

DTSA Triox

Stand: 22.10.2014

Fragen, Anmerkungen und Verbesserungen?
sk@steffen-kaufmann.com



Lizenz

- Alle in diesem Foliensatz enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse usw. wurden vom Autor nach bestem Wissen erarbeitet und von ihm selbst mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Gleichwohl sind inhaltliche Fehler nicht vollständig auszuschließen. Die Angaben erfolgen daher ohne Garantie des Autors.
- Der Autor übernimmt keinerlei Verantwortung oder Haftung für jegliche inhaltliche Unrichtigkeit und daraus entstehende Schäden
- Dieses Werk bzw. Inhalt steht (wenn nicht anders gekennzeichnet) unter der [Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Unported Lizenz \(CC BY-SA 3.0\)](#).

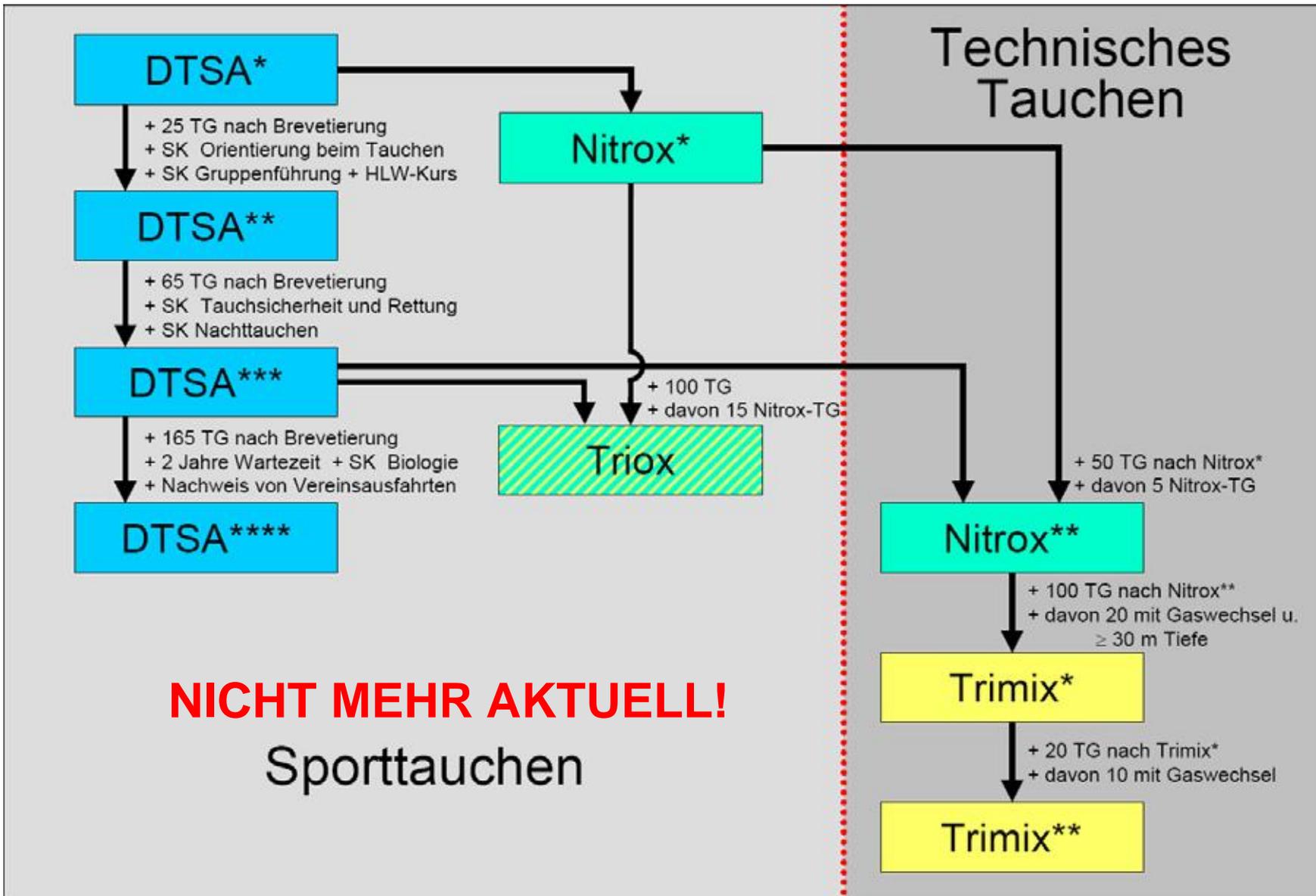
- **Ziele und Zielgruppen der Triox-Ausbildung im VDST**
- **Was ist Triox? Vor- und Nachteile des Einsatzes von Triox im Tauchsport**
- **Anforderungen, Ausrüstung und Tauchgangsplanung**
- **Dekompression, END, MOD**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Einführung und Motivation

Lehrinhalte: Theorie und Praxis

- Theorie und Praxis für die sichere Planung, Vorbereitung und Durchführung von Triox-Tauchgängen bis 45 Meter mit den Gasgemischen Tx21/35 und Tx30/30.
- **Voraussetzungen:**
 - Mindestalter: 18 Jahre,
 - Ausbildungsstufe: DTSA** mit Nitrox*
 - Pflichttauchgänge: mindestens 100 TG, davon 15 mit Nitrox TG, 2 TG innerhalb der letzten 8 Wochen.
- Fundierte Kenntnisse der Nitrox* Theorie und Praxisfertigkeiten im Umgang mit Nitrox werden vorausgesetzt.

Einordnung des DTSA Triox



Nach Abschluss des Triox-Kurses könnt ihr:

- die besonderen Schwierigkeiten bei Triox-Tauchgängen sicher beherrschen,
- die die Ausrüstung den Tauchgangsanforderungen entsprechend konfigurieren,
- sichere Tauchgänge innerhalb der der genannten Grenzen durchführen, sowie
- die Vorsichtsregeln und die Voraussetzung zum sicheren Umgang mit Triox und Sauerstoff benennen.

- **4 Lehreinheiten zu je 45 min**
 - Besonderheiten von Helium und der Verwendung von Triox
 - Physiologische Aspekte, Sauerstoff- und Stickstoffproblematik (MOD, CNS, OTU, EAD)
 - CNS-, OTU-, Dekompressions- und Gasverbrauchs-Berechnungen, Gasmanagement für die Praxis anhand von Runtime- / Dekompressions-Tabellen
 - Tauchgangsplanung anhand von Computerprogrammen (V-Planner / Multideco) inkl. Notfallmanagement
 - Notwendige Zusatzausrüstung (z. B. Reel / Spool, Hebesack, Stage, Kälteschutz), sowie deren Konfiguration und Handhabung

- **4 Übungstauchgänge in horizontaler Lage mit mindestens 30 Minuten Dauer (bei mir mind. 60 min ;)).**
- Jeder Übungstauchgang beinhaltet die vollständige Planung, Vor- und Nachbriefung mit Bestimmung des AMV nach jedem TG.
- **Vier Übungsschwerpunkte:**
 - Einführung in das teamorientierte Tauchen
 - Gasanalyse und Etikettierung der Gase, Pre-Dive-Sequence inkl. Bubblecheck sowie anschließend die Einhaltung der MOD/END und der Aufstiegsgeschwindigkeit (→ 21 m mit 10 m/min; 21 m → 6 m mit 6 m/min; 6m → 0m mit 1 m/min)
 - Ventilmanagement
 - Aufstiegsübungen mit simulierten Stopps und Bojenmanagement

Vor- und Nachteile des Tauchens mit Triox

- **Vorteile**

- reduzierte Intertgas-Narkose
- schnellere Dekompression
- gesteigerter Erlebniswert durch bessere Wahrnehmung
- in Kombination mit DTSA Nitrox** deutliche Erweiterung des klassischen Sporttauchbereichs

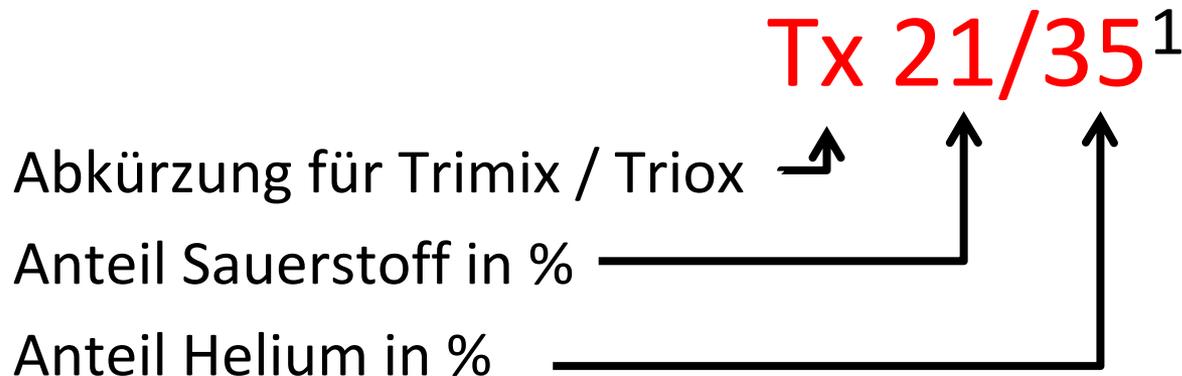
- **Nachteile**

- höhere (Gas-)Kosten
- aufwendigere Tauchgangsvorbereitung

- Wir sind **Freizeittaucher** (engl. Recreational Diver)
- Die Zielsetzung unterscheidet sich deutlich vom Arbeitstauchen (Industrial Diving) bzw. Forschungstauchen (Scientific Diving), auch wenn gleiche physikalische und physiologische Gesetzmäßigkeiten gelten.
- Während sich das Tauchen bei Arbeit und Forschung dem jeweiligen Zweck unterordnen muss, stehen beim Freizeittauchen die **Freude** am Tauch- und Naturerlebnis unter Wasser sowie die damit verbundene Erholung und Entspannung **im Vordergrund** und sind Grund für die Ausübung.

Was ist ein Triox?

- Triox ist ein **Trimix** mit einem Sauerstoffgehalt von mindestens 21 %
- Die übliche Bezeichnung entspricht den Trimix-Gemischen



¹Nitrox wird nun auch mit **Nx** abgekürzt (EAN ist obsolet)

- Helium ist ein echtes **Inertgas**, d.h. es finden im Körper keine Reaktionen mit den Geweben² statt.
- Es zeichnet sich im typischen Sporttauchbereich durch ein **niedriges narkotisches Potential** aus.
- Aufgrund der geringen Dichte und Viskosität ist das Strömungsverhalten besser und die **Atemarbeit geringer**
- Helium hat einen negativen Joule-Thomson-Koeffizienten, d. h. es erwärmt sich bei Entspannung => **Vereisungsgefahr ist deutlich kleiner.**
- Die Wärmeleitung von Helium ist deutlich größer, als die von Luft, d.h. bei der Befüllung von Trockentauchanzügen tritt eine **höhere Auskühlung** auf.

²Das viel erwähnte High Pressure Nervous Syndrome (HPNS) tritt erst bei Tiefen von mehreren hundert Metern auf und ist daher für uns uninteressant.

Vergleich der Wärmeleitung typ. Gase im Sporttauchbereich

Stoff	Wärmeleitkoeffizient (λ) in mW / (m * k)
Helium	156,7
Stickstoff	26
Sauerstoff	26,3
Argon	17,9
CO ₂	16,8
Luft	26,2
Wasser	556,2

- Der Wärmeleitkoeffizient von Helium ist nur um den Faktor 3,5 niedriger als Wasser!
- Beim Tauchen mit Trimix ist es daher sinnvoll ein anderes Tariergas zu verwenden.

Anforderungen an Ausrüstung und Taucher

**Mentale Verfassung, Psyche beim Tauchen und
benötigte Ausrüstung**

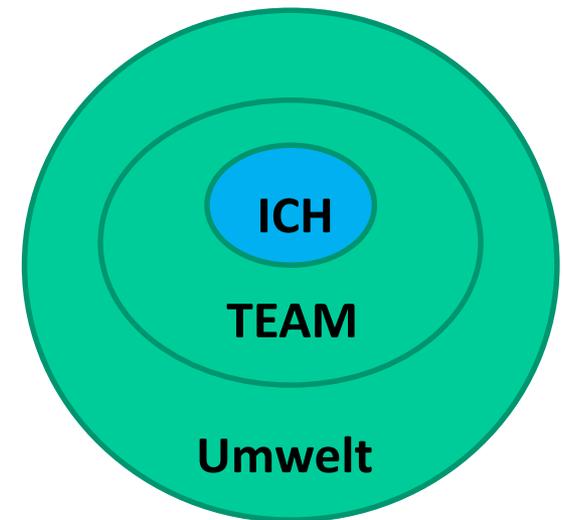
- Die meisten Unfälle im (Sport-) Tauchen resultieren aus mangelnder Vorbereitung und resultierender Panik.
- Eine DCS-Behandlung ist aussichtsreicher als die Wiederbelebung eines Ertrunkenen!
- Die meisten ertrunkenen Taucher hatten noch ihren Bleigurt um!
- Panikaufstiege sollten in jedem Fall verhindert werden → Gefahr eines Lungenrisses!
- Wenn man Panik bekommt, ist die Wahrscheinlichkeit unverletzt nach oben zu kommen nicht sehr groß!

Einfluss der Psychologie bei anspruchsvollen Tauchgängen

- **Aufrichtig zu sich selbst sein!**
 - Habe ich ein gutes Gefühl bei dem was ich mache?
 - Kann ich mir Vorstellen die Situation allein zu bewältigen?
 - Bei anspruchsvollen Tauchgängen findet 80% des Tauchgangs im Kopf statt!
- **Selbstvertrauen entwickeln**
 - Durch Übungstauchgänge
 - Erfahrung kommt mit dem Wiederholen von Übungen und häufigem Tun!
 - Verschiebung von aktivem Tun zum unbewussten Handeln

In jeden Tauchgang sollte eine kleine Übung eingebaut sein!

- Awareness (engl. „Bewusstsein“ oder „Gewahrsein“, auch übersetzt als „Bewusstheit“)
- Ständiges Wissen um den Tauchgang
 - Was mache ich gerade?
 - Wie fühle ich mich?
 - Wo ist/sind mein(e) Tauchpartner?
 - Wo befinden wir uns?
 - Wo befinde wir uns in der Runtime?
 - Was muss ich noch tun?



Sichere Durchführung von Tauchgängen mit Dekompressionspflicht

- **Virtual Overhead Environment**
 - Obwohl man nicht in einer Höhle oder einem Wrack ist, ist auftauchen nicht möglich (bzw. nicht ratsam ;))
- **Anforderungen**
 - Tauchpartner müssen ein Team sein
 - Team muss in der Lage sein, eventuelle auftretende Probleme unter Wasser zu lösen!
- **Konsequenzen für jeden Taucher**
 - Angemessene Ausrüstung und Fähigkeiten (Skills)
 - Angemessene Gas- und Tauchgangsplanung

- Der VDST empfiehlt **standardisierte Ausrüstung!**
- Die Ausrüstung muss **zweckmäßig** angepasst sein!
- **Die Ausrüstung muss eine horizontale Wasserlage ohne Flosseneinsatz zulassen**
 - erlaubt eine effektive Partnerbeobachtung, -Kommunikation und -Hilfe
 - bessere Durchblutung durch Minimierung der Druckunterschiede
 - Minimierte Bauhöhe, Schutz des Untergrunds und Vermeidung von „Mulmen“
- **Redundanz** von Licht-, Luft- und Dekoplanungsgerätschaften

- Die Bleimenge sollte so bemessen sein, dass sichergestellt ist das man zum Ende des Tauchgangs (leeres Jacket, leere Flasche) noch den 3m Stopp sicher einhalten kann!
- Für den Fall das man variablen Auftrieb hat (z. B. Neoprenanzug) muss man sicherstellen das man z. B. durch Bleiabwurf trotz defektem Jacket noch nach oben kommt!
- Bei nicht abwerfbarem Blei muss ein zweites Tariermittel mitgeführt werden.

- Die Tarierung sollte ein einen neutralen Auftrieb ermöglichen.
- Der Trimm sollte stabile, horizontale Wasserlage ohne Flossenaktion ermöglichen.
- Eine stabile Wasserlage ermöglicht die Konzentration auf andere Dinge zu legen (z. B. Tauchpartner, Fische, Probleme, etc.)
- Eine stabile, horizontale Wasserlage erlaubt einen optimalen Vortrieb und schont auch die Umwelt!

- **Verwendung von Bottom-Timern wird empfohlen**
 - Mit „Sekundenzeiger“, nötig für Runtime-Tables
 - Redundanz der Zeit- und Tiefenmessung
- Verwendung von **Trilaminat Trockentauchanzügen** wird empfohlen (Isolierwirkung und Auftrieb sind konstant)
- Eine gute **Kombination von Anzug, Unterzieher und Funktionsunterwäsche** hat sich bewährt (diese Kombination erlaubt TG von 90 min dauer in 4 °C kaltem Wasser ohne zu frieren, außerdem isoliert sie noch bei kleineren Undichtigkeiten).
- **Argon als Tariergas** wird empfohlen

- **Wingjacket mit starrem Backplate**
 - Optimaler Tragekomfort
 - Abtrieb da wo man ihn braucht
 - Minimierte Belastung der LWS
- **Doppelgerät mit absperrbarer Brücke**
 - Ausreichender Gasvorrat
 - Mindestens D7, besser D12
- **(Trilaminat-)Trocki mit Beintaschen**
 - Verstauung von Zusatzausrüstung wie Spool, Boje, Ersatzmaske und Wetnotes



Wingjacket, 20l Volumen

Fotos: Steffen Kaufmann

Sinnvolle Hilfsmittel für TG mit Dekompressionspflicht

- Eine **Boje** erleichtert das Einhalten der Aufstiegsgeschwindigkeit und Dekostopps und gibt „Sicherheit“
- **Reel oder Spool? Befestigung an der Ausrüstung?**
- **Anzugheizungen** bieten einen deutlichen Komfortgewinn, allerdings haben sie ein Ausfallrisiko in beide Richtungen (Was tun wenn sie versagt?)
- Bei der Verwendung von **Trockentauchhandschuhen** muss damit gerechnet werden, dass sie undicht werden (gilt natürlich auch für den gesamten Trocki)!

- **Argon-Kit**
 - **Druckminderer**
 - Nicht zwangsläufig ein Atemregler
 - **Überdruckventil**
 - Kein Atemregler der Überdruck ablassen könnte, daher Überdruckventil
 - **Flasche**
 - Volumen ca. 1 l (0,75 l bei Alu-Flaschen)
 - Größere Volumen nur sinnvoll für z. B. anspruchsvolle Höhlen TG
 - **Mounting-Straps**
 - Montage am Backplate
 - Montage am Rückengerät

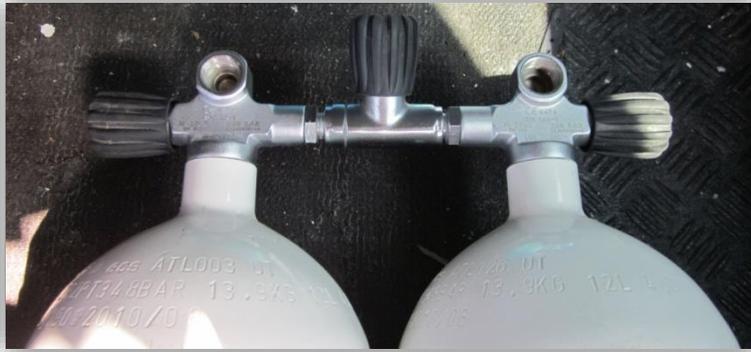


Argon-Kit für die
Backplate Montage

Fotos: Steffen Kaufmann

- **Wingjacket**
 - Blase mit ca. 20 l Auftrieb (ideal für D7-D15)
 - Starres Backplate (Edelstahl vom VDST empfohlen)
- **Schlauchführung**
 - Der Backupregler hängt um den Hals (ca. 60 cm lang) und ist mit einem Gummiband da fixiert!
 - Der Hauptatemregler wird von hinten links um den Hals geführt (ca. 200 cm lang) und wird bei nicht Benutzung per Wirbel-Karabiner am rechten D-Ring befestigt.

Ausrüstung (I)



Doppel 12 mit getrennt absperbaren Ventilen und absperrbarer Brücke



Schnellablass ohne „Greif-Kugel“



Beschriftungsset aus dem Baumarkt



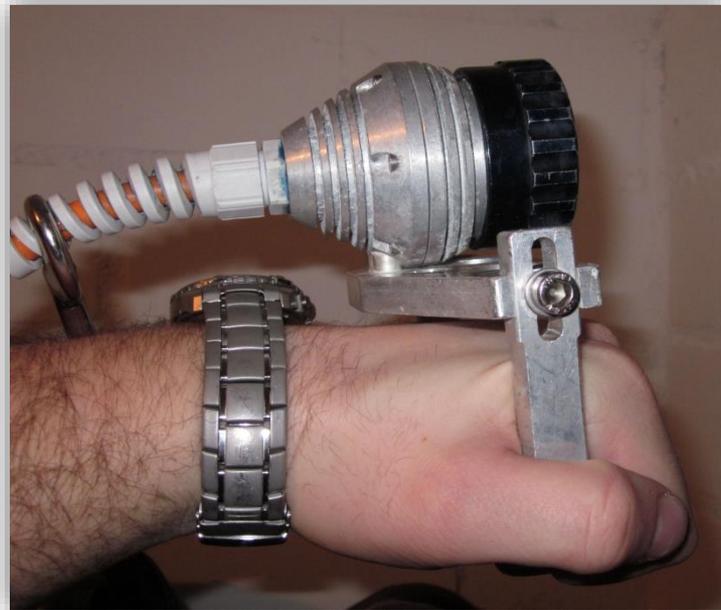
Monobulase für ein Wingjacket, 15l Volumen



Slades mit Runtime-Table

Fotos: Steffen Kaufmann

Ausrüstung (II)



Tanklampe mit Goodman-Handle



Argon-Kit am Backplate



Reel



Doppel 7 mit V-Blei und Tail-Weight

Fotos: Steffen Kaufmann

Die Beintaschen



Beintasche am Trockentauchanzug



Boje mit Spool



Wetnotes



Ersatzmaske



Ersatz Spool

Fotos: Steffen Kaufmann



Hauptatemregler mit Wirbelkarabiner am langen Schlauch (2,10m) und Jacketinflator



Backupatemregler mit Manometer und Trockiinflator

- Der Hauptatemregler ist am langen Schlauch (ca. 2,10 m) und hat einen Wirbelkarabiner
- Das Jacket wird am Hauptatemregler angeschlossen
- Am Backupregler ist das Manometer und der Trocki angeschlossen

Fotos: Steffen Kaufmann

- Die Boje muss ausreichend lang und dick sein um gesehen zu werden
- Im Meer braucht man sicherlich eine größere als im See (ca. 2,00 m)
- Die Farbe ist Gegenstand hitziger Diskussionen, während rot eine Art Standardfarbe für die Deko ist, ist gelb als Notfallboje „gedacht“
- Die Boje sollte mit dem Spool verbunden sein um diese schnell setzen zu können.
- Die Bojen sollten einen Schnellablass und ein Mundventil haben.
- Als Material hat sich Nylon bewährt



Foto: Steffen Kaufmann

Das Backplate

- **Harness bestehend aus Schultergurt, Bauchgurt, und Schrittgurt**
- **Zwei Backuplampen an den Schultergurten**
- **Gurtschnallen aus Edelstahl, 2. Schnalle für Tanklampe**
- **Argon-Kit Befestigung am Backplate**
- **Rückenpolster mit Bojenfach**



Foto: Steffen Kaufmann

- Befestigung an der linken Seite
- Deutliche Markierung der MOD an der Seite
- Analyse-Etikett auf der Schulter
- Ventil geschlossen, aber System unter Druck
- Ggf. Schlauch in anderer Farbe um eine bessere Unterscheidung zu erlauben
- Fini am kurzen HD-Schlauch (ca. 10 cm)



Fotos: Steffen Kaufmann

- **Mentale und Körperliche Fitness ist wichtig!**
- **Aerobes Ausdauertraining innerhalb von 24 Stunden vor dem Tauchgang reduziert die Blasenbildung signifikant!**
- **Krafttraining bzw. Muskelkater erhöht das Dekompressionsrisiko signifikant!**
- **Körperliche Fitness schützt vor Dekompressionserkrankungen**
 - Ein Trainierter hat weniger schnell einen erhöhten Puls
 - Hoher Puls entspricht stärkerer Durchblutung und stärkerer Sättigung bzw. stärkerer Entsättigung und einem daraus folgendem erhöhtem Dekounfall-Risiko

„Physik“ und Dekompression

END, EAD, MOD

Berechnung der Äquivalente Narkosetiefe (END)

- **Grundsätzlich gilt:** Bei weniger anspruchsvollen TG wird eine maximale END von 40m, bei anspruchsvollen TG (z. B. Deko) eine **END von maximal 30m** empfohlen.

$$END = 10^{bar/m} \times (p_a \times (1 - f_{He})) - 1$$

Beispiel : 40m mit Tx21/00 :

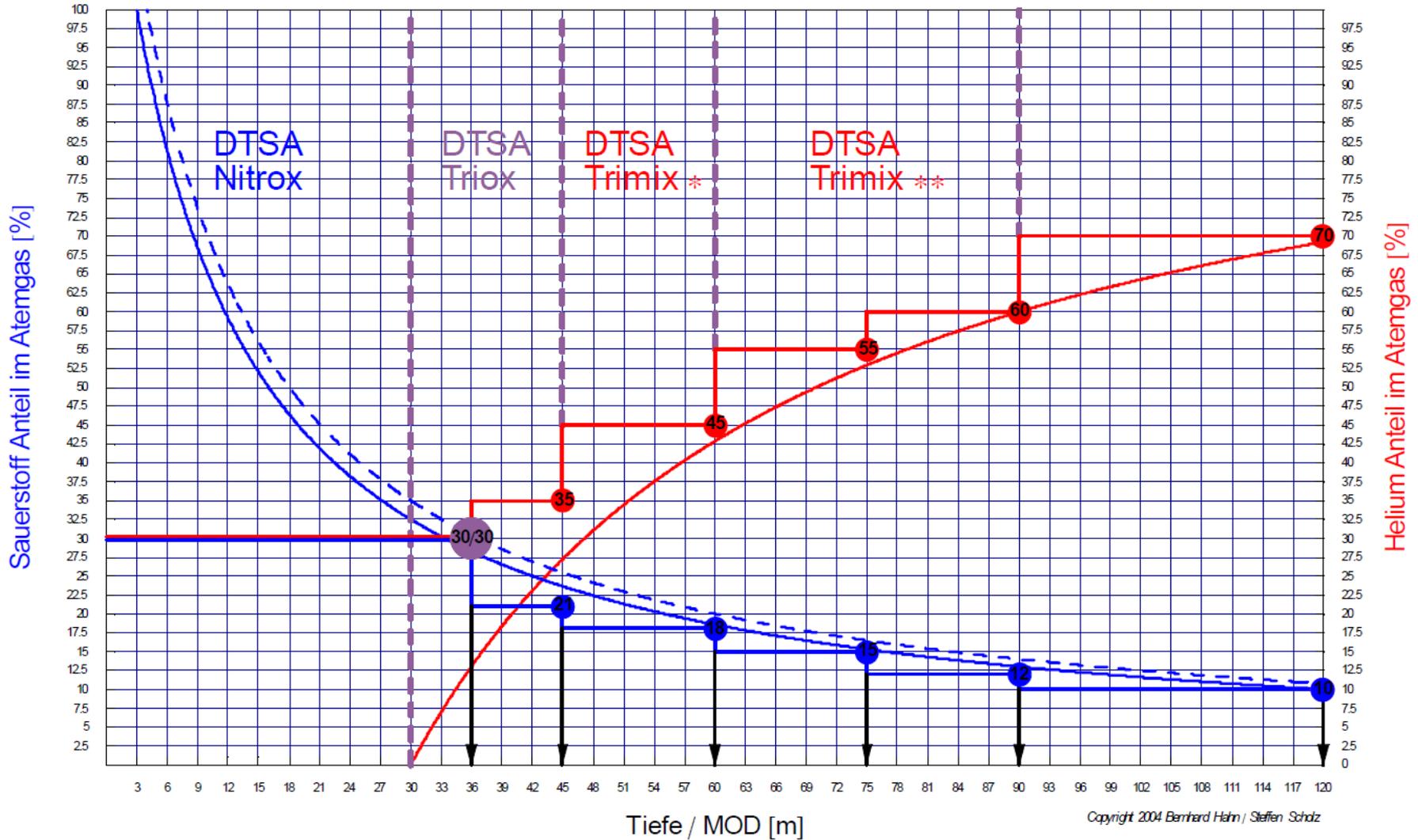
$$END = 10^{bar/m} \times (5 bar \times (1 - 0.00)) - 1 = 40m$$

Beispiel : 50m mit Tx21/35 :

$$END = 10^{bar/m} \times (6 bar \times (1 - 0.35)) - 1 = 29m$$

Äquivalente Narkosetiefe (END)

Grundgemische für max. END = 30 [m] und max. pO₂ = 1.3 [bar] / 1.4 [bar] (ohne Gaswechsel)



Berechnung der Maximalen Einsatztiefe (MOD) auf Basis der Sauerstofftoxizität

- **Begrenzt durch die END und durch maximalen pO_2**
 - $pO_2 = 0.16$ bar absolute Untergrenze in allen Situationen
 - $pO_2 = 1.4$ bar Tauchgänge ohne Gaswechsel
 - $pO_2 = 1.3$ bar Tauchgänge mit Gaswechsel
 - $pO_2 = 1.6$ bar für Dekompressionsstopps

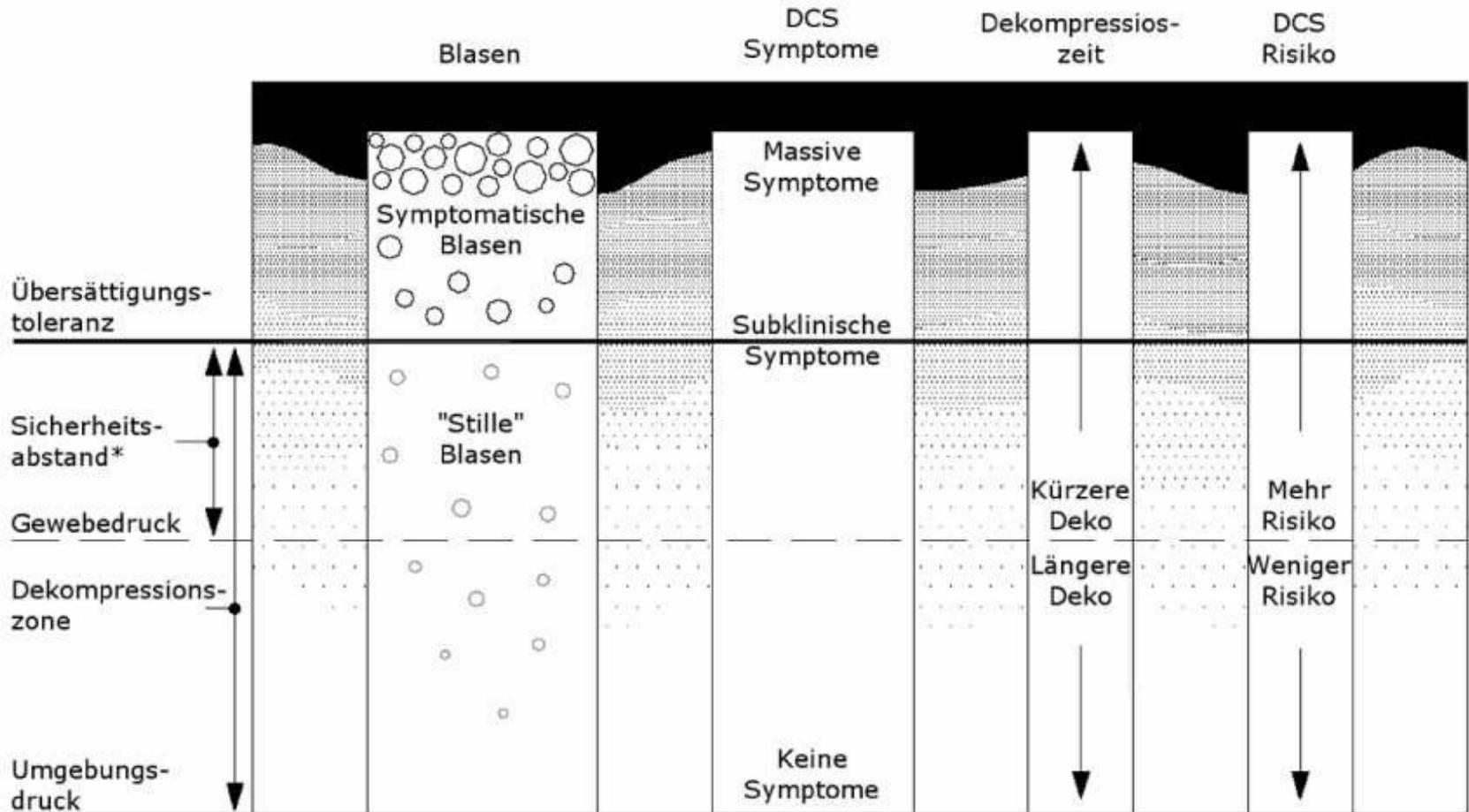
$$MOD_{O_2} = 10^{bar/m} \times \left(\frac{pO_2}{fO_2} - 1 \right)$$

Beispiel : Tx21 / 35 :

$$MOD_{O_2} = 10^{bar/m} \times \left(\frac{1.4 bar}{0.21} - 1 \right) = 56 m$$

$$MOD_{O_2} = 10^{bar/m} \times \left(\frac{1.3 bar}{0.21} - 1 \right) = 51 m$$

Dekompressionsstress



Quelle: Erik C. Baker, 'Understanding M-values', Übersetzung: B. Hahn

*variiert entsprechend individueller Disposition, physischer Kondition, akzeptiertem Risiko, etc...

- **Gasblasen werden vom Immunsystem als Fremdkörper erkannt und bekämpft**
 - Aktivierung der Blutgerinnung
 - Zusammenballung von Thrombozyten
 - Bildung fester Komplexe
 - Entzündungsreaktionen
- **Auch ohne erkennbare Symptome gibt es subklinische DCS-Symptome**
 - Extreme Müdigkeit nach dem TG
 - Leichte Gliederschmerzen
 - Gefühl einer aufkommender Erkältung
 - Erhöhter Ruhe-Puls nach dem Tauchen

- **Nicht Rauchen, keinen Alkohol oder sonstige Drogen vor dem Tauchgang**
- **Ausdauertraining in den vergangenen 24 Stunden wird empfohlen (20 - 60min, keine Überanstrengung / Muskelkater)**
- **Ausreichende Flüssigkeitszufuhr**
- **Anstrengung nach dem Tauchen vermeiden!**
 - z. B. die 50 Stufen am Rüttler (E3) in Hemmoor, besser an der Straße raus,
 - die Stage nicht direkt mit nach oben nehmen

Tauchgangsplanung

**Dekompressionsplanung, AMV, Runtime,
Minimum Gas, etc.**

- Dekompressionsmodelle sind Rechenmodelle die mit empirisch ermittelten Parametern und Sicherheitsschranken versehen worden sind.
- Modelle sind immer ein vereinfachtes Abbild der Realität!
- Ursprünglich für militärische Zwecke entwickelt, später auf den Breitensport übertragen.
- Die Grundlegende Idee ist bei allen Modellen eine Bildung von pathologischen Blasen zu vermeiden.

- Um gelöstes Gas schnell loszuwerden muss man *schnell* auftauchen, ohne dabei „zu große“ Gasblasen zu erzeugen (dafür gibt es für jedes Kompartiment Grenzwerte, M-Werte genannt).
- Um Gasblasen aufzulösen muss man „unter druck“ bleiben, damit diese sich wieder lösen.
- Zweiphasenmodelle (RGBM / VPM) versuchen ein Optimum beider Nebenbedingungen zu finden.
- (Neo-) Haldanemodelle ignorieren Gasblasen und kommen dadurch *schnell* aus der Tiefe.
- Die Korrektur dieses Verhaltens findet über die sogenannten Gradient-Factors statt.
- Obwohl Zweiphasenmodelle die bessere theoretische Grundlage haben, ist die Datenbasis bei den Einphasenmodellen deutlich besser!

- **Tauchgang auf 40m, 16min Grundzeit**
 - **Dekompressionsstops**
 - 4 min auf 6 m
 - 6 min auf 3 m
 - **AMV**
 - Taucher: 15 l/min
 - **Aufstiegsgeschwindigkeit**
 - bis 21m mit 10m/min
 - 21m bis 6m mit 6m/min
 - 6m bis zur Oberfläche mit 1m/min

- Das Atemminutenvolumen (AMV) gibt an wie viel Liter Gas ein Taucher pro Minute „veratmet“.
- Typische Werte liegen zwischen 12 l/min und 22 l/min und erhöhen sich auf bis ca. 45 l/min unter Stress.
- Das AMV ist tagesformabhängig und variiert mit Anstrengung und Aufregung!

$$AMV = \frac{V_{Flasche} \cdot P_{Flaschendruckdifferenz}}{t_{Tauchzeit} \cdot P_{Druckschnittsdruck}}$$

Beispielrechnung - 50 bar Reserve

$$Q = t \times AMV \times P$$

Grundzeit :

$$Q_{\text{Grund}} = 16 \text{ min} \times 15 \text{ l/min} \times 5 \text{ bar} = 1200 \text{ barl}$$

Aufstieg :

$$Q_{\text{bis 21m}} = 2 \text{ min} \times 15 \text{ l/min} \times 5 \text{ bar} = 150 \text{ barl}$$

$$Q_{\text{bis 6m}} = 3 \text{ min} \times 15 \text{ l/min} \times 3,1 \text{ bar} = 140 \text{ barl}$$

$$Q_{\text{bis 0m}} = 6 \text{ min} \times 15 \text{ l/min} \times 1,6 \text{ bar} = 144 \text{ barl}$$

Deko :

$$Q_{\text{Deko}} = (4 \text{ min} \times 1,6 \text{ bar} + 6 \text{ min} \times 1,3 \text{ bar}) \times 15 \text{ l/min} = 213 \text{ barl}$$

Gesamt :

$$Q_{\text{Gesamt}} = 1847 \text{ barl}$$

Alles so Ok ???

Benötigte Flaschengröße :

$$V = \frac{Q_{\text{Gesamt}}}{P_{\text{Ges}} - P_{\text{Res}}}$$

$$V = \frac{1847 \text{ barl}}{155 \text{ bar}} = 11.9 \text{ l}$$

Tauchgangsplanung – Bestimmung des Minimum Gas (Rock Bottom DIR)

- **Totaler Gasverlust** eines Tauchers zum **ungünstigsten Zeitpunkt** im Tauchgang (Ende der Grundzeit)
- **2 Minuten** zum Lösen des Problems auf der maximalen Tiefe
- **Atemminutenvolmen (AMV)** steigt auf **150 %** des Nominalwertes (typischerweise 30 l/min)
- **Spätestens beim Erreichen vom Minimum Gas wird ausgetaucht!**

Beispielrechnung - Minimum Gas (Rock Bottom DIR)

- **Tauchgang auf 40m, 16min Grundzeit**
 - **Dekompressionsstops**
 - 4 min auf 6 m
 - 6 min auf 3 m
 - **AMV**
 - Taucher 1: 15 l/min
 - Taucher 2: 15 l/min
 - **Aufstiegsgeschwindigkeit**
 - bis 21m mit 10m/min
 - 21m bis 6m mit 6m/min
 - 6m bis zur Oberfläche mit 1m/min

Beispielrechnung - Minimum Gas (Rock Bottom DIR)

$$Q = t \times AMV \times P$$

Grundzeit:

$$Q_{\text{Grund}} = 16 \text{ min} \times 15 \text{ l/min} \times 5 \text{ bar} = 1200 \text{ barl}$$

$$Q = t \times AMV \times P$$

Problemlösung (zwei Taucher an einem Gerät):

$$Q_{\text{Problem}} = 2 \text{ min} (15 \text{ l/min} + 15 \text{ l/min}) \times 150\% \times 5 \text{ bar} = 450 \text{ barl}$$

Aufstieg (zwei Taucher an einem Gerät):

$$Q_{\text{bis 21m}} = 2 \text{ min} (15 \text{ l/min} + 15 \text{ l/min}) \times 5 \text{ bar} = 300 \text{ barl}$$

$$Q_{\text{bis 6m}} = 3 \text{ min} (15 \text{ l/min} + 15 \text{ l/min}) \times 3,1 \text{ bar} = 280 \text{ barl}$$

$$Q_{\text{bis 0m}} = 6 \text{ min} (15 \text{ l/min} + 15 \text{ l/min}) \times 1,6 \text{ bar} = 290 \text{ barl}$$

Deko (zwei Taucher an einem Gerät):

$$Q_{\text{Deko}} = (4 \text{ min} \times 1,6 \text{ bar} + 6 \text{ min} \times 1,3 \text{ bar}) \times (15 \text{ l/min} + 15 \text{ l/min}) = 430 \text{ barl}$$

Gesamt:

$$Q_{\text{Aufstieg}} = 1750 \text{ barl}$$

$$Q_{\text{Gesamt}} = 2950 \text{ barl}$$

Umkehrdruck:

$$P = \frac{Q_{\text{Gesamt}}}{V}$$

$$D7: P = \frac{1750 \text{ barl}}{14 \text{ l}} = 125 \text{ bar}$$

$$D12: P = \frac{1750 \text{ barl}}{24 \text{ l}} = 75 \text{ bar}$$

Sorgfältige Tauchgangsplanung sichert das Überleben!

- Der VDST empfiehlt den **V-Planner** für die Tauchgangsplanung im technischen Tauchen (Triox, Nitrox**, Trimx*/**))
- V-Planner ist eine Software, welche anhand des **Varying Permeability Model (VPM)** Tauchgangsprofile berechnet.
- <http://www.hhssoftware.com/v-planner/>
 - Kosten 70€ für PC/Mac, 45€ fürs Smartphone
- Es gibt auch eine freie Implementation des VPM
 - <http://www.hlplanner.com/default.htm>

Tauchgangsplanung Alternativen

- **Trimix-Tauchcomputer**
 - **Der Status der meisten Tx Tauchcomputer ist eher „experimentell“**
 - **Ein Tauchcomputer ersetzt nicht die Tauchgangsplanung**
- **Trimix-Tabellen**
 - **Es sind verschiedene Trimix-Tabellen verfügbar**
 - **Tabellen sind sehr eingeschränkt in ihrer Funktionalität**
 - Feste Tiefen bzw. Zeiten
 - Keine Multilevel-TG möglich
 - Gaswechselplanung schwierig

Der V-Planner

V-Planner - steffen

Taucher Logdatei Speich. Drucken Konfig. Berechn. Bailout -Dekogas + oder - Umkehr p Info Exit

Nächster TG TG 2

Oberflächenpause 5 tage 48std 24std 000 Tage 00:00 hh:mn

OC SCR CCR

Bottom mix & travel Tiefe, Zeit, O2/He
 50, 20, 21/35

Deko Gas O2/He
 50

V-Planner 3,91 by Ross Hemingway,
 VPM Code by Erik C. Baker.

Dekompressionsmodell: VPM - B

TAUCHPLAN
 Oberflächenpause = 5 Tag(e) 0 hr 0 min.
 Höhe über N. N. = 0m
 Konservatismus = + 4

Abst.	50m		(3)	Triox 21/35	15m/min Abstieg
Tiefe	50m	16:40	(20)	Triox 21/35	1,23 ppO2, 23m ead, 29m end
Aufst.	27m		(22)	Triox 21/35	-10m/min Aufstieg
Stop	27m	0:42	(23)	Triox 21/35	0,76 ppO2, 10m ead, 14m end
Stop	24m	1:00	(24)	Triox 21/35	0,70 ppO2, 9m ead, 12m end
Stop	21m	3:00	(27)	Nitrox 50	1,52 ppO2, 9m ead
Stop	18m	1:00	(28)	Nitrox 50	1,37 ppO2, 8m ead
Stop	15m	1:00	(29)	Nitrox 50	1,23 ppO2, 6m ead
Stop	12m	1:00	(30)	Nitrox 50	1,08 ppO2, 4m ead
Stop	9m	3:00	(33)	Nitrox 50	0,94 ppO2, 2m ead
Stop	6m	6:00	(39)	Nitrox 50	0,79 ppO2, 0m ead
Stop	3m	10:00	(49)	Nitrox 50	0,65 ppO2, 0m ead
Oberfl.			(52)	Nitrox 50	-1m/min Aufstieg

Ausgasung beginnt bei 35,3m

OTU's Tauchgang: 49
 CNS Total: 18,3%

2519,2 ltr Triox 21/35
 859,8 ltr Nitrox 50
 3379 ltr TOTAL

Tiefenl. / Gas mix Dekogas

V-Planner Konfiguration

Konfiguriere Tauchparameter - Steffen

Tiefe
 Feet
 Meter

RMV's
 Cu. ft.
 Liter

Stop-Zeiten
 1 min
 30 sec
 10 sec
 1 sec

Wasser
 Salzw.
 Süßw.

CCR set pts.
 Bar
 Atm

Parameter
Deko 6 m Tiefe
Schritte 30 sec Tiefe
Stop-Schritte 3

Letzter Stop:
OC 6
CCR 6

Max. Tiefe für 100% O2 6

Max. ppO2 für Dekogas ... % O2

Dekogas Tiefen:	bis 28	28...45	45...99
	1,60	1,6	1,6

RMV: Bottom 20 Deko 18

SCR: fiO2 Atemgas-Anpassung Werte

Erweiterte Stops
Minimum / Zusätzliche Zeit 7..30 m 3
zum Dekogas wechseln: 30 + m
 Stops verlängern 2
 Alle Dekogaswechsel
 O2 Window Einfluss

Beschleunige Stops
Beschleunige die beiden letzten Stops für diese Gase (O2 deko):
 bis 28 / 25..80
 28..45 / 25..70
 50..75 / 25..50

Konservatismu
 Nominal
 + Ein
 + Zwei
 + Drei
 + Vier
 + Fünf

VPM Modell
 VPM-B VPM-B/E VPM-B + GF

Höhenangaben
Höhe über N. N. 0
Std. in Höhe 0
Höhe Anreise 0
Anreis (Std.) 0
Durchschn. Höhe letzten 2 Wochen 0
Kalibrierung Meeresh.
 Tauchpl.

Abstiegsrate
0-90, 15

Aufstiegsrate
90-21, 10
21-6, 6
6-0, 1

OK Abbruch Erw. Konfig.

Runtime-Table

35m, 30min Grundzeit, Tx30/30

V-Planner 3,91 by Ross Hemingway,
 VPM Code by Erik C. Baker.

Dekompressionsmodell: VPM - B

TAUCHPLAN

Oberflächenpause = 1 Tag(e) 0 hr 0 min.

Höhe über N. N. = 0m

Konservatismus = + 4

Abst.	35m		(2)	Triox 30/30	15m/min Abstieg
Tiefe	35m	27:40	(30)	Triox 30/30	1,32 ppO ₂ , 13m ead, 21m end
Aufst.	30m		(30)	Triox 30/30	-10m/min Aufstieg
Aufst.	21m		(31)	Triox 30/30	-10m/min Aufstieg
Aufst.	12m		(32)	Triox 30/30	-6m/min Aufstieg
Stop	12m	0:06	(33)	Triox 30/30	0,65 ppO ₂ , 1m ead, 5m end
Stop	9m	3:00	(36)	Triox 30/30	0,56 ppO ₂ , 0m ead, 3m end
Stop	6m	20:00	(56)	Triox 30/30	0,47 ppO ₂ , 0m ead, 1m end
Oberfl.			(62)	Triox 30/30	-1m/min Aufstieg

Ausgasung beginnt bei 20,8m

OTU's Tauchgang: 47

CNS Total: 17,7%

3550,5 ltr Triox 30/30

3550,5 ltr TOTAL

Runtime-Table auf den Slades



Slades mit Runtime-Table

Fotos: Steffen Kaufmann

Tauchgangskontrollblatt Triox 1/2

- Tauchgang - Kontrollblatt TRIOX -

Datum, Uhrzeit (Beginn TG):	
Ort:	
Tauchplatz:	
Name, Vorname:	
Tauchpartner:	

Daten vom vorausgegangenem Tauchgang	
Wiederholungsgruppe / Oberflächenpause:	Gruppe: _____ Pause: _____
CNS O ₂ % - Dosis:	

Gasgemisch:	
Gasvorrat:	
Erlaubter O ₂ -Partialdruck:	
Äquivalente Narkosetiefe: <i>ENP = p_a × (1 - fHe)</i> <i>END_{max} = 30 m</i>	ENP = _____ bar → END = _____ m
Maximale Einsatztiefe: <i>O₂- und N₂-Grenzen beachten!</i>	MOD = _____ m

Tauchgangskontrollblatt Triox 2/2

TAUCHGANG	geplant		durchgeführt
Tauchtiefe (D) / Umgebungsdruck (p _a):	D = m p _a = bar		D = m p _a = bar
Tauchzeit:	GRUNDzeit:		TAUCHzeit:
Zeitzuschlag vom vorigen TG:	ZZ:	GZ + ZZ:	
Deko:			
Wiederholungsgruppe:			
Gasverbrauch:			
CNS O _{2neu} %:			
CNS O ₂ % nach dem TG:			

Vers. TKTO 1.0 Rev. 04/05

© TAK NITROX / VDST

Unterschrift: _____

- **Planungsübung: Erstellen einer Runtimetable inkl. Minimumgas und Flaschengröße:**
 - Tauchgang 1:
 - 50m, 20min Grundzeit, Zweierteam / Dreierteam mit und ohne Nx50 Dekogas
 - Tauchgang 2:
 - 35m, 30min Grundzeit, Zweierteam / Dreierteam mit und ohne Nx50 Dekogas

Gaslogistik

Welches Gas für was?

- Im technischen wie auch im Sporttauchen werden zunehmend auch Gase verwendet, die sich in ihrer Zusammensetzung von Luft unterscheiden.
- **Verwendete Gase sind:**
 - *Druckluft (21% Sauerstoff, 78% Stickstoff, 1% Edelgase)*
 - *Sauerstoff (für Nitrox*/**)*
 - *Helium (für Triox / Trimix*/**)*
 - *Argon (als Tariergas)*

- **Herstellung und Einsatz von Gasen entsprechend der Anforderungen:**
 - (Tauch-)Zeit
 - Tiefe
 - Weitere (Einsatz-)Bedingungen
- **Herstellung der Gasgemische durch:**
 - *Überströmen nach der Partialdruckmethode*
 - *Füllung durch Kompression*

Nitrox-Kompressor - Anwendung



Fotos: Steffen Kaufmann



Speicherflachen-Batterie für die Vormischung

Mischpult mit Voranalyse



Fotos: Steffen Kaufmann

Ziele und Verwendung von Boostern



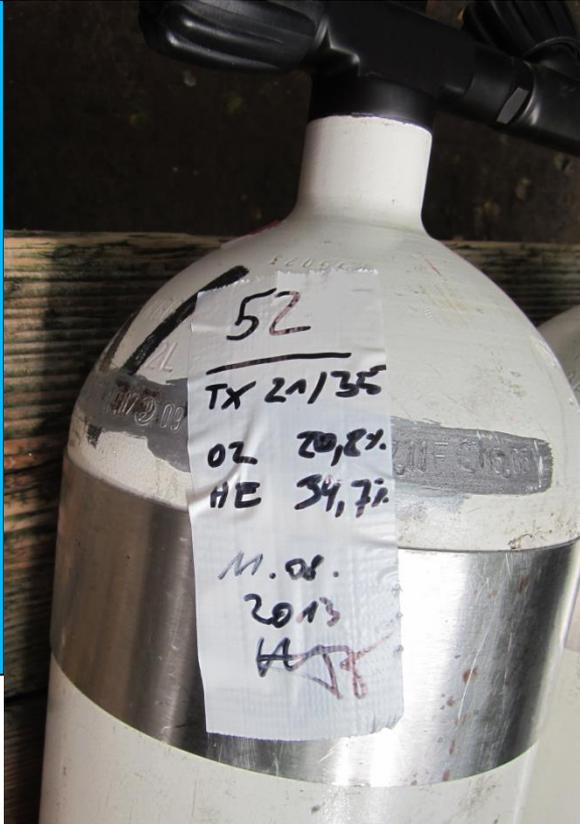
Foto: Falko Höltzer

Beschriftung und Etikettierung von Tauchflaschen

- Festgelegte MOD
- Gemisch
- Analyseergebnis O₂
- Analyseergebnis He
- Füller, Datum

45m

Tx 21/35
 21,4 % O₂
 35,2 % He
 Kaufmann,
 01.04.12



- Es **muss immer** sichergestellt werden, dass die verwendeten Gase sich in ihrer Zusammensetzung mit der TG-Planung decken!
- Daher werden die verwendeten Gase typischerweise **unmittelbar** vor dem TG Benutzung analysiert.
- Eine Abweichung von $\pm 5\%$ beim Heliumanteil wird in Bezug auf den Dekompressionsplan als Vertretbar angesehen¹. **Ggf. MOD Verschiebung beachten!**
- Eine Abweichung von $\pm 1\%$ beim Sauerstoffanteil wird in Bezug auf den Dekompressionsplan als Vertretbar angesehen¹. **Ggf. MOD Verschiebung beachten!**

¹ VDST-Ordnung Nitrox & Technisches Tauchen - Ausführungsbestimmungen

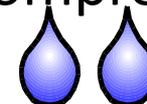
- **Genauigkeit der Messgeräte beachten!**
- **Typische Genauigkeiten** von gebräuchlichen Analysatoren
 - $\pm 0.5\%$ (**Analox 8000 Helium-Analyser**)
 - $\pm 1\%$ (**Helilyzer von Sumtec**)
 - $\pm 0.5\%$ (**NRC O2-Analyser**)
 - $\pm 0.1\% \pm \text{Digit}$ (**GOX 100 O2-Analyser**)
 - $\pm 2.0\%$ O2 und Helium (**DE-OX SUB HE & O2 Analyser**)
- Die Angaben gelten unter Standard-Bedingungen: **1013 hPa, 25 °C, Trockene Luft und nur für neue Sensoren!**

- **Wer Tauchflaschen für andere füllt, ist für den ordnungsgemäßen Zustand der Flasche verantwortlich (Betriebssicherheitsverordnung).**
- **Wer darf Füllen/Mischen?**
 - Personen über 18 Jahre:
 - Mit Sachkunde, Kenntnis der Betriebsanleitung und der Sicherheitsregeln (z. B. DTSA – Gasmischer)
 - mit Zuverlässigkeit
 - Andere Personen nur unter Aufsicht.

- **Trotz Einsatz von Boostern / Kompressoren kann Wasser in die Flasche gelangen!**
 - Völlig entleerte Flasche beim Tauchen
 - Falsches Überströmen aus Spenderflaschen
 - Keine Trocknung nach der TÜV – Prüfung
 - Fehlende Ventiltrocknung vor dem Füllen
 - Überschrittene Filterstandzeiten des Kompressors



Ein Tropfen Wasser in einer 10 l-Flasche ist bereits die Grenze der DIN EN 12021



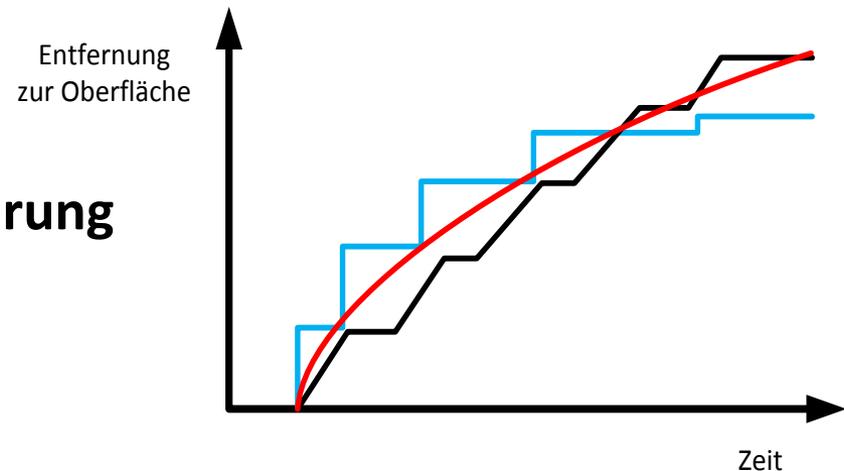
Zwei Tropfen Wasser entsprechen einer Luft-Sättigung bei 20°C - Vereisungsgefahr !

Praxis

Abläufe und Übungen

- **Von oben nach unten von links nach rechts!**
 - Sitz der Maske?
 - Ventile offen?
 - Jacket befüllen, Schnellablässe prüfen, Inflator prüfen
 - Trocki befüllen, Ventilstellung prüfen
 - Blei?
 - Lampe? Reserve Lampen?
 - Druckprüfung
 - Ggf. Stage überprüfen, Ventil geschlossen, Beschriftung und Druck i. O.?
- **Bubblecheck (auf 3-5m)**

- Ein Dekompressionsstopp ist ein Halt, während des Aufstiegs, auf einer bestimmten Tiefe.
- Während der Dekompressionsstopps sollte keine starre Haltung eingenommen werden, vielmehr sollte eine leichte Bewegung zur Durchblutungsförderung stattfinden.
- Während der Dekompressionsstopps sollte eine horizontale Wasserlage eingenommen werden (ggf. Boje als Orientierung nutzen).
- Gruppe bleibt zusammen!



Approximation der e-Funktion mithilfe von künstlichen Stopps

- 1. Kontrolle des Backupreglers**
2. Schließen des Hauptventils mit rechten Hand, Hauptregler mit der rechten Hand aus dem Mund und mit der linken Hand den Backupregler in den Mund nehmen und Hauptregler an den rechten oberen D-Ring klippen
3. Hauptventil mit der rechten Hand wieder öffnen, Hauptregler prüfen und zurückwechseln auf Hauptregler
4. Brücke mit der rechten Hand schließen, mit der linken Hand öffnen.
5. Zweitventil mit der linken Hand schließen, Backupregler leer atmen und Zweitventil wieder öffnen
- 6. Kontrolle der Ventilstellungen**

1. **Mit Tauchpartner verständigen, dass die Boje gesetzt wird.**
2. Tiefe kontrollieren, Partner (Sicht-) Kontakt sicherstellen
3. Boje aus der Tasche holen und ggf. Zusammenbauen
4. Sichtkontakt zum Partner suchen
5. Wechsel von Haupt- auf Backupregeler
6. Sichtkontakt zum Partner suchen
7. Boje befüllen
8. Aufgestiegene Boje sichern
9. Rückwechseln auf Hauptregler und Ende der Übung

Die Gruppe sichert und überwacht die gesamte Übung!

- **Sammeln der Gruppe auf 3-5m**
- Ein Gruppenmitglied lässt sich „bubblen“, alle anderen Gruppenmitglieder suchen nach Unregelmäßigkeiten an der Ausrüstung (Blasenabgang, Schlauchführung, offene Schnallen, Taschen, etc.).
- Derjenige der gerade überprüft wird, hält die Luft an und wartet bis die Gruppe fertig mit dem „bubblen“ ist.
- Nachdem alle Gruppenmitglieder überprüft worden sind geht der gemeinsame Abstieg weiter.

Ein Bubble-Check bringt Ruhe in die Tauchgruppe nach dem Abtauchen! Auch ist er ein guter Test, ob der Druckausgleich bei allen “funktioniert”.

Nutzung des eigenen zweiten Computers. Ist das nicht möglich:

- Nutzung der restlichen Computer in der Tauchgruppe (unterschiedliche Vorsättigung beachten)

oder

- Setzen einer Boje und Minimum Dekompression an der Boje
 - Abhängig vom Tauchgang: z. B. 2min auf 9m, 10min auf 6m und „bis die Flasche leer“ ist auf 3m
 - Abschätzung der Tiefe: Nutzen der Knoten im Bojenseil auf 3m, 6m, 9m und 12m
 - Abschätzung der Zeit: Ausnutzung das ein Mensch ca. 12-15 Atemzüge pro Minute hat

- **Zum Tauchen welcher Gemische befähigt Triox?**
- **Warum ist Triox besser als Luft?**
- **Was ist die END? Was ist MOD? Welche Partialdruckgrenzwerte gibt es?**
- **Warum trägt gute körperliche Kondition zur Tauchsicherheit bei?**
- **Wie berechne ich eine Runtime? Was muss ich beachten?**
- **Welche Anforderungen gibt es an die Ausrüstung?**

Wie geht es weiter?

- **Mit der Praxis! Tauchen lernt man nur durch Tauchen!**
- **Ein Wochenende (Samstag / Sonntag) in Hemmoor mit 2 TG am Tag mind. 60 min dauer - 4 Übungstauchgänge in horizontaler Lage**
 - Jeder Übungstauchgang beinhaltet die vollständige Planung, Vor- und Nachbriefung mit Bestimmung des AMV nach jedem TG.
- **Vier Übungsschwerpunkte:**
 - Einführung in das teamorientierte Tauchen
 - Gasanalyse und Etikettierung der Gase, Pre-Dive-Sequence inkl. Bubblecheck sowie anschließend die Einhaltung der MOD/END und der Aufstiegs geschwindigkeit (→ 21 m mit 10 m/min; 21 m → 6 m mit 6 m/min; 6m → 0m mit 1 m/min)
 - Ventilmanagement
 - Aufstiegsübungen mit simulierten Stops und Bojenmanagement

Vielen Dank!

für eure Aufmerksamkeit!



Fragen, Anmerkungen und Verbesserungen?
sk@steffen-kaufmann.com

- **Fotos**
 - **Schlauchführung mit Taucher**
 - **Spool mit Knoten**
 - **Bottom-Timer,**
 - **Flaschen und Etikettierung**
- **UW Bilder und Videos?**
- **Alle Grafiken selbst zeichnen**