (21')
EAN 32:	21 min. Deko-Stopp auf 6 (3') und 3 m (18')
EAN 36:	20 min. Deko-Stopp auf 6 (3') und 3 m (17')
EAN 80:	13 min. Deko-Stopp auf 6 (2') und 3 m (11')
EAN 99:	11 min. Deko-Stopp auf 6 (2') und 3 m (9'')

Die Deko-Stopps sind insgesamt etwas länger, da das Programm konservativer arbeitet und relativ aktuelle Hahn-Koeffizienten verwendet! Wer sich hierfür genauer interessiert, dem sei das PADI Specialty "Tauchcomputer & Tauchtabellen" nochmals wärmstens ans Herz gelegt. Das DIVE Programmchen könnt ihr euch kostenlos von unserer homepage holen!

Die kürzesten Deko-Stopps würde man mit einem CCR erzielen, der immer den max. Sauerstoffpartialdruck mischt, so dass bereits auf der 6 m Stufe reiner Sauerstoff geatmet wird. Gleichzeitig überwacht die Elektronik des CCR auch die Stickstoff-Sättigung. Solche CCRs sind natürlich etwas teurer (ca. 10.000 US \$), die preiswertere Methode ist die, mit Deko-Flaschen zu arbeiten, die eben ein vorgegebenes NITROX enthalten. Da viele der regulären Tauchcomputer (siehe nächster Abschnitt) unter Wasser ja nicht auf einen anderen Sauerstoff-Anteil umprogrammierbar sind und bei Verletzungen der Deko-Pflicht (Zeit oder Tiefe) mit einer normalerweise mindestens 12 oder 24 stündigen Blockade reagieren, sitzt ihr eben eure Deko ab und seid aber damit wieder auf der sicheren Seite! Auch "AIR" Tauchcomputer helfen hier natürlich nicht weiter! Es gibt natürlich eine "Methode" für ganz verwegene (das funktioniert, habe ich früher selber schon öfters ausprobiert, allerdings war ich da noch ziemlich jung und dumm), da das aber nicht nachahmenswert ist möchte ich euch lieber an die Bemerkung mit dem Rollstuhl erinnern ... (siehe Kapitel: Verfahren für sichere TG-Planung)

Als weitere Alternative für "Tekkies" werden die sogenannten "run-time slates" ([23], S.: 78, 79 und 103) gehandelt: dies ist einfach eine Liste, ganz ähnlich einem Fahrplan: dort wird der komplette TG mit allen Gaswechseln und Deko-Stopps vorher geplant und ausgerechnet (wann, in welcher Tiefe, welches Gemisch, wie lange, wieviel davon, etc. ...). Die Tekkies reden dann gerne von "Bottom-Mix" und "Travel-Mix" und „Stage-“, resp. „Deco-Mixes“, hierbei handelt es sich um die Mischungen fürs Auf- und Abtauchen sowie die Mischung für den Aufenthalt am Grund und die allfällige Deko. Dies kann mit handelsüblichen oder mit speziellen ("custom") Tauchtabellen gemacht werden. Das ist natürlich auch nix Neues und wurde von den Militärs schon lange praktiziert, siehe [15], 11-13. Und auch hierfür gibt es schon wieder computertechnische Unterstützung: im Internet gibt's jede Menge Freeware sowie Mischgascomputer, z.B. mit 2 oder mit bis zu 9 Gaswechseln. Einfachere Tauchcomputer, die mit immerhin 2 Gaswechseln arbeiten können, allerdings nur auf NITROX Basis, sind der NiTek3 von Dive Rite bzw. der Aladin TEC 2G. Weitere Beispiele für Mischgas-Computer: VR3 von Delta P Technologies sowie der Galileo Sol (3 EANx Gase), von UWATEC sowie die EMC-20 H Serie von Cochran (Links im Computermuseum auf meiner homepage ...)

Accelerated Deco (beschleunigte Dekompression)

Für die beschleunigte Dekompression nehmen wir die Tabellen für Druckluft und EAN 32 aus [46], S. 240 & 241, siehe folgende Seiten. Die EAN 32 Tabelle ist gut für unsere JURA TG! Leider liefert die Tabelle keinen TG mit 25 min auf dieser Tiefe, deshalb machen wir jetzt als Einstieg in die Thematik einen TG 30 ' / 39 m, später in der Gegenüberstellung reduzieren wir auf 25 ' / 39 m, da die 30 min. schon recht kräftig sind!

In der Druckluft Tabelle finden wir bei (30 ' / 39 m):

1 ' / 12 m, 4 ' / 9 m, 4 ' / 6 m, 23 ' / 3 m; (Summe der Deko-Stopps): 32 min.

Wird mit EAN 75 (oder ein höherer Sauerstoffanteil dekomprimiert) so verkürzen sich diese Zeiten auf: 1 ' / 12 m, 4 ' / 9 m, 3 ' / 6 m, 12 ' / 4,5 m; Summe: 20 min.

Wir dieser TG komplett mit EAN32 gemacht, so finden wir:

1 ' / 9 m, 2 ' / 6 m, 15 ' / 3 m;): 18 min.

wenn mit EAN 32 getaucht und dekomprimiert wird. Wird als Deko-Gas mindestens EAN 75 (oder ein noch höherer Sauerstoffanteil) eingesetzt, so ergeben sich nochmals reduzierte Deko-Zeiten zu: 1 ' / 9 m, 2 ' / 6 m und 9 ' / 4.5 m; Summe: 12 min.

Wie geht man prinzipiell mit diesen und anderen ungetesteten Tabellen um?

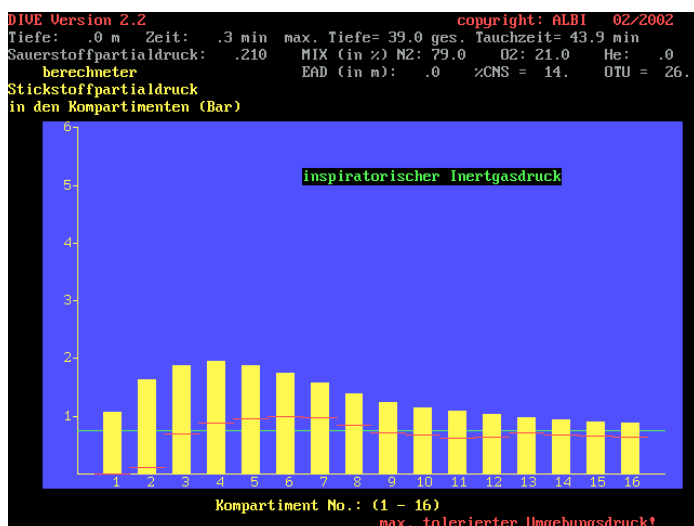
Obacht: diese (und viele andere Tabellen) sind ungetestet, d.h. sie wurden nicht anhand nachprüfbarer Parameter an einer Vielzahl Tauchern geprüft. Nachprüfbar hier heißt: Temperatur, Tiefe und Zeit, Gaszusammensetzung, incl. Ab- und Aufstiegsphase werden mittels einer Druckkammer für alle Testtaucher gleichermaßen realisiert. Deshalb:

Man sollte die Planung konservativer gestalten wie den echten TG!

- Nächstgrößere Werte für Tiefe und Zeit annehmen
- Tabelle mit geringerem Sauerstoffanteil benutzen (Bsp.: Analyse liefert 34%, in der Tabelle mit 32% nachschauen, oder Analyse liefert 25% und ihr benutzt die Lufttabelle)
- Luftcomputer benutzen, bzw. den back-up Computer ebenfalls auf den geringeren Sauerstoffanteil einstellen
- %CNS / OTU Werte dann von Hand abschätzen mit größter Tiefe / kompletter Tauchzeit

Weiteres zum Thema „accelerated Deco“ und Simulationen mit unserem „Dive“ Programm:

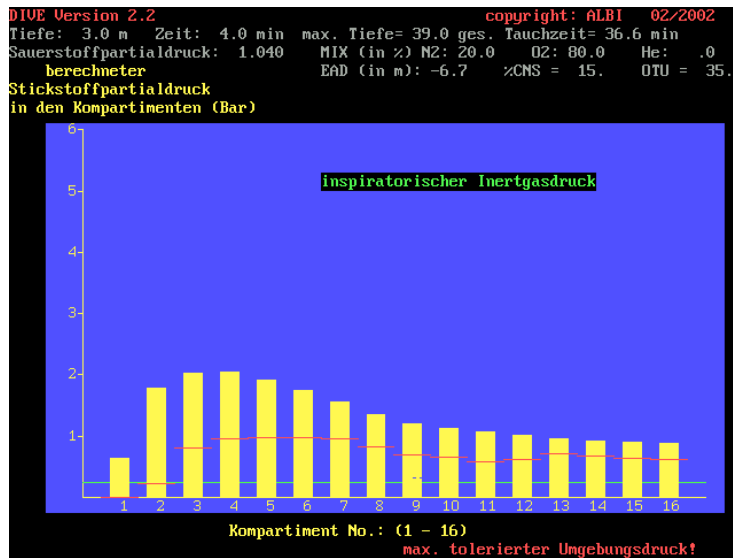
TG zur Jura: 39 m, 25 min., Druckluft: 1. Deko-Stopp auf 9 m für 1 min., dann auf 6 m 4 min. und auf 3m 10 min. Unmittelbar am Ende des TG erhalten wir folgendes Diagramm:



Die gelben Balken stellen die berechneten Stickstoffpartialdrücke (=Sättigungen) für ein 16 Kompartiment-Modell dar. Das zugehörige Protokoll:

	TIEFE	ZEIT	GES. ZEIT	N	O	HE	CNS	OTU	GAS
X	.00	.00	.00	.79	.21	.00	0.	0.	.00
D	39.00	25.00	25.00	.79	.21	.00	10.	26.	3062.50
A	9.00	3.00	28.00	.79	.21	.00	11.	26.	142.50
E	9.00	1.00	29.00	.79	.21	.00	11.	26.	47.50
A	6.00	.30	29.30	.79	.21	.00	11.	26.	12.00
E	6.00	4.00	33.30	.79	.21	.00	12.	26.	160.00
A	3.00	.30	33.60	.79	.21	.00	12.	26.	9.75
E	3.00	10.00	43.60	.79	.21	.00	14.	26.	325.00
A	.00	.30	43.90	.79	.21	.00	14.	26.	7.50
X	.00	.00	.00	.79	.21	.00	14.	26.	.00

39 m, 25 min., erster Deko Stopp auf 9 m / 1 min mit Druckluft, dann Wechsel und Aufstieg auf 6 m mit „accelerated Deco“ mit Nitrox 80 (20 % Stickstoff) zu 3 min., dann Aufstieg auf 3 m und 4 min. Deko-Stopp mit Nitrox 80 ergibt auf der letzten Deko-Stufe folgendes Diagramm:



Das zugehörige Protokoll:

TIEFE	ZEIT	GES. ZEIT	N	O	HE	CNS	OTU	GAS
X	.00	.00	.79	.21	.00	0.	0.	.00
D	39.00	25.00	25.00	.79	.21	.00	10.	26. 3062.50
A	9.00	3.00	28.00	.79	.21	.00	11.	26. 142.50
E	9.00	1.00	29.00	.79	.21	.00	11.	26. 47.50
A	6.00	.30	29.30	.79	.21	.00	11.	26. 12.00
E	6.00	3.00	32.30	.20	.80	.00	13.	31. 120.00
A	3.00	.30	32.60	.20	.80	.00	13.	31. 9.75
E	3.00	4.00	36.60	.20	.80	.00	15.	35. 130.00
A	.00	.30	36.90	.20	.80	.00	15.	35. 7.50
X	.00	.00	.00	.20	.80	.00	15.	35. .00

Hier als Tabelle zum Vergleich die beiden TG mit den Austauschzeiten der anderen Tabellen:

Tabelle:	Deko-Stopp in 12 m: [min.]	9 m	6 m	3m	Summe der Deko-Stopps [min.]	Verwendete Atemgase	Bem.:
USN Rev. 6 2008	-	-	17	-	17	Druckluft	130 fsw
USN („alt“)!	-	-	-	-	-	-	-
DCIEM	-	5	7	11	23	Druckluft	-
Deco 2000	-	4	7	16	27	Druckluft	27 min.
DIVE	-	1	4	10	15	Druckluft	-
DIVE	-	1	3	4	8	Ab 6 m: Nitrox 80	Accelerated Deco
IANTD	-	-	2	9	11	Ab 6 m: Nitrox 75	Accelerated Deco
USN Rev. 6 2008	-	-	9	-	9	AB 6 m: Nitrox 99	130 fsw
USN („alt“)	-	-	-	3	3	Nitrox 32	33,1 m (*)
NOAA NN32	-	-	-	3	3	NN32	40 m, 25 min.
DCIEM	-	-	6	10	16	Nitrox 32	33 m (*)
Deco 92 V2	-	-	2	7	9	EAN32	39 m, 26 min.
Deco 2000	-	-	5	10	15	Nitrox 32	33 m, 27 min. (*)
DIVE	-	-	1	3	4	Nitrox 32	39 m / 25 min.
DP 3.1.4	-	-	-	5	6	EAN 32	39 m / 25 min.

Für die Tabellenwerte mit Stern (*) gilt die EAD Methode:

Für ein Nitrox 32 ist der Stickstoffanteil = 0,68, also: $0,68 / 0,79 * 4,9 = 4,217$ entspricht einer EAD = 32,17, also 33 m.

USN ist die Lufttabelle der United States Navy, **alte Version**

USN Rev. 6, 2008 ist die 6. Revision dieser Tabelle, erschienen 04/2008

IANTD ist eine modifizierte Bühlmann-Hahn Tabelle der International Association of Nitrox and Technical Divers

DCIEM ist die Lufttabelle der kanadischen Militär- & Berufstaucher vom Defense & Civil Institute of Environmental Medicine

Deco 2000 ist die letzte Lufttabelle von Maxe Hahn aus dem Jahre 2000

Deco 92 V2 ist die zweite Version der Ausgabe von 1992, hier in der Nitrox 32 Variante benutzt

DIVE sind die Angaben aus unserem DIVE Programmchen, ab V 2.8x, von/2000

Fazit:

- Generell ist dieser TG mit keinem PADI RDP zu bewältigen, es ist ein echter Deko-TG
- Der Griff zu Nitrox 32 belohnt bei der Jura, ist aber vom Sauerstoffpartialdruck als grenzwertig anzusehen: d.h. ihr solltet die Parameter: Kälte, Anstrengung und Luftverbrauch gut unter Kontrolle haben!
- Die beschleunigte Deko (accel. Deco) bringt einiges an Verkürzung der Deko-Stopps: dies ist ja noch kein Wert per se (Außer für Berufstaucher, wo Zeit gleich Geld ist ...); wenn wir aber an den verkürzten Aufenthalt im Wasser bei Kälte oder Seegang denken, haben wir sicherlich ein Plus an Sicherheit. Desweiteren sättigen sich die langsamen Kompartimente nicht mehr so stark auf! Zur Erinnerung (oder als Ansporn, den PADI Specialty „DIVE COMPUTER & DIVE TABLES“ zu besuchen... ☺): während der Deko-Stopps, in denen die schnellen Kompartimente entsättigt werden, ist der inspiratorische Inertgasdruck für viele langsame Kompartimente immer noch größer als der Inertgasdruck im Kompartiment selber. Im Klartext: auch noch auf der 3 m Deko-Stufe werden Kompartimente (vor allem Knochen und Gelenke) weiter aufgesättigt! Wenn nun aber in der „accel. Deco“-Phase mehr Sauerstoff und weniger Stickstoff geatmet wird, so ist aus diesem Grund die gerade beschriebene Sättigung kleiner: auch ein Sicherheits-Plus!
- Genau diese Vorteile muss man halt abwägen gegenüber dem erhöhten Aufwand, mit einem zusätzlichen Gemisch, dem Deko-Tank zu tauchen: weitere Flasche, Analyse, EN144-tauglicher Automat, Gewicht über – und unter Wasser, Wasser-Widerstand, ...
- Weiterhin bemerkenswert ist die große Variation in den angegebenen Austauschzeiten der verschiedenen Tabellen. Bei Druckluft finden wir 10 min. als Minimum, 27 min. als Maximum, bei EAN32 geht es von 3 – 16 min.: eine Variation von immerhin dem Faktor 2,5 bis 5! Deshalb nochmals an dieser Stelle der Hinweis: die USN ist **nicht** für Hobby-/Urlaubstaucher gedacht! Die DCIEM Tabelle ist z.B. für kaltes Wasser gedacht und mit einer anderen Belastung und einem anderen respiratorischen Koeffizienten berechnet als die Bühlmann-Hahn Modelle, die IANTD Tabelle ist von 1995 und damit sicherlich etwas veraltet gegenüber der DECO2000!

Update per 2005

Desktop Deco Software

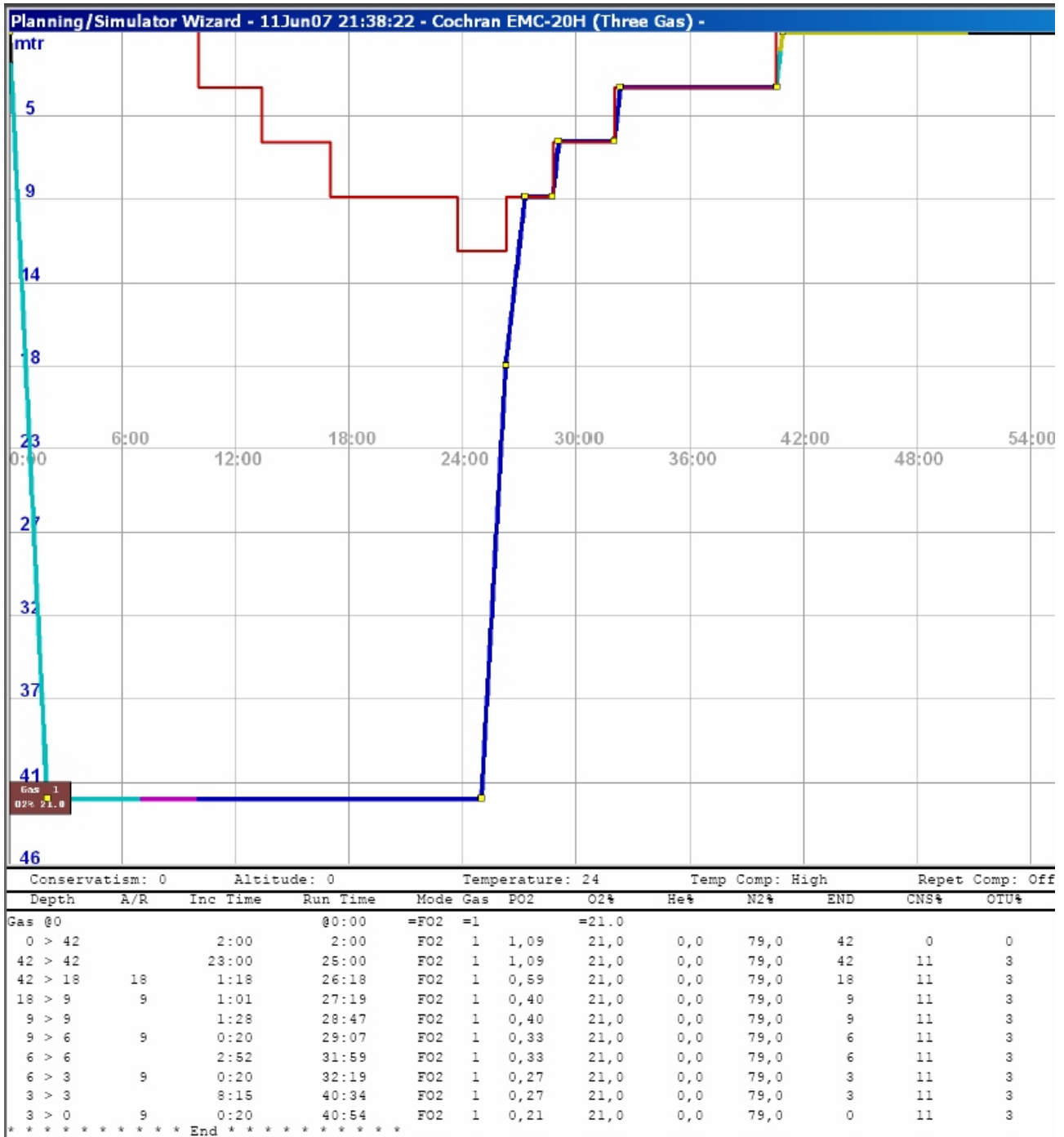
Wer unserem [DIVE Progrämmchen](https://www.divetable.info/DIVE_V3/index.htm) (https://www.divetable.info/DIVE_V3/index.htm) misstraut (und das ist ja durchaus legitim, vor allem bei Freeware; und ihr wisst ja nicht, ob wir schlampig programmiert haben oder nicht ...) der mag mit anderen Desktop Deco Softwares vergleichen. Vernünftige Mischgascomputer bringen so ein Stück PC Software ohne Zusatzkosten gleich mit. Im Beispiel handelt es sich um die „Analyst“ Version 4 die bei allen Cochran Computern (inclusive kostenloser, lebenslanger update Service via Internet) mit dabei ist! (update: durch den plötzlichen Tod des Firmengründers, Michael Cochran, ist diese Firma und alle ihre Produkte leider per 2019 komplett vom Markt verschwunden).

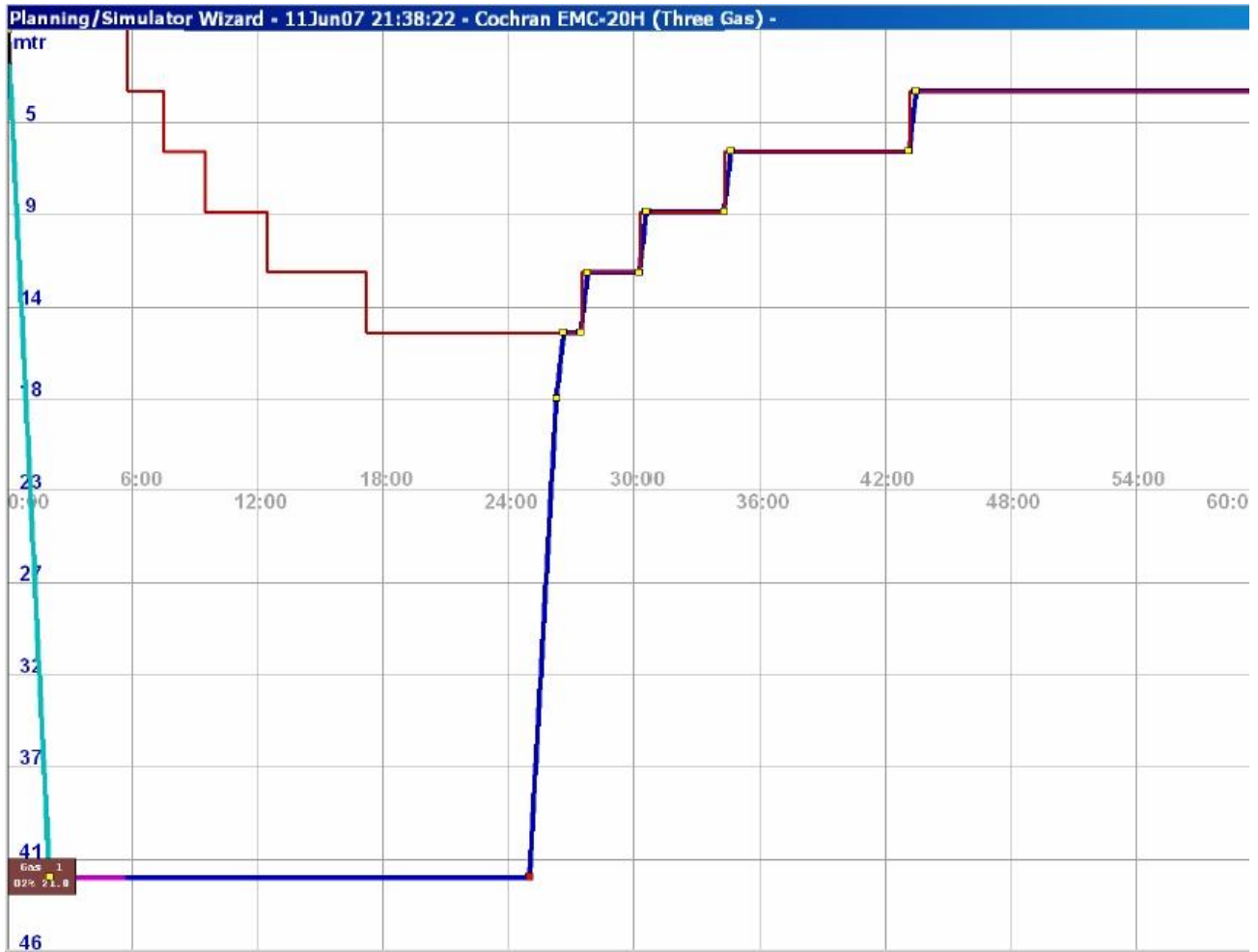
Die folgenden Seiten zeigen die Simulationen, oben das TG Profil, unten als Tabelle die run times. Variabel habe ich hierbei den sogenannten „conservativism factor“ gemacht, einmal = 0, und = 50. Das ist eine künstliche Vergrößerung der Kompartimentsättigung und bedeutet somit einen Sicherheitszuschlag.

Allerdings sei hier noch ein klares Wort der Warnung angebracht: wer mit Deco Software hantiert sollte ein klares Verständnis der grundlegenden physiologischen Prozesse aufweisen und wissen, was er da macht. Ebenso muß ganz klar sein, daß ein Stück Software, egal mit welchem Dekompressions-Algorithmus, nur modellhaft die Realität widerspiegelt (mal ganz davon abgesehen, s. oben, daß Programmierer auch Fehler machen können!)! D.h. ihr *könnt zwar am PC eure Deko optimieren, nicht aber euren Körper im Wasser!*

(Viele Tipps dazu gibt es in dem Manual des PADI „Tauchcomputer Spezialkurs“. Weitere Infos da: <https://www.divetable.info/Flyer/Katalog.pdf>

Und auch im „deco workshop“ für fortgeschrittene Taucher & Tekkies: <https://www.divetable.info/workshop/workshop.htm>





Conservatism: 50 Altitude: 0 Temperature: 24 Temp Comp: High Repet Comp: Off

Depth	A/R	Inc Time	Run Time	Mode	Gas	PO2	O2%	He%	N2%	END	CNS%	OTU%
Gas @0			@0:00	=FO2	=1		=21.0					
0 > 42		2:00	2:00	FO2	1	1,09	21,0	0,0	79,0	42	0	0
42 > 42		23:00	26:00	FO2	1	1,09	21,0	0,0	79,0	42	11	3
42 > 18	18	1:18	26:18	FO2	1	0,59	21,0	0,0	79,0	18	11	3
18 > 15	9	0:22	26:40	FO2	1	0,52	21,0	0,0	79,0	15	11	3
15 > 15		0:48	27:28	FO2	1	0,52	21,0	0,0	79,0	15	11	3
15 > 12	9	0:20	27:48	FO2	1	0,46	21,0	0,0	79,0	12	11	3
12 > 12		2:29	30:17	FO2	1	0,46	21,0	0,0	79,0	12	11	3
12 > 9	9	0:20	30:37	FO2	1	0,40	21,0	0,0	79,0	9	11	3
9 > 9		3:39	34:16	FO2	1	0,40	21,0	0,0	79,0	9	11	3
9 > 6	9	0:20	34:36	FO2	1	0,34	21,0	0,0	79,0	6	11	3
6 > 6		8:33	43:09	FO2	1	0,34	21,0	0,0	79,0	6	11	3
6 > 3	9	0:20	43:29	FO2	1	0,27	21,0	0,0	79,0	3	11	3
3 > 3		16:31	60:00	FO2	1	0,21	21,0	0,0	79,0	3	11	3

Modifizierte ZH-L 16 EAN Tabellen

Accelerated Deco Table (IANTD ©)

(A)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	Depth (Feet)		Repetitive Group		
	12	15	18	21	24	27	30	33	36	Depth (Meters)				
	154	125	75	51	35	25	20	20	17	No Decompression Limits (Minutes)				
(B) BOTTOM TIMES	25	19	16	14	12	11	10	10	9			A	00:00 01:59	02:00
	37	25	20	17	15	13	12	12	11			B	00:00 00:19	00:20 01:59
	55	37	29	25	22	20	18	18	16			C	00:00 00:09	00:10 00:24
	81	57	41	33	28	24	19	19	17			D	00:00 00:09	00:10 00:29
	105	82	59	44	35	25	20	20				E	00:03 00:09	00:10 00:14
	130	111	65	51								F	00:00 00:19	00:20 00:44
	154	125	75									G	00:00 00:24	00:25 00:44
												H	00:00 01:04	01:05 01:34
											K	03:00 03:59	04:00 04:59	
											L	05:00 05:59	07:00 08:29	
(D) R. G. AT END OF S.I.														

IANTD EAN 32% DIVING & DECOMPRESSION TABLES

se Tables Are For EAN 32% With
 1 32%As Deco Gas. Or Accelerated
 o Using EAN 75% Oxygen
 reater At 20 And 15 Foot
 as. The 15 Foot Stops MUST
 aken At 15 Feet. These
 es Are Based On
 hlmann's ZHL-16 Algorithm
 0-1000 Feet Above Sea
 el. They Were Produced
 ig Cybortronix DPA
 ware. The Repetitive Dive
 ps Are Not Transferable
 NY Other Tables. A 3
 ite Safety Stop Is
 alred For All
 s. These Tables Do Not Account For
 ical Condition Of Diver, Difficulty Of
 , Water Temperature, Etc.

(E) REPETITIVE DIVE TABLES	RESIDUAL NITROGEN TIME							RNT	DEPTH (F) (M)	
	G	F	E	D	C	B	A		(F)	(M)
154	130	105	81	55	37	25	RNT	40	12	
137	111	82	57	37	25	19	RNT	50	15	
115	88	59	41	29	20	16	RNT	60	18	
91	68	44	33	25	17	14	RNT	70	21	
72	53	37	28	22	15	12	RNT	80	24	
57	42	30	24	20	13	11	RNT	90	27	
47	35	26	21	18	12	10	RNT	100	30	
47	35	26	21	18	12	10	RNT	110	33	
40	30	23	19	16	11	9	RNT	120	36	

COPY RIGHT 1995 IANTD/IAND, Inc./
 REPETITIVE DIVER Inc.

IANTD EAN 32% DECO. TABLES WITH EAN 75% ACCELERATED DECO

Depth m ft	M i n	275% O ₂					R	Depth m ft	M i n	275% O ₂					R	Depth m ft	M i n	275% O ₂					R								
		6 20	4.5 15	5 20	4.5 15	5 20				9 30	6 20	4.5 15	5 20	4.5 15				5 20	12 40	9 30	6 20	4.5 15		5 20	4.5 15						
15	50	150	4				G	27	90	110	2	8	68	9	45	45	K	33	110	100	2	14	11	88	8	45	45	K			
18	60	80	2				G	27	90	120	4	8	80	6	41	41	K	33	110	110	3	17	13	102	9	51	51	L			
21	70	100	7				H			130	5	11	89	7	47	47	K			20											
		60		5			F			25			1		1	1	E			20											
		70		8			G			30			3		3	3	F			30											
		80		13			G			40			6		6	6	F			40											
		90		18			H			50			13		13	13	G			50											
		100		24			H			60			20		20	20	G			60											
		110		29			K			70			28		28	28	H			70											
		120		33			K			80			36		36	36	H			80											
		40		3			E			90			42		42	42	H			90											
		50		7			F			100			59		59	59	K			100											
		60		12			G			110			74		74	74	K			110											
		70		18			H			120			85		85	85	K			120											
24	80	80		25			H						96		96	96	L			39											
		90		32			H													40											
		100		38			K													20											
		110		47			K													30											
		120		61			K													40											
		30		3			E													50											
		40		8			F													60											
		50		13			G													70											
		60		21			G													80											
27	90	70		29			H													90											
		80		35			H																								
		90		41			K																								
		100		55			K																								

ACCELERATED DECOMPRESSION
MUST BE COMPLETED USING
75% OR GREATER OXYGEN

Copyright 1995 IANTD/IAND, Inc./
REPETITIVE DIVER, Inc.

⚠ Warning: DO NOT attempt to use these tables unless you are fully trained & certified in the use of gas mixtures other than air, or are under the supervision of a gas mixtures other than air instructor. Proper use of these tables will reduce the risk of decompression sickness & oxygen toxicity, but no table or computer can eliminate those risks.
Copyright © IANTD/IAND, Inc. 2000

Luftverbrauchsberechnung

Luftverbrauchsberechnungen in einigen Beispielen anhand von:

SCUBA; SCR; CCR

SCUBA = self contained underwater breathing apparatus, sprich: unsere normalen offene Systeme, auch Druckluft-Tauch-Gerät, genannt

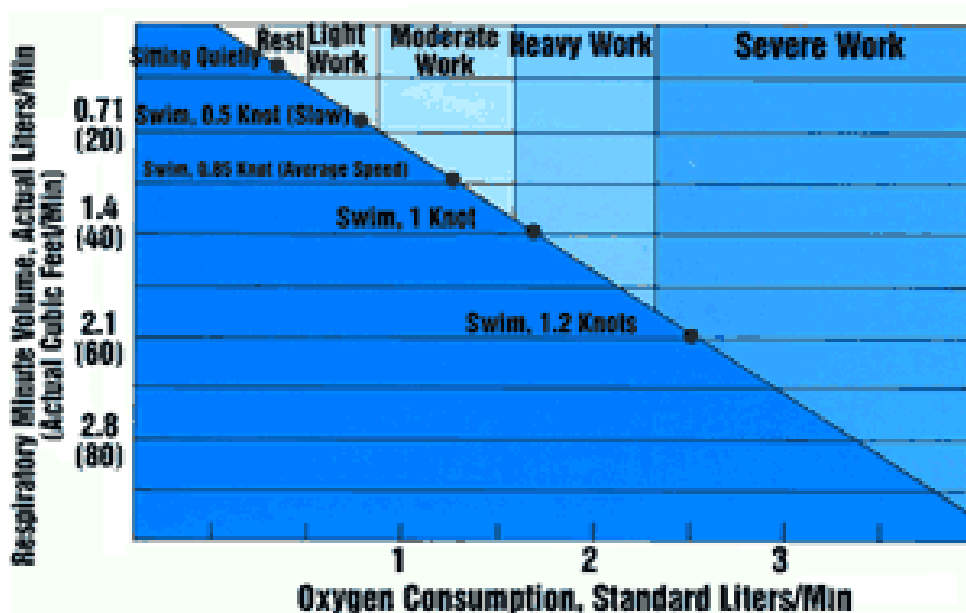
SCR = semi-closed circuit rebreather, ein halb-geschlossenes Kreislauf-Gerät

CCR = closed-circuit rebreather, ein komplett geschlossenes Kreislauf-Gerät

SCUBA

Nach [14], S. 3-10, gestaltet sich das AMV (Atemminutenvolumen) von ca.:

- 5 L/min: Ruhe,
- 17,5 L/min: Gehen,
- 52 L/min: Rennen,
- 62 L/min: Schwimmen



Für durchschnittliche Tauchaktivitäten setzt man an: AMV = 25 L/min (an der Oberfläche, also bei 1 Bar Umgebungsdruck) an. Folglich ist das AMV in 15 m Tiefe: $2,5 * 25 = 62,5$ L/min.

Bsp.: wie lange kann man mit einem vollen 10 L PTG einen 30 m TG machen? Es soll eine Sicherheitsreserve von 30 Bar bleiben!

- $10 * 200 = 2.000$ L Gesamt-Vorrat,
- Sicherheitsreserve: $10 * 170 = 1.700$ L stehen somit zur Verfügung
- 30 m \leftrightarrow 4 Bar, also AMV: $4 * 25 = 100$ L/min
- Tauchzeit: $1.700 / 100 = 17$ min. maximale Tauchzeit (nicht Grundzeit)

Für Genauigkeitsfanatiker: der Aufstieg kann noch hinzugerechnet werden. Hierbei unterstellen wir (wie auch die meisten Tauchcomputer) eine Aufstiegsgeschwindigkeit von max. 10 m/min. Also benötigen wir noch zusätzlich $30 / 10 = 3$ min. Da der Druckabfall bei diesem Aufstieg linear ist wegen der konstanten Aufstiegsgeschwindigkeit, begehen wir keine großen Fehler, wenn wir das

gleiche für das AMV annehmen. In 30 m Tiefe ist es $4 * 25 = 100$ l/min, in 20 m: 75 L/min., in 10 m: 50 L/min. Deshalb benötigen wir noch zusätzliche: $100 + 75 + 50 = 225$ L (allerhöchstens!!!) für den Aufstieg. Wer jetzt noch den Sicherheitsstopp berücksichtigt, muss folgendes rechnen:

3 m \leftrightarrow 1,3 Bar, Stopp für 3 min benötigt: $1,3 * 25 * 3 = 97,5$ L, also benötigen wir zusätzlich für Aufstieg + Sicherheitsstopp: $225 + 97,5 = 322,5$ L.

Da unsere Sicherheitsreserve $10 * 30 = 300$ L betragen soll, verkürzt sich unsere maximale Tauchzeit um ca. 4 Minuten:

$2000 - 300 = 1.700$, $1.700 - 322,5 = 1.377,5$ stehen somit zur Verfügung,
 $1.377,5 / 100 = 13,775$, abgerundet maximal 13 Minuten auf 30 m. Es handelt sich hierbei also noch um einen echten Nullzeit-TG.

Da wir aber immer in Richtung höhere Sicherheit rechnen und Luft nun wirklich das allerbilligste beim Tauchen ist: hier sollten wir nicht sparen, sondern lieber in Richtung Sicherheit gehen! Wer es ganz sicher haben will, der rechnet einfach die Zeit des Aufstiegs mit dem AMV auf der maximalen Tiefe! Dies ist nun wirklich die maximale Sicherheit, die wir einplanen können!

Weiteres Beispiel: PTG 12 L auf 190 Bar gefüllt, max. Tauchzeit an der JURA (=39 m)?

$190 - 30 = 160$ Bar, $160 * 12 = 1.920$ L zur Verfügung,
39 m \leftrightarrow 4,9 Bar, also AMV : $4,9 * 25 = 122,5$ L,
max. Tauchzeit: $1.920 / 122,5 = 15,67$, also 15 min.

Nach der DECO 2000 würde dieser TG (39 m / 15 min) aber die folgenden Deko-Stopps nachschieben: 6 m / 1 min und 3 m / 5 min. Ein Nullzeit TG (= 9 min.) könnte also mit diesem AMV und dem 12er PTG problemlos ausgeführt werden!

Was ist zu tun? Nun, realistischerweise ist ein JURA TG tatsächlich ein Deko-TG! Desweiteren sollte man im Bodensee einen Sicherheitszuschlag für kaltes Wasser in Rechnung stellen. Die Erfahrung bestätigt auch, dass man weder in 9 noch in 15 min einen sinnvollen JURA TG absolvieren kann. Folglich drehen wir den Spieß jetzt einfach um!

Für eine Umrundung des Wracks darf sich ein Taucher ca. 20 min. Zeit lassen: dann sieht er auch was. Zusätzlich kommen noch die $40 / 10 = 4$ min. für den Aufstieg hinzu. Dies addieren wir zur Grundzeit von 20 min! Desweiteren berücksichtigen wir die Kälte mit einem Sicherheitszuschlag von 3 m, d.h. wir schauen in der DECO 2000 Tabelle nicht bei 39 sondern bei 42 m! Wir finden (42 m / 25 min): 12m/1min, 9m/4min, 6m/8min, 3m/16 min. Folglich enden wir bei einem maximalen Luftverbrauch von:

$4,9 * 25 * 20 = 2.450$ L an der Jura (incl. Abstieg)
Aufstieg (mit max. Sicherheit gerechnet): $4,9 * 25 * 4 = 490$ L
Deko-Stopps: $2,2 * 25 * 1 = 55$ L, $1,9 * 25 * 4 = 190$ L, $1,6 * 25 * 8 = 320$ L, $1,3 * 25 * 16 = 520$ L, also: $55 + 190 + 320 + 520 = 1.085$ L, Summe wäre dann: $1.085 + 490 + 2.450 = 4.025$ L!

Folglich ist die Empfehlung: für Ab- & Aufstieg und den ersten Deko-Stopp auf 12 m: $2.450 + 490 + 55 = 2.995$ L ein PTG 15 L mit 200 Bar gefüllt, es ist dann noch eine kleine Sicherheitsreserve zum Aufstieg von 12 auf 9 m vorhanden, da ja die ca. 6 - 8 Minuten für den Ab- und den Aufstieg mit einem wesentlich geringeren Luftverbrauch einhergehen! Unter dem Tauchboot muss dann auf 9 m die erste Dekoflasche hängen, pro Taucher benötigt ihr ca. 1030 L. Ihr geht auf die sichere Seite, wenn die Deko-Flasche mit 50 oder 60 NITROX gefüllt ist! Wenn wir jetzt noch im Hinterkopf haben, dass dieser TG eigentlich nur für Advanced etc. Taucher sein sollte, die i.d.R. wesentlich weniger benötigen wie die zugrundegelegten 25 L Oberflächen-AMV, so sind wir vollends im grünen Bereich.

Die wirklich einfache Regel in der (altbewährten) Tauchpraxis lautet: Go this way, half tank, coming back! Das heißt ganz einfach: ihr taucht wo und wie ihr wollt, sobald der schwächste in der Gruppe, in diesem Falle der mit dem größten Luftverbrauch, bei ungefähr 50 % (normalerweise ca. 100 Bar, wenn die Flaschen vorher kalt auf 200 Bar gefüllt waren) angelangt ist, taucht ihr langsam Richtung Oberfläche und tretet geschlossen und diszipliniert den Heimweg an!

Im Klartext: entweder ihr habt Erfahrung (auch beim Gruppen-Führen) oder ihr müsst **penibel** sein!

SCR

Bei einem SCR mit Konstant-Dosierung gestaltet sich die Luftverbrauchsberechnung relativ einfach:

$$\text{Benötigtes Volumen} = \text{Dosierung (in L/min)} * \text{Tauchzeit (min)}$$

Und ist somit von der Tauch-Tiefe und der AMV unabhängig! Klartext: Sparatmung bringt uns hier nicht weiter! Normalerweise ist ein DOLPHIN® mit einer 4 L / 200 Bar NITROX Flasche ausgerüstet, also ist unser

$$\text{Gesamt-Vorrat: } 4 * 200 = 800 \text{ L ,}$$

da aber ein SCR nur bis zu 30 Bar Restdruck leergeatmet werden kann, darunter kann es Probleme mit der Konstantdosierung geben, reduziert sich unser

$$\text{Vorrat: } 4 * 170 = 680 \text{ L}$$

Bsp.: für ein DRÄGER Dolphin® mit einem NITROX 32: Dosierung 14,2 - 16,9 L/min, Tauchzeit 50 min, also

$$\text{Mindestverbrauch: } 14,2 * 50 = 710 \text{ L}$$

$$\text{Maximalverbrauch: } 16,9 * 50 = 845 \text{ L}$$

Bsp.: DRÄGER®Dolphin mit einem NITROX 60: Dosierung 5,1 - 6,4 L/min, Tauchzeit 2 h, also:

$$\text{Mindestverbrauch: } 5,1 * 120 = 612 \text{ L}$$

$$\text{Maximalverbrauch: } 6,4 * 120 = 768 \text{ L}$$

Die Tauchzeit für ein SCR ist darüber hinaus abhängig vom Volumen der Kalkpatrone: beim DRÄGER® Dolphin beträgt diese ca. 2 h – 3 h unter optimalen Bedingungen. Feuchter Atemkalk, schlechte Befüllung der Kalkpatrone bzw. kalte Umgebungstemperatur können diese sogenannte Standzeit noch wesentlich verkürzen.

Damit wollen wir es für die SCR bewenden lassen: den Rest an Theorie und wie man mit so einem Teil taucht lernt ihr im entsprechenden PADI Specialty im Tauchsportcenter ES.

CCR

Fast das Gleiche gilt auch für die CCR: mit dem Diluent wird eben die Gegenlunge gefüllt, da dieses Gas nicht verbraucht wird, ergibt sich der maximale Bedarf aus dem max. Umgebungsdruck (max. Tauchtiefe) * Gegenlungenvolumen, z.B.: 100 m Tiefe entsprechend 11 Bar * 3 L = 33 L Diluent, z.B. Helium. Wenn wir das verdoppeln sind wir auf jeden Fall auf der sicheren Seite. Der Verbrauch des Diluent (des Stickstoffs oder des Heliums) ergibt sich aus: Undichtigkeiten des Rebreathers, abblasen des Überdruck-Ventils, z.B. bei Aufstiegen, ausatmen durch die Nase, Maske ausblasen, spülen des Beutels ("purging") sowie der Absorption in den Körpergeweben des Tauchers. Der Sauerstoffverbrauch wird normalerweise mit 2 L/min angesetzt. Handelsübliche Sauerstoffflaschen haben Volumina zwischen 2 und 5 L.

Bsp.: 4 L / 200 Bar gefüllt mit reinem Sauerstoff ergibt einen Vorrat von $4 * 200 = 800$ L; dies bedeutet eine maximale Tauchzeit von $4 * (200 - 30) = 680$ L, $680 / 2 = 340$ min, das sind mehr als 5 h. Folglich wird die Tauchzeit bei einem CCR in der Regel durch die Standzeit der Kalkpatrone begrenzt! Oder aber durch logistische Überlegungen: Wärme, Essen & Trinken, Harndrang (oder haste nach 5 h schon amal in 'nen Trocki reingepieselt ? ...). Wer mehr darüber wissen will: auch für CCRs gibt es Spezialkurse!

Verfahren für sicheres Tauchen

Nach dem Studium dieses Kapitels könnt ihr folgende Verfahren beschreiben/erläutern/erklären:

Wie mache ich eine sichere TG Planung? Fliegen nach dem Tauchen

Symptome von DCS und AGE; Faktoren, die die Dekompressionskrankheit beeinflussen

Benutzung von "Luft"-Tauchcomputern für NITROX-TG; Der Tiefenrausch

Umgang mit Notfällen; Behandlungstabellen, Tipps aus der Praxis

Wie mache ich eine sichere **TG-Planung**?

Nun, indem ihr euch an das haltet, was ihr in euren diversen Tauchkursen (hoffentlich) gelernt habt. Dazu gehören:

Festlegung der Art und des Sinns des TG, Festlegung des Ziels, Ein- & Ausstiegsmöglichkeiten, UW-Kurs, Tiefe und Zeiten, Berechnung und Kontrolle des Luftvorrates;

Kontrolle der Ausrüstung, Luft etc., Informationen an Nichttaucher;

Kontrolle der Tauch- (Strömung, Wellen), Wetter- (Temperatur, Gewitter) und Umweltbedingungen (Fischernetze, Surfer), Kontrolle des Tauchpartners (Zeichen, Ausrüstung), Verfahren bei Notfällen, Verfahren um UW zusammenzubleiben;

Die Ausrüstung sowie die Fähigkeiten und Kenntnisse des Tauchteams müssen den jeweiligen Tauch- und Umweltbedingungen angepasst sein! Diese solltet ihr kritisch prüfen können. Insbesondere sollte die Tiefe des geplanten Tauchganges eure bisherigen Ausbildungs- oder "Wohlfühl"-Tiefen nicht überschreiten. Der beste Plan nützt jedoch nichts, wenn ihr euch nicht dran haltet! Zu diesem Thema noch die alte **PADI/SSI Weisheit**:

Plan the Dive and dive the Plan!

Plant ihr lange „Nullzeit TG“, so solltet ihr zusätzlich zu den empfohlenen / üblichen Sicherheitsstopps das Austauschmuster mit einplanen:

Austauschmuster: ca. 1 min / 12 m , 1 min / 9 m, 4 min / 6m, ad libitum / 3m ...

Symptome von **DCS** und **AGE**:

Die schlimmsten Sachen, zum Glück aber auch die seltensten; DCS = Decompressionsickness, unsere gute alte Deko-Krankheit, auch Caisson-Krankheit genannt und AGE = Arterielle Gasembolie. Warum werden die beiden immer gemeinsam erwähnt: nun, weil die Symptome relativ ähnlich sind und diese Arten von Tauchunfällen sehr schwer zu unterscheiden sind und weil sie letzten Endes fast gleich behandelt werden: so schnell wie es geht reinen Sauerstoff verabreichen und ab in die Kammer (=Deko-Kammer, Rekompersionskammer).

Symptome von DCS: es werden üblicherweise 2 Arten von DCS unterschieden, DCS I und DCS II, je nachdem, ob auch zerebrale Bereiche (das Gehirn oder das zentrale Nervensystem) direkt befallen sind ([4], S.49 ff.).

DCS I:

Schmerzen, Schwellungen, Rötungen und Marmorierung an: Haut (Taucherflöhe), Muskeln, Knochen und Gelenken (BENDS) wobei bei ca. 50% der Fälle die Kniegelenke betroffen waren ([5], S. 36), ganz starkes Müdigkeitsgefühl, "Muskelkater";

DCS II:

Schmerzen und Schwierigkeiten beim Atmen (CHOKES), Erbrechen, Leib- & Darm-Schmerzen, Probleme beim Urinieren, Koordinationsverlust, Schwindel, Verwirrung, Kopfschmerzen, Lähmungserscheinungen, Probleme beim Sehen, Sprechen und Hören, Bewußtlosigkeit, Atemstillstand;

AGE:

Symptome wie DCS II, zusätzlich aber noch Zyanose (Blaufärbung), Schaum vor dem Mund, Emphyse im Mediastinal- oder Halsbereich. Hierbei wird durch das über einen Lungenriß austretende Gas die Haut in diesen Bereichen aufgebläht und fühlt sich "knisternd" an. Die für den medizinischen Laien fast einzige Unterscheidungsmöglichkeit ist die Zeit bis zum Einsetzen der Symptome: die Gasembolien treten normalerweise sofort nach dem Auftauchen, im Extremfall noch kurz unter der Wasseroberfläche ([5], S.31 - 41) auf.

Fliegen nach dem Tauchen:

Hier wollen wir uns an die allgemeine Empfehlung der UHMS halten: mindestens 24 h warten nach dem Tauchen! Auch wenn der Tauchcomputer eine kürzere "time-to-flight" angibt: es ist immer sicherer, etwas länger zu warten. Ihr gebt eurem Körper Gelegenheit, ohne Stress den Stickstoff "rauszulassen"! Es gibt (siehe nächster Abschnitt) geradezu eine Unzahl von Faktoren, die deine Anfälligkeit für eine Deko-Krankheit (DCS) vergrößern. Dazu zählen unter anderem: etwas zuviel Alkohol (gerade im Flieger, wo es so manchen Drink umsonst gibt ...) und auch die Dehydrierung (die Luft im Flieger ist, genauso wie die Kompressorluft, gut getrocknet ...). Davon mehr im nächsten Abschnitt!

Faktoren, die die Dekompressionskrankheit beeinflussen:

Wir wollen diese Faktoren zur leichteren Übersicht in Gruppen einteilen: physische Konstitution, objektive Verhältnisse und subjektive Verhältnisse:

physische Konstitution:

- Allgemein Zustand, Anteil Fettgewebe (& Geschlecht), Krankheit & Verletzungen (Durchblutung, Blutverlust) & Medikamente
- Kondition und Alter (Lungenventilierung, Raucher!)
- Luftverbrauch und Kohlendioxid (Sparatmung, defekter Automat)

objektive Verhältnisse:

- Temperatur (Wasser, Anzug)
 - Strömung
 - körperliche Tätigkeit
 - Nikotin, Alkohol vor, zwischen und nach den TG
 - Dehydrierung: Kompressorluft, Alkohol vom Vorabend, Tee, Kaffee oder Fitness-Getränke, Seekrankheit, Schwitzen, Durchfall, starker Harndrang durch einen vorangegangenen Tauchgang, mangelndes Trinken von Mineralwasser
 - Jo-Jo TG
 - "reversed profiles", also tiefster TG zuletzt
 - viele Wdh.-TG ("non-limit", Tauchsafari)
 - Mißachtung von Sicherheits- / Deko- Stopps
 - tiefe TG / lange TG
 - Fliegen nach dem Tauchen
-

- tiefe/lange Apnoe-TG/Freitauchen mit schnellen Aufstiegen nach langen Nullzeit-TG!!!
- schnelle Aufstiege
- kurze OFP
- Tiefenmesser / Tauchcomputer mit falschen Werten

subjektive Verhältnisse:

- Tagesform
- Einstellung zum Tauchen / zur Dekompression, Ausbildungsstand
- subjektive Anpassung (Tiefenrausch, Angst)
- allgem. psych. Zustand (Ausgeglichenheit, Vertrautheit mit der Ausrüstung)
- vorheriger Stress / Aufregung / Aufgaben unter Wasser
- vorbereitende geistige Einstellung auf den TG!

Normalerweise, wie Murphy schon immer sagte, wirken die Faktoren so, dass es nur noch schlimmer werden kann! Am Alter und unserem Geschlecht können wir relativ wenig ändern, wohl aber an unserer körperlichen Fitness (regelmäßig trainieren), am Alkohol- und Nikotinpegel (weglassen!) sowie an unserm Wasserpegel (ausreichend trinken: Mineralwasser, Säfte etc.). Da aber auch Stress, d.h. die Freisetzung von Stresshormonen unsere Anfälligkeit für einen Deko-Hit (DCS) erhöhen, sollten wir Dinge wie Hektik, Unruhe oder Überforderung und Gruppenzwang vermeiden. Durch eine ständige taucherische Übung bzw. Weiterbildung können wir das Selbstvertrauen in unsere Ausrüstung und unsere taucherischen Fähigkeiten festigen und werden so immuner gegen solche Stressfaktoren bzw. können wir das Auftreten derartiger Situationen früher erkennen (auch beim Tauchpartner) und früher adäquat handeln! Darüberhinaus sollten wir uns an das halten, was wir (lang, lang ist's her ...) in unserem Anfängertauchkurs gelernt hatten: Zeit- und Tiefengrenzen einhalten, langsam austauchen, Sicherheitsstopps machen, tiefster TG zuerst. Dazu kommt noch: Ausrüstung sorgfältig checken (selbstverständlich auch die von deinem Tauchpartner!), Luftvorrat prüfen (langt der für den geplanten TG?), UW-Zeichen wiederholen, dies vor allem mit unbekanntem Tauchpartnern, Absprache was zu tun ist bei Notfällen und bei Verlust des Tauchpartners. Die Ausrüstung muss den Tauchbedingungen angepasst sein: Deko-Flaschen etc. bei langen/tiefen TG, Strömungsleine am Boot, genügend Licht bei Nacht-TG, zweiter unabhängiger Automat bei kalten oder Eis-TG, usw. usw. ...Kontrolliert abtauchen, auf die Natur und eine ständig neutrale Trierung achten, den Fini, den Tauchcomputer und den oder die Tauchpartner: nicht aus den Augen lassen. Wenn ihr dann noch den Mut aufbringt, **nicht** tauchen zu gehen, falls die Tauchbedingungen schlecht sind oder eure Kenntnisse und Fertigkeiten übersteigen oder ihr euch einfach nicht wohl fühlt, dann seid ihr auf der richtigen Seite!

Benutzung von "Luft"-Tauchcomputern für NITROX-TG:

Wenn normale Luftcomputer für einen NITROX TG benutzt werden, so gibt es eigentlich gar kein Problem. Der Computer berechnet dir lediglich eine höhere Stickstoff-Sättigung. Wenn du dich an die Austauschvorschriften hältst, bist du somit immer auf der sicheren Seite, da du ja weniger Stickstoff im Körper hast. Dieses Verfahren hat natürlich einen Nachteil: die verlängerten NDLS bzw. verkürzten Deko-Zeiten kannst du so natürlich nicht auskosten. Dafür hast du eben das verstärkte Sicherheitspolster! Lediglich deine Sauerstoff Belastungen mußt du über ein Kastenprofil (tiefste Tiefe, komplette Tauchzeit) von Hand nachrechnen und kontrollieren!

Kontrolle des Tauchcomputers:

Vergleiche ab- & zu aktuelle Tiefe und Rest-Nullzeiten (oder Deko-Zeiten) mit den anderen Computern aus eurer Gruppe. Insbesondere, bei langen TG, wenn die Dinger meinen, ihr seid noch in der Nullzeit: tut noch ein bisschen langsam beim Aufstieg und legt Sicherheitsstopps ein (oder taucht unserem berühmten Austauschmuster nach ...)

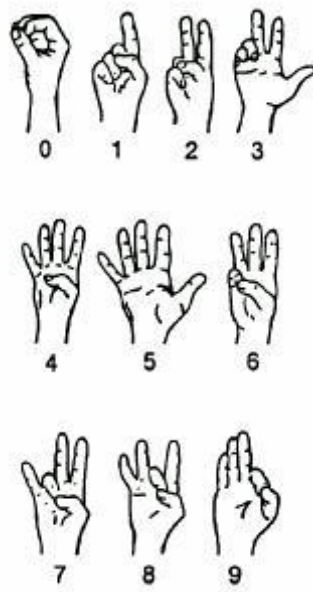
Noch eine allgemeine Bemerkung zu den obengenannten Punkten: es gibt immer wieder Leute, meistens sogenannte "alte Hasen" die euch suggerieren wollen, dass das alles unnötiges Zeug sei, dass nur Weicheier so tauchen usw. Da gibt's nur eines: ruhig bleiben! Nur um damit protzen zu können, ein paar Minuten früher aus dem Wasser gewesen zu sein, würde ich es nicht riskieren, für den Rest des Lebens im Rollstuhl zu sitzen!

Der Tiefenrausch:

Auch Stickstoffnarkose genannt: beginnt bei Druckluft so ab. ca. 30 m Tiefe, je nachdem, wie ihr "draufseid".

Symptome: wie ein Alkohol-Rausch, ihr verliert eure Konzentrations-, Koordinations- und Kritikfähigkeit, werdet euphorisch und leichtsinnig. Beginnt oft mit Summen im Ohr, Farben- oder Tunnelsehen, Kopfweh, metallischer Geschmack im Mund. Vermeidung: entweder nicht so tief tauchen oder aber das Gemisch der Tiefe entsprechend anpassen: siehe auch "Best Mix". Und wenns euch erwischt hat: dem Partner eindeutige Zeichen geben und gemeinsam sofort mehrere Meter höher gehen! Mehr darüber im PADI Specialty DEEP DIVER im TSCEs.

Noch ein Tipp zum tiefer tauchen: da sich bei den meisten Tauchern das O.K. Zeichen irgendwie in die tieferen Hirnwindungen eingebrannt hat, werden diese auch O.K. signalisieren, wenn sie schon halb im Tiefenrausch sind. Bret Gilliam hat ein Verfahren eingeführt (in [11], S. 116) mit dem ihr euch gegenseitig kontrollieren könnt. Nach dem Austausch von den allfälligen O.K. Signalen beginnt einer (im Zweifel DU, denn dein Tauchpartner hats vielleicht schon vergessen!) mit einer Hand irgendeine Zahl zu signalisieren, der Tauchpartner muss antworten, indem er diese Zahl um genau eins ("1") erhöht. Bsp.: du signalisierst mit 3 Fingern eine "3", also muss das korrekte Signal deines Partners "4" Finger bedeuten. Dieses Verfahren müsst ihr natürlich vor dem TG besprechen (Wenn Du deinen Buddy ärgern willst, gibst du ihm eine „5“, er muss dann beide Hände nehmen um mit der „6“ zu antworten , [oder aber Ihr habt euch vorher z.B. auf das Einhand-System der U.S. Navy geeinigt, siehe das Bildchen] ...).



Umgang mit Notfällen:

Zunächst gilt bei Notfällen mit NITROX genau das gleiche wie bei anderen Notfällen mit Druckluft! Also: RESCUE Diver wiederholen! Im Klartext: auch NITROX Taucher werden an der Oberfläche sofort mit reinem Sauerstoff versorgt wenn ein Verdacht auf Lungenüberdruck- oder Dekompressionsunfall vorliegt. Lediglich das Behandlungspersonal der Druckkammer ist auf das vorher eingeatmete Gemisch hinzuweisen.

Krampft ein Taucher unter Wasser wegen einer Sauerstoffvergiftung, so ist er genauso wie ein anderer Taucher sofort an die Oberfläche zu bringen. Auch hier sind wieder die üblichen Vorschriften beim Austauschen einzuhalten und die Beatmung hat sofort an der Oberfläche zu beginnen, falls der Taucher nicht selbständig atmet (siehe RESCUE Diver Kurs!).

Druckkammer-Behandlungstabelle wir wollen noch einen Blick auf die Behandlungstabellen für Dekompressionsunfälle werfen ([14], 8-46). Für diese hier ausgewählte Tabelle 6A (es gibt deren ca. 9 verschiedene bei der USN) gelten folgende Bedingungen: blowup from greater than 60 ft.: bedeutet explosive Dekompression aus einer Tiefe von größer als 20 m. Der Patient sollte sofort komprimiert werden können, 165 ft (54 m) für 30 min., dann wird er stufenweise hochgefahren (siehe Tabelle) und ab 60 ft. (19 m) mit 100 % Sauerstoff versorgt (dunkelgrüne (=schattiert dargestellte) Behandlungsintervalle), dazwischen liegen immer 5 minütige sogenannte Luftpausen wegen der Gefahr der ZNS Toxizität. Behandlungsende frühestens nach 319 min., nach Adam Riese 5 Stunden und 19 Minuten. Wenn diese Behandlung keinen Erfolg zeitigt, kann nach Rücksprache mit dem Tauchmedizinischen Offizier die Behandlung mit der Tabelle 4 fortgesetzt werden.

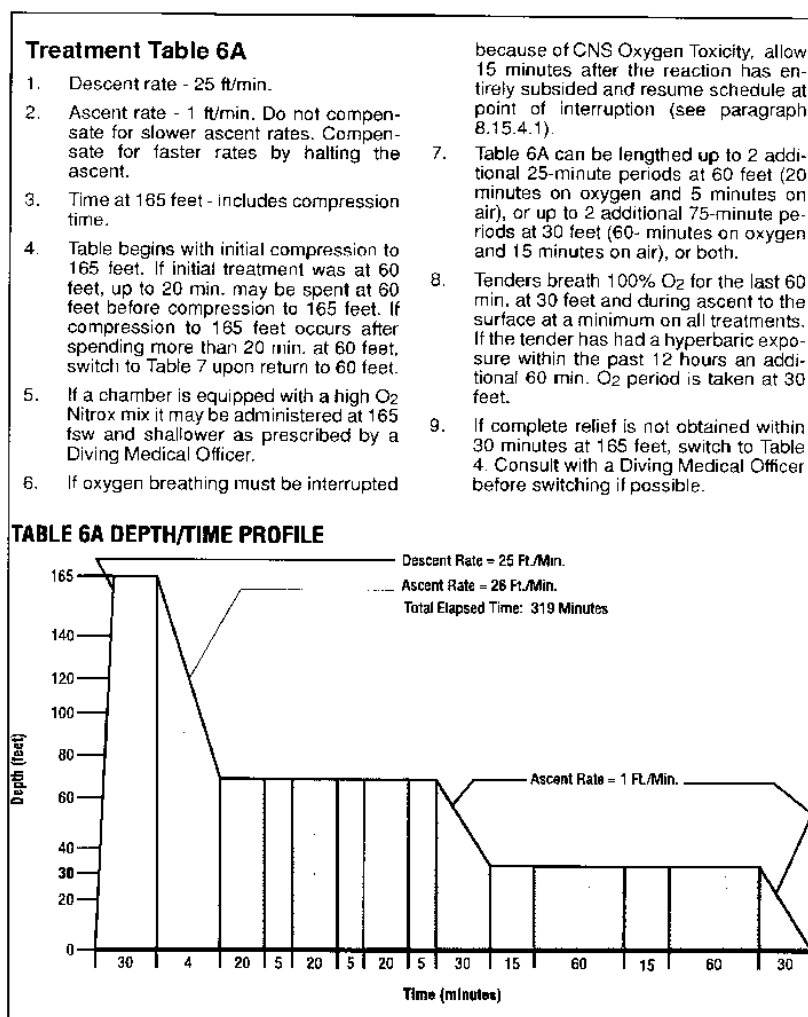


Figure 8-7. treatment Table 6A.

Wer sich für die technischen und organisatorischen Details von Druckkammern interessiert sowie auch einmal ALLE Behandlungstabellen in Augenschein nehmen will, dem sei ein neues PADI Specialty "Decompression Chamber Procedures" anempfohlen; Detail-Infos dazu hier:

https://www.divetable.info/Flyer/DC_Flyer.pdf

Tipps aus der Praxis

die meisten Tauch-Ausbildungsorganisationen sind dazu übergegangen, Nitrox / EAN als sogenannte "**non diving**" **Specialty** anzubieten. D.h. der Spezialkurs umfasst dann die Theorie und die Tauchgangsplanung, incl. Gasanalyse, aber die Freiwasser-TG sind meist optional. Auch die ganze Theorie wurde im Laufe der letzten 20 Jahre reduziert: MOD, EAD & Ox-Tox Berechnungen werden i.d.R. nur kurz erwähnt, aber nichtmehr geprüft. Ebenso wird die Benutzung von Tauchtabellen ausgespart und auf den Tauchcomputer verwiesen.

Füll-Logs:

sterben ganz langsam aus; an manchen Tauchbasen, besonders auf Safari-Schiffen, bekommst du die Flasche schon "fertig vorgerichtet", incl. Analyse, überreicht.

Nitrox-for-free:

ist so um 2002 entstanden. Ernsthafte Tauchbasen bieten Druckluft, EAN32 oder EAN36 zum genau gleichen Preis an.

eigener Analyzer:

nachdem die Preise jährlich sinken, kostet 2007 ein einfacher O₂-Analyzer zum direkten Anschluß an den Inflator, ohne Ein-/Ausschalter noch ca. 50 Euro. Das Ding hält euch dann ca. 3 Jahre.

Schnüffel-Analyse:

Die in den meisten Nitrox-Manuals beschriebene Analyse-Prozedur im geschlossenen Kreislauf mit Gas-Drossel und Durchfluß-Messgerät wird im industriellen Umfeld benutzt und kann sehr genau sein, wird aber in Praxis so nicht angewandt, da zu viele Komponenten und damit teuer, zu aufwendig, zu langsam für den Sporttaucher. Im Praxisteil der meisten Kurse lernt ihr die einfache „Schnüffel-Analyse“, so wie weiter oben skizziert: Flaschenventil ein bisschen auf, kalibrierten Analyzer ran... Das war's!

Nachkommastellen:

die meisten Analyzer täuschen über Nachkommastellen im Display eine Genauigkeit vor, die garnicht realistisch ist (wie eben die meisten digitalen Displays) ... Normalerweise findet man ganz hinten im Handbuch des Analyzers die technische Spezifikation. Die ca. Genauigkeit von +/- 2 % kann nur eingehalten werden, wenn die anderen Korrekturfaktoren (wie absoluter Umgebungsdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Abwesenheit vom Fremdgasen, etc.) genau berücksichtigt würden. Das macht aber niemand beim Tauchen. Also: vergeßt die Nachkommastellen!!!

MOD:

wenn jetzt noch der Messfehler des Tauchcomputers in Betracht gezogen wird, ist es letztenendes egal, ob du deine MOD mit 33 oder 31 m berechnet hast ...

%CNS:

und damit ist es auch ziemlich egal, ob du bei 95 oder 100 %CNS ist. Beim realen Tauchen handelt es sich somit um (fast) nicht-unterscheidbare Werte ...

Grenzwerte:

genau aus diesem Grunde haben einige Organisationen folgende pragmatische Empfehlungen zur Vereinfachung des Verfahrens herausgegeben: bleibt gut unter 1,4 Bar, bleibt bei 80 bis max. 90 % der Limits (MOD, max. Tauchzeit). Damit ist man automatisch in einem relativ sicheren Bereich und spart sich jede Menge Rechnerei. Die OTU-Kontrollrechnung entfällt dann sowieso!

Sicherheit:

einfach deinen Nitrox Computer auf "Luft" eingestellt lassen. Damit ergibt sich automatisch ein maximales Sicherheitspolster bezüglich der Stickstoffsättigung. Wenn du jetzt noch bei langen "Nullzeit"-TG unserem "Austauchmuster" nachtauchst (1'/12m, 2'/9m, 4'/6m + 3m übliche Sicherheits-Stopps ..), bist du eigentlich gegen (fast) jede Unwägbarkeit gewappnet! Genügend Atemgas & Wärmeschutz vorausgesetzt!

%CNS:

kannst du einfach von Hand abschätzen: mit der größten Tiefe deines TG und der gesamten Tauchzeit gehst du in die %CNS Tabelle. Damit hast du die max. %CNS Dosis abgeschätzt. Diese ist bei Weitem größer, als die Dosis die du tatsächlich abgekriegt hast. Auch hier sind wir damit auch der sichereren Seite.

Oder (nachdem Computer ja auch immer billiger werden): tauch' einfach mit 2 Computern: einen läßt du standardmäßig auf Luft, den anderen stellst du auf das analysierte Gemisch +1 oder +2 % mehr ein. Damit hast du auch die back-up Frage nach dem Computer gelöst und auch die Ungenauigkeiten des O₂-Analyzers gleich berücksichtigt! Austauschen geschieht am Besten gemäß der Anzeige des Luftcomputers.

Ox-Tox:

die Variabilität bei Sauerstoff-Empfindlichkeit diskutieren wir sehr genau im "[deco workshop](#)", genauso wie "Luftpausen" und "O₂ Deko": komm doch einfach amal vorbei (Voraussetzung zur Teilnahme ist allerdings ein absolvierter "Dive Table" Kurs, oder ein ähnlicher Kurs aus einer vernünftigen TEC Ausbildung).

Zu dieser ganzen Rechnerei mit %ZNS- & OTU-Dosen etc. gibt es eine kernige Feststellung vom großen Meister (B. Hamilton) selber: „There is no experimental basis for this!“

Ox-Tox, die zwote:

Seit ca. 2010 gibt es die sog. „k values“, die K-Indices zur CNS-OT und P-OT Dosisberechnung, als Alternative zu den USN/NOAA OxTox Berechnungen. Details weiter oben, im entsprechenden Kapitelchen. Die physiologischen & mathematischen Hintergründe werden genauestens im „deco workshop“ analysiert. Unterstützung zur TG-Planung ist in „[DIVE](#)“, bereits ab Version D3 07 von 2019, implementiert. Quellen & allgemeine Infos sind da aufgelistet:

An agile implementation of the "K-Value" severity index for cns- and pulmonary oxygen toxicity (CNS-OT & P-OT); <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17583.87205>

Seit 2024 ist in der 6. Version des NDTT Manuals (Norwegian Diving- and Treatment Tables) eine weitere Alternative hinterlegt: die „ESOT“: (equivalent surface oxygen time): Details dazu und Beispiele im entsprechenden Kapitel dieses Manuals: <https://www.divetable.eu/219.pdf>

80 oder 100 % O₂?

Die Frage ob nun 20 % Rest-Stickstoff oder 0% (und damit 100 % O₂) der bessere Deko-Mix ist, wird i.d.R. dogmatisch d.h. unsachlich bzw. mit Verbands-Scheuklappen, diskutiert. Tatsache ist einfach folgendes (vom Meßfehler der Tiefe oder des Analyzers amal grosszügig abgesehen!):

liegen in einer Tiefe von 6 m (reale 6 m in Süßwasser!) 100 % O₂ (echte 100 %!, nicht nur gemessen) an, so herrscht ein pO₂ von ca. 1,6 Bar: an deiner 2.Stufe! Und zwar nur dort!

Bereits auf dem Weg durch den Nasen-Rachenraum sinkt der pO₂ durch den dort vorhandenen Wasserdampf. Das geht so weiter auf dem ganzen Weg durch die Luftröhre, den Bronchien bis zu den Alveolen. Dort sinkt der pO₂ noch weiter durch das Kohlendioxid und den Stickstoff in der Ausatemluft. Bedingt durch das endliche Atemzugvolumen und das ziemlich variable Verhältnis von Atemzugvolumen zu Vitalkapazität und dem Vorhandensein von ca. 20 % Totvolumen herrscht in der Lunge immer ein Nebeneinander von frischer und verbrauchter Atemluft. Letztendes sinkt der wirksame pO₂ auf ca. 80 % des Startwertes während den ca. ersten paar (1 -3) Minuten eines jeden Gaswechsels (hängt vom Atemzugvolumen und der Atemfrequenz ab).

Air-Break bzw. O₂-Korrektur-Faktoren:

diskutieren wir auch ausführlich im "deco workshop". Aber hier an dieser Stelle so viel: O₂ wirkt nach ca. 10 - 15 min. als sogenannter "Vasoconstrictor" (Gefäßverengung), des Weiteren wird eine "Bradycardie" (Herzschlagverlangsamung) herbeigeführt. Beide Effekte bedingen eine langsamere Inertgasentsättigung als es rein rechnerisch, nur auf Grund der Partialdruckdifferenzen der Fall wäre. Die meisten Organisationen empfehlen deshalb nach ca. (10,15 ->) 20, spätestens jedoch nach 30 min. O₂ Atmung eine Pause einzulegen. Hierbei wird für ca. (2 ->) 5 (bis 10) min normale Druckluft geatmet. Diese Air-Breaks zählen aber nicht zu den geforderten Stoppzeiten, es sind zusätzliche Stopps!

Vereinfachtes Sauerstoff-Management:

So ab ca. 2010 hat sich folgendes durchgesetzt, um sich die (ZNS)-Rechnerei im Bereich der einfachen Sporttauchgänge (recreational EANx) zu schenken:

EAN 30
< 30 m
3 * 60 min

Soll heißen: bleib' mit irgendeinem Standard-EAN (EAN32) flacher als 30 m und bleib' nicht länger als 3 * 60 min im Wasser: damit bist du automatisch weit, weit weg von irgendeiner Ox-Tox 80 %-Grenze.

Dieses vereinfachte Sauerstoff-Management hat sich zwischenzeitlich auch in allen EAN / Nitrox-Kursen durchgesetzt: die NOAA Grenzwerte werden kurz erklärt: und das war's dann schon auch. Üblicherweise wird diese ganze Rechnerei nichtmehr durchgeführt auch nichtmehr geprüft. Wer das haben will, darf jetzt in TEC-Kurse dazu einsteigen, also „Advanced“ oder „Extended“ Nitrox.

Deko Flaschen (Stage/Deco Tanks):

für die Gaswechsel z.B. auf fette EAN Gemische oder EAN99 und um dem zusätzlichen Atemgasbedarf während längerer Deko-Pausen Rechnung zu tragen; werden mittels V2A Gleitstift-Karabinern an dem Schulter- und dem Hüft-D-Ring des Jackets / Harness eingehakt. Die Flaschen sollten beschriftet sein mit: Gasart, O₂ Anteil, MOD und Name des Tauchers:



Am lebenden Taucher kann das so aussehen:



ALBI mit TRIMIX an der Fähre / Bodensee:

Back-Gas Trimix mit Doppel-12er, links 10 l EAN50, rechts 7 l EAN99 (wenn ihr genau hinschaut seht ihr auch die 2 Mischgascomputer: links VR3, rechts Cochran EMC-20 H)

deep stop / tiefe Stopps:

seit ca. 2005 von UHMS & DAN empfohlen; tiefste Tiefe des TG beim Aufstieg halbieren, dort einen zusätzlichen Stopp von 1 – 3 min einlegen, zusätzlich zu den üblichen Sicherheitstopps bei NDL TG (oder aber: unserem Austauschmuster nachtauchen). Sind beim TG bereits Deko-Stopps verpflichtend, dann die Strecke von der tiefsten Tiefe zum tiefsten, vom Computer angezeigten oder mit der Tabelle berechneten Deko-Stopp halbieren.

und hierzu noch ein update per 2013:

Die meisten Ausbildungsorganisationen haben zwischenzeitlich eingesehen, dass ein 1 min Stopp relativ wenig bringt, da der cardiale Durchsatz (Blutvolumenstrom aus dem Herzen) mindestens 60 bis 90 sec benötigt für einen kompletten Durchgang. Also: 2 min sind besser! (Abgesehen davon können die wenigsten Taucher diese eine Minute präzise einhalten ...)

und hierzu nochmal ein update 2018:

zwischenzeitlich gibt es genügend statistisch belastbare Untersuchungen (viele Taucher & viele TG). Deren Ergebnisse: für viele Profile, insbesondere für relativ kurze TG (< 30 min) und / oder flacher 30 m bringen „deep stop“ nichts (Copernicus Projekt).

Eine aussagekräftige Studie der USN / NEDU zeigt sehr deutlich, daß mit tiefen Stopps sogar die Anzahl an DCS zugenommen hat (NEDU Report: NEDU TR 11-06 July 2011, REDISTRIBUTION OF DECOMPRESSION STOP TIME FROM SHALLOW TO DEEP STOPS INCREASES INCIDENCE OF DECOMPRESSION SICKNESS IN AIR DECOMPRESSION DIVES. Navy Experimental Diving Unit, Authors: DAVID J. DOOLETTE, WAYNE A. GERTH, KEITH A. GAULT.)

Desktop Deco Software:

Wie schon in dem entsprechenden Kapitel erwähnt, gibt es da ziemlich viel, was im Internet kreucht & fleucht. Egal, ob die Software teures Geld kostet oder Free-/Shareware ist: ein gesundes Mißtrauen ist angebracht: siehe auch die Bemerkung weiter oben im zugehörigen Kapitel. Unser privater Tipp zur Qualitätskontrolle: der berühmt-berüchtigte Test-TG zur „JURA“ (42 m, 20 – 25 min, oder so) sollte mit den „default“ Werten zumindest eine ähnliche Deko-Prognose bieten wie die DECO 2000. Sind die Werte stark abweichend und ihr wollt trotzdem danach austauschen, so solltet ihr euch bewußt sein, dass ihr experimentelle Dekompressionsforschung betreibt: und zwar mit EUCH SELBER ALS VERSUCHSKANINCHEN.

Tauchcomputer

Als das Nitrox Manual im Entstehen war, mußte man für die Sauerstoff-Leistungsmerkmale teure Aufpreise bezahlen. Da auch damals die Hardware ziemlich unzuverlässig war, haben wir bei unseren Tauchexperimenten diese Dinger immer im Dreier-Pack gebraucht!

Das ist heute zum Glück dramatisch anders: diese Dinger sind ziemlich preiswert geworden bei gleichzeitiger Steigerung der Zuverlässigkeit und Senkung des Energiehungers. Geräte so um die 150 € (Stand 2015) können i.d.R. mindestens 2 Mischgase; fO₂ sind in 1%-Schritten von 20 bis 99 %, pO_{2max} in 0,1 Bar Schritten von 0,5 bis (meistens) 1,6 Bar am Gerät einstellbar. Eine einfache, vom Taucher selber auswechselbare, Li-Batterie hält bei durchschnittlichem Tauchbetrieb ca. 3 Jahre.

Index

%

%CNS 20
%ZNS 20

4

40 % Regel 57

A

accelerated deco 1, 68
accelerated decompression 67
AGE 81
Air-Break 88
AMV 78
Analyst 72
Analyzer 47
ANDI Israel 104
Argon 56
Atemminutenvolumen 78
Austauchmuster 81, 83, 87
Automat 55

B

Behandlungstabelle 85
beschleunigte Dekompression 67, 68
Best MIX 36
BS-AC 10

C

CCR 68, 80
CENT A DIVE 16
CNS-OT 29
Cochran 68, 72
conservatism factor 72
contingency planning 19, 36
CSU 1

D

Dalton 12
DCIEM 59
DCS 81
DECO 2000 35
DECO 92 66
deep stop 90
Deko Flaschen 88, 89
Dekompressionskrankheit 6
Desktop Deco Software 72
diluent 9
DOLPHIN® 80
Dosis 27
Druckkammer 85

E

EAD 35
EAN 9
EAN32 101
EAN36 101
EANx 9
enriched Air 9
Equivalent Air Depth 35
ESOT 88

F

Feuerdreieck 41
Flaschenkennzeichnung 49
Flaschenventil 56
Füll-Log 51
Füllmethoden 45

G

G 5/8 42
Gas-Blender 46, 55
GGVS 51

H

Halocarbon 55
HBO 18
HD 55
HELIOX 9
Helium 37
Hit 14
HWZ 27
HYDROX 9
hyperbare Oxygenation 18
Hypercapnie 16
Hyperoxie 17
Hypoxie 17

I

Inflator 56
isobare Gegendiffusion 56

J

Jacket 56
JURA 13, 24, 79

K

Kalibrierung 48
Kohlendioxid 15
Kohlendioxidvergiftung 16
Korrekturtabellen 52
K-Wert 29

L

Lorrain Smith 14
LSU 1

M

M 24 x 2 42
Maximum Operation Depth 35
Mindest-OPF 20
MiniOX I 47
MOD 35, 86

N

Nachkommastellen 86
NOAA Tabelle 66
ND 55
NDL 10
NDTT 88
NITROX 9
NITROX Computer 56
NITROX-pure® 9
NN32 8, 10, 11, 101
NN36 8, 10, 11, 101
NOAA 11
NOAA I 8, 11
NOAA II 8, 11
No-Decompression-Limit 10
Nomogramme 38
Nullzeit 9

O

OCA 46
OPF 20, 24
OTU 22, 87
oxygen compatible air 46
Oxygen Tolerance Unit 22

P

Partialdruck 12
Paul Bert 14
Pendelatmung 16
P-OT 29
PSA 46
Pulmonale Sauerstoffvergiftung 14

R

RDP 60
RDP EANx 32 64
RDP EANx 36 65

Rebreather 7
REPEX 22
RGBM 8, 101
Rückschlagventil 46
run-time slates 68

S

SafeAir® 9
Sauerstoffkompatibel 55
Sauerstofffrei 55
Sauerstoff-Service 55
Sauerstoffvergiftung 14
Sauerstoffverträglichkeit 54
SCR 80
SCUBA 78
SI Einheit 27
Strömungsgeschwindigkeit 46

T

TG-Planung 81
Tiefenrausch 6, 84
TRG 51
TRIMIX 9, 37
Trockentauchanzug 56

U

U.S. Navy 84
UHMS 82
Unit of Pulmonary Toxic Dose 22
UPTD 22
UVV 51

V

Verlängerung der NDL 11
Verpuffung 44
VERSUS 16
Vitalkapazität 24
VITON 55
Vollgesichtsmaske 7, 56
Vollgesichtsmaske 28

W

Wdh-Gr 67

Z

ZNS Dosis 20
ZNS Sauerstoffvergiftung 14

Die NOAA Tabellen NN32 und NN36 (expanded) (gültig bis 2013)

NOAA NITROX **32** DECOMPRESSION DIVE TABLE

DEPTH fsw (msw)	PO ₂ (atm)	BOTTOM TIME (min)	TIME TO FIRST STOP (min:sec)	DECOMPRESSION STOPS				TOTAL ASCENT TIME (min:sec)	REPETITIVE GROUP LETTER
				40	30	20	10		
				(fsw)					
50 (13)	0.9	200					0	1:40	*
		210	1:20				2	3:40	N
		230	1:20				7	8:40	N
		250	1:20				11	12:40	O
		270	1:20				15	16:40	O
60 (18)	1.0	100					0	2:00	*
		110	1:40				3	5:00	L
		120	1:40				5	7:00	M
		140	1:40				10	12:00	M
		160	1:40				21	23:00	N
		180	1:40				29	31:00	O
200	1:40				35	37:00	O		
70 (22)	1.0	60					0	2:20	*
		70	2:00				2	4:20	K
		80	2:00				7	9:20	L
		100	2:00				14	16:20	M
		120	2:00				26	28:20	N
140	2:00				39	41:20	O		
80 (25)	1.1	50					0	2:40	*
		60	2:20				8	10:40	K
		70	2:20				14	16:40	L
		80	2:20				18	20:40	M
		90	2:20				23	25:40	N
		100	2:20				33	35:40	N
		110	2:00			2	41	45:40	O
		120	2:00			4	47	53:40	O
130	2:00			6	52	60:40	O		
90 (28)	1.2	40					0	3:00	*
		50	2:40				10	13:00	K
		60	2:40				17	20:00	L
		70	2:40				23	26:00	M
		80	2:20			2	31	36:00	N
		90	2:20			7	39	49:00	N
		100	2:20			11	46	60:00	O
110	2:20			13	53	69:00	O		
100 (31)	1.3	30					0	3:20	*
		40	3:00				7	10:20	J
		50	3:00				18	21:20	L
		60	3:00				25	28:20	M
		70	2:40			7	30	40:20	N
		80	2:40			13	40	56:20	N
90	2:40			18	48	69:20	O		
110 (34)	1.4	30					0	3:40	*
		40	3:20				7	10:40	J
		50	3:20				18	21:40	L
		60	3:20				25	28:40	M
		70	3:00			7	30	40:40	N
		80	3:00			13	40	56:40	N
90	3:00			18	48	69:40	O		
120 (37)	1.5	25					0	4:00	*
		30	3:40				3	7:00	I
		40	3:40				15	19:00	K
		50	3:20			2	24	30:00	L
		60	3:20			9	28	41:00	N
130 (40)	1.6	20					0	4:20	*
		25	4:00				3	7:20	H
		30	4:00				7	11:20	J
		40	4:00			2	21	27:20	L
		50	3:40			8	26	38:20	M**
		60	3:40			18	36	58:20	N**

* See No Decompression Table 3 for Repetitive Group Letter

** Time Exceeds Recommended Oxygen Partial Pressure Limits for Routine Diving Operations



NOAA NITROX 32 NO-DECOMPRESSION DIVE TABLE-Expanded

No-Decompression Limits and Repetitive Group Designation Table for No-Decompression Dive

Depth (feet/meters)	No-Decompression Limits (min)	Group Designation Letter															
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
15	5	unlimited	60	120	210	300	797	*									
20	6	unlimited	35	70	110	160	225	350	452	*							
25	8	unlimited	25	50	75	100	135	180	240	325	390	917	*				
30	9	595	20	35	55	75	100	125	160	195	245	315	361	540	595		
40	12	405	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310	344	405	
45	14	310	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270	310
50	15	200	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	200	
60	18	100		10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100			
70	22	60		10	15	20	25	30	40	50	55	60					
80	25	50		5	10	15	20	30	35	40	45	50					
90	28	40		5	10	15	20	25	30	35	40						
100	31	30		5	10	12	15	20	25	30							
110	34	30		5	10	12	15	20	25	30							
120	37	25		5	7	10	15	20	22	25							
130	40	20			5	10	13	15	20								
** 140	43	15			5	10	12	15									
** 150	46	10			5	8	10										

** Oxygen Exceptional Exposures
 * Highest repetitive group that can be achieved at this depth regardless of bottom time



Residual Nitrogen Time

Repetitive Dive Depth (fsw)	Repetitive Group Designation Letter															
	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
10	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	797	279	159	88	39
20	**	**	**	**	**	**	917	399	279	208	159	120	88	62	39	18
30	+	+	+	349	279	229	190	159	132	109	88	70	54	39	25	12
40	+	+	+	349	279	229	190	159	132	109	88	70	54	39	25	12
50	257	241	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7
60	169	160	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13	6
70	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
80	100	96	87	80	72	64	57	50	43	37	31	28	20	15	9	4
90	84	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4
100	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
110	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
120	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3
130	57	55	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6	3
140	52	50	46	43	39	35	32	28	25	21	18	15	12	9	6	3
150	46	44	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8	6	3

Values are in Minutes

** If no Repetitive Nitrogen Time is given, then the Repetitive Group Letter does not change.
 + Read vertically downward to 50 Repetitive Dive Depth. Use the corresponding residual nitrogen time (minutes) to compute the equivalent single dive time. Decompress using the 50 MN32 Decompression Schedule Table 5.



NOAA NITROX **36** DECOMPRESSION DIVE TABLE

DEPTH fsw (msw)	PO ₂ (atm)	BOTTOM TIME (min)	TIME TO FIRST STOP (min:sec)	DECOMPRESSION STOPS				TOTAL ASCENT TIME (min:sec)	REPETITIVE GROUP LETTER	
				40	30	20	10			
60 (18)	1.1	100					0	2:00	*	
		110	1:40				3	5:00	L	
		120	1:40				5	7:00	M	
		140	1:40				10	12:00	M	
		160	1:40				21	23:00	N	
		180	1:40				29	31:00	O	
		200	1:40				35	37:00	O	
70 (22)	1.2	100					0	2:20	*	
		110	2:00				3	5:20	L	
		120	2:00				5	7:20	M	
		140	2:00				10	12:20	M	
		160	2:00				21	23:20	N	
		180	2:00				29	31:20	O	
		200	2:00				35	37:20	O	
80 (25)	1.25	60					0	2:40	*	
		70	2:20				2	4:40	K	
		80	2:20				7	9:40	L	
		100	2:20				14	16:40	M	
		120	2:20				26	28:40	N	
		140	2:20				39	41:40	O	
90 (28)	1.35	50					0	3:00	*	
		60	2:40				8	11:00	K	
		70	2:40				14	17:00	L	
		80	2:40				18	21:00	M	
		90	2:40				23	26:00	N	
		100	2:40				33	36:00	N	
		110	2:20			2	41	46:00	O	
120	2:20			4	47	54:00	O			
100 (31)	1.5	40					0	3:20	*	
		50	3:00				10	13:20	K	
		60	3:00				17	20:20	L	
		70	3:00				23	26:20	M	
		80	2:40			2	31	36:20	N	
		90	2:40			7	39	49:20	N	
		100	2:40			11	46	60:20	O	
110	2:40			13	53	69:20	O			
110 (34)	1.6	30					0	3:40	*	
		40	3:20				7	10:40	J	
		Exceptional Exposure								
		50	3:20			18		21:40	L**	
		60	3:20			25		28:40	M**	
70	3:00			7	30		40:40	N**		
80	3:00			13	40		56:40	N**		

* See No Decompression Table 3 for Repetitive Group Letter
 ** Time Exceeds Recommended Oxygen Partial Pressure Limits for Routine Diving Operations



NOAA NITROX 36 NO-DECOMPRESSION DIVE TABLE-Expanded

No-Decompression Limits and Repetitive Group Designation Table for No-Decompression Dive

Depth (feet/meters)	No-Decompression Limits (min)		Group Designation Letter														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
15	5	unlimited	60	120	210	300	797	*									
20	6	unlimited	60	120	210	300	797	*									
25	8	unlimited	35	70	110	160	225	350	452	*							
30	9	unlimited	25	50	75	100	135	180	240	325	390	917	*				
40	12	405	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310	344	405	
45	14	405	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310	344	405	
50	15	310	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270	310
60	18	100	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100				
70	22	100	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100				
80	25	60	10	15	20	25	30	40	50	55	60						
90	28	50	5	10	15	20	30	35	40	45	50						
100	31	40	5	10	15	20	25	30	35	40							
110	34	30	5	10	12	15	20	25	30								
** 120	37	25	5	7	10	15	20	22	25								
** 130	40	25	5	7	10	15	20	22	25								

** Oxygen Exceptional Exposures

* Highest repetitive group that can be achieved at this depth regardless of bottom time



Residual Nitrogen Time

Repetitive Dive Depth (fsw)	Repetitive Group Designation Letter															
	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
10	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	797	279	159	88	39
20	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	797	279	159	88	39
30	**	**	**	**	**	**	917	399	279	208	159	120	88	62	39	18
40	+	+	+	349	279	229	190	159	132	109	88	70	54	39	25	12
50	257	241	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7
60	169	160	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13	6
70	169	160	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13	6
80	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
90	100	96	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4
100	84	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4
110	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
120	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3
130	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3

Values are in Minutes

** If no Repetitive Nitrogen Time is given, then the Repetitive Group Letter does not change.

+ Read vertically downward to 50 Repetitive Dive Depth. Use the corresponding residual nitrogen time (minutes) to compute the equivalent single dive time. Decompress using the 50 NN32 Decompression Schedule Table 5.

Die NOAA Tabelle EAN32 (gültig ab 2014)

OBACHT!

Der Hinweis in der rechten oberen Ecke: die Stopp-Zeiten beziehen sich auf 20 feet / 6,1 msw!

NO-DECOMPRESSION TABLE NOAA NITROX 32 ONLY FOR 32% O₂, 68% N₂ MIXTURES

WARNING: EVEN STRICT COMPLIANCE WITH THESE CHARTS WILL NOT GUARANTEE AVOIDANCE OF DECOMPRESSION SICKNESS, CONSERVATIVE USAGE IS STRONGLY RECOMMENDED.

RNT RESIDUAL NITROGEN TIME
+ABT ACTUAL BOTTOM TIME
ESDT EQUIVALENT SINGLE DIVE TIME



NDP 07-2015

PO ₂	START DEPTH		00		EXCEEDS NOAA 1.40 PO ₂ LIMIT																	00
	msw	fsw	NO-STOP TIME	DIVE TIME REQUIRING DECOMPRESSION - Top	MINUTES REQUIRED AT 20 fsw STOP (6.1 msw) - Bottom																	
0.71	12.3	40	17	27	38	50	62	76	91	107	125	145	167	193	223	260	307	371				
0.76	13.8	45	14	23	32	42	52	63	74	87	100	115	131	148	168	190	215	232				
0.80	15.3	50	12	20	27	36	44	53	63	73	84	95	108	121	135	151	163	180				
0.85	16.9	55	11	17	24	31	39	46	55	63	72	82	92	102	114	125	130	150				
0.90	18.4	60	9	15	21	28	34	41	48	56	63	71	80	89	92	100	110	140				
1.00	21.4	70	7	12	17	22	28	33	39	45	51	57	60	65	70	75	80	90				
1.10	24.5	80	6	10	14	19	23	28	32	37	42	47	48	55	60	65	70	80				
1.19	27.6	90	5	9	12	16	20	24	28	32	36	39	40	45	50	55	60	70				
1.29	30.6	100	4	7	11	14	17	21	24	28	30	35	35	40	45	50	55	65				
1.39	33.7	110	4	7	11	14	17	21	24	28	30	35	35	40	45	50	55	65				
1.48	36.8	120	4	6	9	12	15	18	21	25	28	30	35	35	40	45	50	60				
1.58	39.8	130	3	6	8	11	14	16	19	20	25	28	30	35	40	45	50	60				

PO ₂	0.71	0.76	0.80	0.85	0.90	1.00	1.10	1.19	1.29	1.39	1.48	1.58	GROUP LETTER
msw	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4	21.4	24.5	27.6	30.6	33.7	36.8	39.8	A
fsw	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120	130	B
18	15	13	12	11	9	8	7	6	6	5	5	5	C
353	217	150	113	81	51	40	32	24	24	20	15	15	D
28	24	21	18	17	14	12	10	9	9	8	8	8	E
343	208	142	107	75	46	36	29	21	21	17	12	12	F
39	33	29	25	23	19	16	14	12	12	11	10	10	G
332	199	134	100	69	41	32	25	18	18	14	10	10	H
51	43	37	32	29	24	20	18	16	16	14	13	13	I
320	189	126	93	63	36	28	21	14	14	11	7	7	J
63	53	45	40	35	29	25	22	19	19	17	16	16	K
308	179	118	85	57	31	23	17	11	11	8	4	4	L
77	64	55	48	42	35	29	25	22	22	20	18	18	M
294	168	108	77	50	25	19	14	8	8	5	2	2	N
92	75	64	56	49	40	34	29	26	26	23	2	2	O
279	157	99	69	43	20	14	10	4	4	2			Z
108	88	74	64	57	46	39	33	29	29				
263	144	89	61	35	14	9	6	1	1				
126	101	85	73	65	52	44	38						
245	131	78	52	27	8	4	1						
146	116	97	83	73	58								
225	116	66	42	19	2								
168	132	109	93	81									
203	100	54	32	11									
194	149	122	104	90									
177	83	41	21	2									
224	169	136	115										
147	83	27	10										
261	191	152											
110	41	11											
308	216												
63	16												

CHART 3 - REPETITIVE DIVE TIME
RED NUMBERS ARE RESIDUAL NITROGEN TIMES (RNT).
BLACK NUMBERS ARE ADJUSTED NO-STOP REPETITIVE DIVE TIMES.
ACTUAL DIVE TIME SHOULD NOT EXCEED THIS NUMBER.

32

GROUP LETTER	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Z
2:20	3:36	4:31	5:23	6:15	7:08	8:00	8:52	9:44	10:36	11:29	12:21	13:13	14:05	14:58	15:50	
0:10	1:17	2:12	3:04	3:56	4:49	5:41	6:33	7:24	8:16	9:09	10:01	10:53	11:45	12:37	13:30	
1:16	2:11	3:03	3:55	4:48	5:40	6:32	7:24	8:16	9:09	10:01	10:53	11:45	12:37	13:30		
0:10	0:56	1:48	2:40	3:32	4:24	5:17	6:09	7:01	7:53	8:45	9:38	10:30	11:22	12:14		
0:55	1:47	2:39	3:31	4:23	5:16	6:08	7:00	7:52	8:44	9:37	10:29	11:21	12:13			
0:10	0:53	1:45	2:38	3:30	4:22	5:14	6:07	6:59	7:51	8:43	9:35	10:28	11:20			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:53	1:45	2:38	3:30	4:22	5:14	6:07	6:59	7:51	8:43	9:35	10:28	11:20			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:53	1:45	2:38	3:30	4:22	5:14	6:07	6:59	7:51	8:43	9:35	10:28	11:20			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			
0:10	0:52	1:44	2:37	3:29	4:21	5:13	6:06	6:58	7:50	8:42	9:34	10:27	11:19			

CHART 1 - DIVE TIMES WITH END-OF-DIVE GROUP LETTER
CHART 2 - SURFACE INTERVAL TIME
TIME RANGES ARE FOUR-DIGIT NUMBERS
ENTER FROM THE TOP, MOVE TO FIND SURFACE INTERVAL TIME.
MOVE LEFT TO FIND THE NEW REPETITIVE GROUP LETTER

90,5 mm

Die NOAA Tabelle EAN36 (gültig ab 2014)

OBACHT!

Der Hinweis in der rechten oberen Ecke: die Stopp-Zeiten beziehen sich auf 20 feet / 6,1 msw!

NO-DECOMPRESSION TABLE NOAA NITROX 36 ONLY FOR 36% O₂, 64% N₂ MIXTURES

WARNING: EVEN STRICT COMPLIANCE WITH THESE CHARTS WILL NOT GUARANTEE AVOIDANCE OF DECOMPRESSION SICKNESS, CONSERVATIVE USAGE IS STRONGLY RECOMMENDED.

RNT RESIDUAL NITROGEN TIME
+ABT ACTUAL BOTTOM TIME
ESDT EQUIVALENT SINGLE DIVE TIME



START DEPTH
PO₂ msw fsw

EXCEEDS NOAA 1.40 PO₂ LIMIT

MAXIMUM NO-STOP TIME

DIVE TIME REQUIRING DECOMPRESSION - Top MINUTES REQUIRED AT 20 fsw STOP (6.1 msw) - Bottom

PO ₂	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4	21.4	24.5	27.6	30.6	33.7	37.1
msw	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4	21.4	24.5	27.6	30.6	33.7	37.1
fsw	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120
0.80	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
0.85	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
0.91	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
0.96	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1.01	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1.12	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1.23	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1.34	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.45	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1.56	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

NDP 07-2015

CHART 1 - DIVE TIMES WITH END-OF-DIVE GROUP LETTER

REPEATITIVE DIVES SHALLOWER THAN 40 fsw (12.3 msw) MUST USE THE 40 fsw (12.3 msw) REPEATITIVE SCHEDULE

PO ₂	0.80	0.85	0.91	0.96	1.01	1.12	1.23	1.34	1.45	1.56	GROUP LETTER
msw	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4	21.4	24.5	27.6	30.6	33.7	
fsw	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	
18	18	18	15	13	12	11	9	8	7	6	A
353	353	353	217	150	113	81	51	40	32	24	B
343	343	343	208	142	107	75	46	36	29	21	C
39	39	39	33	29	25	23	19	16	14	12	D
332	332	332	199	134	100	69	41	32	25	18	E
51	51	51	43	37	32	29	24	20	18	16	F
320	320	320	189	126	93	63	36	28	21	14	G
63	63	63	53	45	40	35	29	25	22	19	H
308	308	308	179	118	85	57	31	23	17	11	I
77	77	77	64	55	48	42	35	29	25	22	J
294	294	294	168	108	77	50	25	19	14	8	K
92	92	92	75	64	56	49	40	34	29	26	L
279	279	279	157	99	69	43	20	14	10	4	M
108	108	108	88	74	64	57	46	39	33	29	N
263	263	263	144	89	61	35	14	9	6	1	O
126	126	126	101	85	73	65	52	44	38		P
245	245	245	131	78	52	27	8	4	1		Q
146	146	146	116	97	83	73	58				R
225	225	225	116	66	42	19	2				S
168	168	168	132	109	93	81					T
203	203	203	100	54	32	11					U
194	194	194	149	122	104	90					V
177	177	177	83	41	21	2					W
224	224	224	169	136	115						X
147	147	147	63	27	10						Y
261	261	261	191	152							Z
110	110	110	41	11							
308	308	308	216								
63	63	63	16								

CHART 3 - REPETITIVE DIVE TIME
RED NUMBERS ARE RESIDUAL NITROGEN TIMES (RNT).
BLACK NUMBERS ARE ADJUSTED NO-STOP REPETITIVE DIVE TIMES.
ACTUAL DIVE TIMES SHOULD NOT EXCEED THIS NUMBER.

36

CHART 2 - SURFACE INTERVAL TIME
TIME RANGES ARE HOURS:MINUTES
ENTER FROM THE TOP, MOVE TO FIND SURFACE INTERVAL TIME.
MOVE LEFT TO FIND THE NEW REPETITIVE GROUP LETTER

Die NOAA Tabelle EAN40 (gültig ab 2014)

OBACHT!

**Der Hinweis in der rechten oberen Ecke: die Stopp-Zeiten beziehen sich auf
*20 feet / 6,1 msw!***



NOAA NITROX 40% NO-DECOMPRESSION DIVE TABLE



Use only with 40.00% – 40.99% oxygen-balance nitrogen

WARNING: EVEN STRICT COMPLIANCE WITH THESE CHARTS WILL NOT GUARANTEE AVOIDANCE OF DECOMPRESSION SICKNESS. CONSERVATIVE USAGE IS STRONGLY RECOMMENDED.

CHART 1 – DIVE TIMES WITH END-OF-DIVE GROUP LETTER

RNT RESIDUAL NITROGEN TIME
+ ABT ACTUAL BOTTOM TIME
ESDT EQUIVALENT SINGLE DIVE TIME

PO ₂	DEPTH		DIVE TIME REQUIRING DECOMPRESSION																
	msw	fsw	MINUTES REQUIRED AT 20 fsw STOP (6.1 msw)																
0.88	12.3	40	20	33	47	62	78	97	117	140	166	198	236	285	354	469	595	00	00
0.95	13.8	45	17	27	38	50	62	76	91	107	125	145	167	193	223	260	307	371	
1.01	15.3	50	17	27	38	50	62	76	91	107	125	145	167	193	223	260	307	371	
1.07	16.9	55	14	23	32	42	52	63	74	87	100	115	131	148	168	190	215	232	
1.13	18.4	60	12	20	27	36	44	53	63	73	84	95	108	121	135	151	163	180	14
1.25	21.4	70	11	17	24	31	39	46	55	63	72	82	92	102	114	125	130	150	12
1.37	24.5	80	8	14	19	25	31	37	43	50	56	63	71	74	80	90	90		25
1.49	27.6	90	7	12	17	22	28	33	39	45	51	57	60	65	80	90	90		23

fsw	GROUP LETTER								
	40	45	50	55	60	70	80	90	
msw	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4	21.4	24.5	27.6	
21	18	15	13	12	10	9			A
574	353	217	150	113	64	51			B
34	28	24	21	18	15	14			C
561	343	208	142	107	59	46			D
48	39	33	29	25	20	19			E
547	332	199	134	100	54	41			F
63	51	43	37	32	26	24			G
532	320	189	126	93	48	36			H
79	63	53	45	40	32	29			I
516	308	179	118	85	42	31			J
98	77	64	55	48	38	35			K
497	294	168	108	77	36	25			L
118	92	75	64	56	44	40			M
477	279	157	99	69	30	20			N
141	108	88	74	64	51	46			O
454	263	144	89	61	23	14			Z
167	126	101	85	73	58	52			
428	245	131	78	52	16	8			
198	146	116	97	83	65	58			
397	225	116	66	42	9	2			
237	168	132	109	93	72				
358	203	100	54	32	2				
286	194	149	122	104					
309	177	83	41	21					
354	224	169	136	115					
241	147	63	27	10					
470	261	191	152						
125	110	41	11						
308	308	216							
63	63	16							

CHART 3 – REPETITIVE DIVE TIME

RED NUMBERS (TOP) ARE RESIDUAL NITROGEN TIMES (RNT)
BLACK NUMBERS (BOTTOM) ARE ADJUSTED NO-STOP REPETITIVE DIVE TIMES
ACTUAL DIVE TIME SHOULD NOT EXCEED THIS NUMBER

Exceeds maximum PO₂ single exposure limit

CHART 2 – SURFACE INTERVAL TIME

Time Ranges in hours: minutes
Enter Chart 2 from the top,
move down to find surface interval time,
move left to find the next repetitive group letter.

Die NOAA Tabellen NN32 und NN36 „Abbreviated“ (gekürzt) sowie die „Expanded“ Versionen beruhen ja auf der alten USN Tabelle von 1957. Die neuen NOAA Tabellen aus [149] sind nach der neuen USN Table von 2008 berechnet. Es sind nun in der 5. Auflage des NOAA Manuals die 13 NOAA Nitrox Tabellen von EAN28 bis EAN40, siehe Bsp. EAN40, vorige Seite.

Und, bitte: berücksichtigt die Bemerkungen jeweils oben ...

NAUI RGBM Tabellen für EAN32 & EAN36

Die NAUI RGBM (RGBM = Reduced Gradient Bubble Model) Tabellen für Luft, EAN32 und EAN36 sind allerdings aus dem Jahre 2001, siehe das „**Tabellen Manual**“; aber trotzdem ein paar erläuternde Bemerkungen an dieser Stelle hier:

Die **NAUI RGBM Tabellen für Luft, NN32 & NN36** warten mit folgendem auf:
(auszugsweise Übersetzung der „Rules“ der Rückseite der 9 Tabellen (die 3 Gemische für jeweils 3 Höhenlagen), aus [60]); der Begriff NDL entfällt, hierfür gibt es die „Maximum Dive Time“ (= MDT, also maximale Tauchzeit):

- (SIT=) Mindest OFF 1 h (bis 610 m.)
- bis 1829 m Mindest OFF 1,5 h
- bis 3048 m Mindest OFF 2 h
- Max. 3 TG (bis 610 m Meereshöhe) innerhalb 12 h, bzw.
- Max. 2 TG (ab 610 m Meereshöhe) innerhalb 12 h
- Die Tiefen der aufeinanderfolgenden TG müssen immer geringer sein
- Die max. Tiefen des 3. TG sind (jeweilige MDT = 150 min.)
- 9 m für Luft
- 12 m für NN32
- 15 m für NN36
- Sicherheitsstopp: auf 5 m (+/- 1 m) für 3 min.
- Max. Abstieg mit 23 m / min.
- Max. Aufstieg mit 9 m / min.
- Keine „reversed profiles“ und keine Deko-TG mit dieser Tabelle
- Die NN32 Tabelle hört bei 36 m Tiefe auf (MDT = 20 min., siehe unten)
- Die NN36 Tabelle hört bei 33 m Tiefe auf (MDT = 31 min.; siehe unten)

Prinzipiell sind die MDT gegenüber den bisherigen NDLs der U.S.N. oder NOAA Nitrox Tabellen verkürzt!



Reduced Gradient Bubble Model (RGBM)

Dive Table - EAN 32

Sea Level to 2,000 ft / 610 m

DIVE ONE			DIVE TWO			DIVE THREE		
MAX DEPTHS		MDT	MAX DEPTHS		MDT	MAX DEPTHS		MDT
fsw	msw	minutes	fsw	msw	minutes	fsw	msw	minutes
120	36	20	80	24	47	40	12	150
110	33	25	75	23	47	40	12	150
100	30	30	70	21	60	40	12	150
90	27	38	65	20	60	40	12	150
80	24	47	60	18	85	40	12	150
70	21	60	55	17	85	40	12	150
60	18	85	50	15	115	40	12	150
50	15	115	45	14	115	40	12	150
40	12	150	40	12	150	40	12	150

This table is designed for scuba dives employing EAN 32.

Read the instructions on the back and seek proper training before using this table or EAN 32. Even strict compliance with this table will not guarantee avoidance of decompression sickness.

Copyright © 2001 NAUI Worldwide. All rights reserved.

#35514



Reduced Gradient Bubble Model (RGBM)

Dive Table - EAN 36

Sea Level to 2,000 ft / 610 m

DIVE ONE			DIVE TWO			DIVE THREE		
MAX DEPTHS		MDT	MAX DEPTHS		MDT	MAX DEPTHS		MDT
fsw	msw	minutes	fsw	msw	minutes	fsw	msw	minutes
110	33	31	80	23	60	50	15	150
100	30	35	75	21	60	50	15	150
90	27	46	70	20	85	50	15	150
80	24	60	65	18	85	50	15	150
70	21	85	60	17	115	50	15	150
60	18	115	55	15	115	50	15	150
50	15	150	50	14	150	50	15	150

This table is designed for scuba dives employing EAN 36.

Read the instructions on the back and seek proper training before using this table or EAN 36. Even strict compliance with this table will not guarantee avoidance of decompression sickness.

Copyright © 2001 NAUI Worldwide. All rights reserved.

#35514

Organisationen

Die folgenden Organisationen bieten grundlegende Informationen zum Tauchen allgemein und natürlich im speziellen zum Thema NITROX/REBREATHER/TEC-DIVING/DIVE TABLES etc. ... (alphabetisch geordnet):

DCIEM:

The Canadian Defence and Civil Institute of Environmental Medicine: www.dciem.dnd.ca/DCIEM

GTUEM:

Gesellschaft für Überdruckmedizin,
<http://www.gtuem.org>

NEDU:

The United States Naval Experimental Diving Unit: www.nedu.org
321 Bullfinch Rd., Panama City, FL 32407-7015,
Tel.: (904) 230-3100, Fax: (904) 235-1668

NMRI:

The United States Naval Medical Research Institute
Bethesda, MD 20814
Tel.: (301) 295-1839

NOAA:

National Oceanic & Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce: www.ntis.gov/noaactive.htm

UHMS:

the Underwater Hyperbaric Medical Society: www.uhms.org

USN:

The United States Navy:
the NAVSEA 00C Web Site: www.navsea.navy.mil/sea00c/

Ausbildungsmöglichkeiten

Die folgenden Organisationen bieten Ausbildungsmöglichkeiten, also Kurse auf User- und Instruktorbene sowie Materialien (Bücher, Videos, Folien, CD-ROMs, etc.) für Schüler und Instruktoran (alphabetisch geordnet):

ANDI:

American Nitrox Divers International: www.andihq.com
ANDI HQ 74 Woodcleft Avenue, Freeport, N.Y. 11520,
Tel.: (516) 546-2026, Fax: (516) 546-6010, e-mail: andihq@aol.com

IANTD:

International Association of Nitrox and Technical Divers: www.iantd.com

NAUI:

National Association of Underwater Instructors: www.nauai.org
9942 Currie Davis Drive, Tampa, FL 33619
NAUI Europa Services Brunngasse 6, CH-8400 Winterthur,
Tel.: (41) 52 213 03 80, Fax: (41) 52 213 03 82, email: NAUI@nauai.ch

PADI:

Professional Association of Diving Instructors: www.padi.com
PADI Europe Oberwilerstrasse 3, POB 45, CH-8442 Hettlingen
Tel.: (41) 52 304 14 14, Fax: (41) 52 304 14 99, e-mail: training@padi.ch

RAB:

Rebreather Advisory Board: www.rab-ev.de
Tannenstr. 25, D-64546 Möhrfelden-Walldorf,
Tel.: 06105-961301, Fax: 06105-961345, e-mail: headquarter@rab-ev.de

SSI:

Scuba Schools International
<http://portal.dive-ssi.de/home>

TDI:

Technical Diving Instructors: www.TDI-Germany.de
Hauptstr.139, D-69488 Birkenau,
Tel.: 06201-390043, Fax: 06201-390083, e-mail: TDI-Germany@t-online.de

Trademarks und copyrights

Selbstverständlich halten wir uns an die Trademarks und copyrights, deshalb haben wir ja auch immer fleissig das ® und das © reingemalt! Die Genehmigung zum kopieren der Tabellen erstreckt sich auf dieses Manual, wobei ich den beteiligten Organisationen recht herzlich danke (siehe auch das Vorwort)!

Haftungsausschluß

Tauchen kann erholsam, interessant und ziemlich spaßig sein...

wenn ihr euch an das haltet, was ihr in den Kursen gelernt habt! Fehlende Ausrüstungskontrolle, unzulängliche Tauchgangsplanung, Leichtsinn und mangelnde Selbstkritik bzw. Selbstüberschätzung, falsche Einschätzung der Tauchbedingungen und des Tauchpartners können aus diesem Spaß tödlichen Ernst werden lassen! Drum an dieser Stelle folgendes: ihr müsst euch des Risikos bewußt sein das damit verbunden ist, den Kopf unter Wasser zu stecken und dort zu atmen! Ihr seid dafür selber verantwortlich! Und zwar ausschließlich ihr selber, und kein Anderer! Jegliche Verantwortung die sich aus dem Gebrauch der vorliegenden Materialien ableiten liesse, wird hiermit abgelehnt. Eine Haftung des Autors ist somit explizit ausgeschlossen.

Evolution des NITROX Tauchers



(copyrights: ANDI Israel)



In Memoriam

... an drei meiner Kollegen und Freunde, zum Einen an Dr. Max „Maxe“ Hahn und an Dr. Bernd „Aschi“ Aspacher, und zum Anderen an „Big Ben“, PADI Course Director Ben Walzinger:





Max hat mir viel über Deco-, Micro- und sonstige –Brains erzählt, incl. die hierfür notwendigen a- und b- Koeffizienten sowie über sein letztes Werk, die Deco 2000. Bernd war einer der ersten PADI Instruktoren, die bei mir hier in Europa Anfang der 90'iger meinen damals ganz neuen PADI Specialty „Tauchcomputer / Tauchtabelle“ genossen haben. Beide waren Physiker, beide waren mit Leib und Seele Tauchlehrer. Beide kamen bei tragischen Tauchunglücken ums Leben.

Ben hat bei uns hier in Esslingen 2002 ebenfalls meinen PADI Specialty „Tauchcomputer / Tauchtabelle“ genossen und wir haben diese Thematik in der „deco week“ 2006 auf seiner Basis in Phuket vertieft; 2018 ist Ben von einem Solo-TG nicht mehr zurückgekehrt.