

SUB
MARINE
CONSULTING

Dekompression

Manual Version 2012 / 13
Band II:
Algorithmen, Theorien &
Fortgeschrittene Anwendungen

THE

SUB
MARINE
CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

WWW.SMC-DE.COM

Vorwort / Motivation

**“Each diver must become a decompression specialist!”
The Technical Diving Handbook, Gary Gentile, p. 178**

Die freundliche Vorwarnung!

Obacht: dies ist kein Lehrbuch für TEC-Novizen und erst recht keines für frischgebackene Taucher. Wenn dich die nachfolgenden Seiten nicht langweilen oder gar frustriert zurücklassen sollen, prüfe bitte jetzt, in welchem Umfang du die erforderlichen Voraussetzungen erfüllst (siehe Abschnitt „Voraussetzungen“ weiter unten).

Da dies der zweite Band der Serie zum Thema „Dekompression“ ist, beinhaltet er weitere mathematische Details zu den Algorithmen, Theorien und ihre physiologischen Grundlagen sowie fortgeschrittene Anwendungen und ihre medizinischen Grenzen. Damit wird vom Umfang, der Detailtiefe und vom Anspruch die Grenze der traditionellen (Tec-) Taucherausbildung wesentlich überschritten!

Tipp:

Falls du über die Voraussetzungen noch im Zweifel bist, beschaffe dir den ersten Band dieser Serie. Es ist das Manual zum PADI & SSI Specialty „Tauchcomputer & Tauchtabellen“; erhältlich über: www.SMC-de.com. Dort werden die Grundlagen, also eine Einführung in die wesentlichen Ideen und Konzepte der Dekompressionsphysiologie und der Dekompressionsrechnung sowie viele Tauchtabellen und historische & aktuelle Tauchcomputer gezeigt und deren Funktionsweise erklärt.

Die meisten Probleme beim Tauchen, auch beim technischen Tauchen, treten in den folgenden Gebieten auf:

- Atemgasmanagement (zu wenig, das falsche ...)
- Tarierung (zuviel oder zuwenig Gewicht, Handhabungsprobleme mit Bleisystem/Auftriebskörper/Trocki)
- Gesundheitliche Probleme (Überanstrengung, Auskühlung oder Überhitzung, Krankheit, fehlende Fitness, ...)
- Strömungen und Tiefe (Narkose und/oder CO₂ Vergiftungen)
- Psychologische Dinge wie: Orientierung in der Höhle verloren, Leine nicht benutzt, ...
- rein technische Probleme: Automat, Computer, Lampe, Maske, Scooter, etc. defekt, Tabelle weg: und keine Redundanz vorgesehen; Rebreather nicht eingeschaltet, Wassereintrich im Scrubber, in der Leine verfangen!

in der Regel einhergehend mit der Mißachtung des Buddy- / Team Prinzips. Allen diesen Gebieten und dem damit zusammenhängendem Risikomanagement wird in den meisten Kursen ausreichend Zeit gewidmet. Probleme oder gar Todesfälle im Zusammenhang mit der Dekompression treten vergleichsweise hierzu eher seltener auf. Was soll dann ein Spezialkurs zum Thema „Dekompression“ vermitteln?

Dass die übliche Ausbildung zum Sporttaucher bei Kenntnissen bezüglich sogenannten Nullzeit-Tauchgängen (NDL TG) stehen bleibt, soll hier nicht diskutiert werden. Allenfalls wird noch „versäumte Dekompression“ erwähnt und daß echte Deko-TG gefährlich und kompliziert sein sollen. Aus dem Blickwinkel des zunehmenden Durchschnittsalters sowie der abnehmenden körperlichen Fitness des durchschnittlichen Hobby-/Urlaubstauchers ist diese Vorgehensweise bei der traditionellen Tauchausbildung mit „Sicherheit“ sinnvoll!

(Zahlen aus den USA von 1996: das Durchschnittsalter des Tauchers ist 37 Jahre, Durchschnittseinkommen: 73.500 US \$)

Wir wollen hier jedoch im Bereich des technischen und kommerziellen Tauchens die physiologischen und physikalischen Grundlagen erarbeiten und mit diesen Kenntnissen anwendbare, relativ sichere und auch erweiterbare Dekompressions-Strategien propagieren.

Da die medizinischen Vorgänge beim Auftreten von Dekompressionsunfällen (= Decompressionsickness, englisch abgekürzt: DCS) derart komplex sind, wollen wir ebenso ein gesundes Mißtrauen gegenüber Tauchcomputern vermitteln sowie den Blick für die Einfachheit und Unzulänglichkeit der bisherigen Tauchtabellen und Dekompressions-Modelle schärfen. Letzten Endes wird das Unwissen über DCS/DCI-Phänomene in den sogenannten „Kompartimenten“ und den hinzudefinierten Halbwertszeiten versteckt. Darüberhinaus gibt es hier noch den einen oder anderen Tipp über die physiologischen Hintergründe des DIVE Programmchens: ihr könnt das Programmchen nehmen, um eure run-times oder eure gekaufte Desktop-Dekosoftware zu kontrollieren.

Gleichzeitig soll genau dieses, aus dem Zeitraum des 19. Jahrhunderts bis heute, gewachsene und sehr breit gefächerte und manchmal recht mühsam zu erlangende und weit verstreute bisherige Spezialwissen in kompakter, komprimierter und verständlicher Form einem weiteren Kreis zugänglich gemacht werden. Als Hintergedanke steht die kontinuierliche Weiterentwicklung von Dekompressionsalgorithmen und Desktop Deco Software durchaus im Raum. Darüberhinaus wäre es schön, wenn wir hier eine solide Wissensbasis vermitteln könnten um damit gut ausgebildete TEC-Taucher zu befähigen, praktische Erfahrungen und Verbesserungen in die theoretische Welt der Dekompressionsforscher zu spiegeln.

Zum Thema „Deko“ noch ein paar pointierte (☺) Aussagen:

1. **„Es gibt keine Nullzeit Tauchgänge!“ (Dr. Bernd Aspacher (⚓ , (*) G-Tech Konferenz 16.11.2002, Esslingen)**
2. **„Every Dive is a Decompression Dive!“ (ALBI, CE 1985 in Elat / Israel(**))**
3. **... because at the time the Navy had decided you couldn't do decompression diving. Somehow, it was inherently dangerous, and the only way you could do decompression diving was if the country itself was under attack. (Dr. Edward Thalmann, Naval Forces under the Sea: The Rest of the Story [113], p. 68**

(Als ca. 1979/80 der Real-Time Algorithmus für die const.-pO₂ Tabellen für den MK 15 Rebreather eingeführt wurden.)

4. **There is really no such thing as a “no-decompression” dive. (Alex Brylske, [121] “Beating The Bends”, p. xii)**

Damit ist zum Einen die statistische Natur von Dekompressionsunfällen gemeint, zum Anderen die Tatsache, daß jeder Aufstieg zwangsläufig eine Dekompression bedeutet, vorallem wenn auch die vorgeschriebene/sinnvolle maximale Aufstiegsgeschwindigkeit eingehalten wird! Das peinlich genaue Einhalten einer Dekompressionsvorschrift (sei es aus einer Deko-Tabelle oder die Anzeige auf dem Tauchcomputer) schützt niemanden vor DCS! Dieses mehr oder weniger zufällige Verhalten ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen Tauchunfallarten, wie z.B. dem plötzlichen Auftreten einer Konvulsion durch Sauerstoffvergiftung bei pO₂ = 4,0 Bar oder der Bewußtlosigkeit bei einem Sauerstoffpartialdruck von weniger als 0,1 Bar.

Die Dekompressionsvorschriften beruhen eher auf Erfahrungen denn auf nachrechenbaren Tatsachen. Als abschliessendes Beispiel mag die Verkürzung der Nullzeiten dienen, auch als Veranschaulichung des Verfalldatums vermeintlich gesicherten Wissens:

- U.S.Navy Tabelle (1965): 30 m / 25 min.
- Deco 2000 (2000): 30 m / 15 min.

Die geschilderten Unkenntnisse, die statistischen Verhaltensweisen sowie die noch recht junge Disziplin der hyperbaren (Überdruck-) Medizin läßt uns gemeinsam folgenden Schluß ziehen, der auch als Motto über diesem Spezialkurs stehen könnte: wir haben es hier weniger mit einer exakten Wissenschaft zu tun, dafür eher mit einer Kunst und gesundem Menschenverstand, halbwegs sinnvolle Deko-Empfehlungen zu formulieren!

**“SWAG’s: this might be a Scientific Way At Guessing!“
R. W. Hamilton, The Proceedings of the 1990 Hypobaric Decompression Sickness
Workshop, p. 208**

Weiterhin finden recht zahlreiche Ergebnisse aus verwandten Zweigen der hyperbaren Medizin Eingang in diese Domäne: diese stammen aus Forschungen mit Caisson (Tunnel)-Arbeitern und Fliegern. Dem prinzipiellen Unterschied in den Tauchbedingungen zwischen Caissonarbeitern und (Sport)-Tauchern ist ein eigener Abschnitt gewidmet. Resultate aus der Fliegerei bzw. Raumfahrt wollen wir hier nicht berücksichtigen. Hierbei werden nämlich i.d.R. bei Atmosphärendruck gesättigte Versuchspersonen einem plötzlichen Unterdruck (z.B.: von 1,0 auf 0,2 Bar) ausgesetzt. Dies wird als „explosive Dekompression“ bezeichnet. Das Druckverhältnis von 5 (1,0 : 0,2) sowie das Volumenverhältnis ist beim Auftauchen von 40 m Tiefe zur Oberfläche durchaus vergleichbar (Boyle-Mariotte), nicht jedoch die relative Zusammensetzung der Gase ($p\text{CO}_2$ und $p\text{H}_2\text{O}$ sind geändert) sowie die absolute Menge der bewegten Inertgasmoleküle (Henry). Hierbei gleichen die Flieger / Raumfahrer eher Sättigungstauchern und nicht Bounce-/Jump- Divers. Desweiteren ist das zeitliche Einsetzen der DCS Symptome total verschieden: im Schnitt treten diese ca. 1 - 2,5 h nach Druckentlastung auf. Weiterhin haben die geänderten $p\text{CO}_2$ und $p\text{H}_2\text{O}$ Auswirkungen auf die Größe des „Sauerstoff-Fensters“ (siehe den gleichnamigen Abschnitt weiter unten, es wird kleiner) und somit Einfluß auf Blasen-Größe (die werden deshalb größer) und Stabilität (die werden aus diesem Grunde stabiler)!

Nichtsdestotrotz hier noch eine eher etwas allgemeinere Bemerkung: Deko-TG sollten nur von erfahrenen, hierfür speziell ausgebildeten Tauchern / Taucherinnen unternommen werden. Körperliche Fitness und angepaßte Ausrüstung sind ein Muß!!! Echte Deko-TG dürfen nur sorgfältig geplant, sinnvoll vorbereitet und präzise kontrolliert durchgeführt werden. Andernfalls kann das Ergebnis leicht ein Aufenthalt in der Kammer sein!

Für den interessierten Leser/Kursteilnehmer sind in den Kapiteln „Originalliteratur“ die wichtigsten grundlegenden Literaturstellen dokumentiert. Die Zusammenfassung historischer Werke und aktueller Skripte, üblicherweise alle in Englisch, sei als Startpunkt für eigene Nach-Forschungen anempfohlen! Aus gleichem Anlaß ist auch das Kapitel „Formelkram“ etwas ausführlicher gestaltet! Als weitere Quelle diene nicht nur [die Bücherliste von:](#)

<http://www.divetable.de/books/index.htm>

sondern auch und vor allem die ca. 500 NEDU Reports (seit 1915, ca. 35.000 Seiten), die Reports von NMRI sowie die ca. 51 UHMS workshops (seit 1973, ca. 10.000 Seiten), die UHMS Meetings und das UHMS Underwater Symposium von 1955 – 2004 (ca. 5.800 Seiten) sowie Veröffentlichungen im „Journal of Applied Physiology“ (JAP); weiterhin die hervorragenden Dokumente aus dem SEA GRANT Depository (ca. 40 Dokumente mit ca. 3.800 Seiten, 150 MB (keine Bilder ‘drinne ...): alles in allem ca. 11000 Dateien in 800 Ordnern, welche 25 GB Platz auf unserer C-Platte beanspruchen (per 08/2011)...

Auf der Gratwanderung zwischen Physik, Mathematik, Physiologie und Anatomie einerseits und Erfahrung, Nichtwissen (=Statistik) und Spekulation andererseits wünscht SubMarineConsulting allen Beteiligten viel Spaß, gute Nerven und Durchhaltevermögen. Abschliessend noch ein Zitat von zwei Kollegen von uns (A. Marroni, D.H. Elliot, DAN Europe Foundation; aus der Veröffentlichung „Advanced Recreational Diving: Advantages and Hazards“):

“The technical diver also seems to possess a faith in the mathematical accuracy of decompression theory which is difficult to share!”

Unsere sinngemäße Übertragung: „Der technische Taucher als solcher besitzt einen starken Glauben in die mathematische Exaktheit der Dekompressions-Theorie. Dieser Glaube ist nur sehr schwer nachvollziehbar!“ (Kein weiterer Kommentar von unserer Seite ...)

Damit sind wir auch schon bei einem weiteren Fokus dieses Manuals und Kurses: die meisten Materialien der TEC-Ausbildungsorganisationen weisen bezüglich unseres Themas hier Fehler (im schlimmsten Fall), Lücken (i.d.R.) und Schwächen (bestenfalls) auf. Dem soll abgeholfen werden: betrachtet den Kurs als Ergänzung und Erweiterung dessen, was ihr in euren „deco procedures“ (oder wie auch immer der entsprechende Kurs heissen soll) gelernt habt.

Dipl. Phys. “ALBI”
PADI Master Scuba Diver Trainer Instructor # 33913
SSI Advanced Instructor # 12653
Technical Extended Range Instructor
Esslingen, C.E. Januar 2001 (2. Version)

Stand des Dokuments: c:\dive\Manuals\Deko-Spezi\update_11\Manual_097.docx, vom 07.09.2011, Anzahl Seiten: 240
ohne Formelsammlung

(**) C.E. = Common Era, engl.: also in etwa: „nach der Zeitenwende“, analog AD, jedoch ohne die dahinterstehenden religiösen Annahmen

(*) ל' ת hebräische Abkürzung: Ehre sei seinem Andenken!



**“That’s diving, no picnic!”
David “Dudu” Vered, Elat / IL, C.E. 1986**

zu den einzelnen Kapiteln ...

**“... damit der Leser wisse, welche Farbe das Glas hat, durch das er schauen muß!”
Arno Schmidt, Die Gelehrtenrepublik**

Natürlich kann diese Zusammenstellung nur ein partielles Bild vom aktuellen Wissensstand, von aktuellen Tabellen, Computern und Experimenten liefern. Die Auswahl ist durchaus subjektiv geprägt. Letzten Endes ist die didaktische Aufbereitung sowie die Brauchbarkeit für einen Spezialkurs und natürlich der Nutzen für das praktische Tauchen die Maxime. Sicherlich spielt unsere Erfahrung in –zig TG, mit vielen Computern und fast allen gebräuchlichen (und ungebräuchlichen) Tabellen und Gasgemischen eine Rolle. Nichtsdestotrotz haben wir versucht, eine relativ umfassende Darstellung zu liefern.

Im Kapitel „Handwerkszeug“ werden in loser Folge die wesentlichen Begriffe eingeführt und lexikonartig erläutert. Diese Begriffe tauchen dann immer wieder auf, hauptsächlich bei den „Modellen“. Dort werden die zentralen Dekompressionsmodelle in knapper und, so es ging, nicht-mathematischer Form erklärt. Diese Darstellung wurde bewußt so gewählt, da jedes der angeführten Modelle mit einem immensen Formelapparat ausgestattet ist und jeweils für ein mehrtägiges Spezialseminar reichen würde. Für Formelfreaks gibt es das spezielle Kapitel „Formelkram“ im Anhang welches hauptsächlich die ZH-L12/16 Formeln zusammenstellt sowie die Koeffizienten der älteren Perfusionsmodelle und die wichtigsten Formeln zum „tiny“ RGBM, also den RGBM Modellen, die auch in handelsüblichen Tauchcomputern bzw. den üblichen Desktop-Decosoftwares laufen (diese Modelle werden auch: „modified RGBM“, „recreational RGBM“, „folded over ZH-L“, oder auch „Haldane imbedded“ bezeichnet).

Ist ein Thema aus dem „Handwerkszeug“ durch einen Befehl oder eine Prozedur über unser Tauchgangsimulationsprogrammchen „DIVE“ abzubilden, erscheint am Ende des Abschnitts ein griechisches Delta (für D wie „DIVE“): (Δ).

Die „Merkwürdigkeiten“ und auch die „statistische Absicherung“ sowie die „Grenzen der Modelle“ sind zunächst pure Aufzählungen verschiedener Fakten: diese werden dann im Kurs ausführlich diskutiert da ein breiter Raum für Interpretationen geboten wird.

Die tatsächliche Durchführung wird dann in „Dekompression in der Praxis“ vorgestellt, mit den „Notfällen“ und abschliessend den „Rekompressionstechniken“.

Vielleicht abschliessend noch eine weitere Vorwarnung: dies ist **kein (sic!)** 100% wissenschaftlicher Text, sondern ein Zusammenstellung dessen, was zur Zeit aktuell und geprüft ist: es soll ein lesbares Manual für Tauchschüler darstellen und keine Doktorarbeit! Aus diesem Grunde haben wir nicht für jede Textstelle und jedes Zitat die entsprechende Quelle erwähnt, sondern nur bei einigen ganz wenigen und zentralen Aussagen! Damit ersichtlich ist, welche Dinge wir uns nicht aus den Fingern gesaugt haben, sind die Zitate und Bilder üblicherweise in der Originalsprache geblieben... (Na ja: so war das zumindest in der Anfangszeit, so von 2000 – 2010, gedacht. Nachdem sich aber die Anzahl der Nachfragen: „Wo habt ihr dieses denn her? ... und jenes? Wo kann ich noch mehr Details nachlesen???“ gehäuft hatten, haben wir uns entscheiden, die „flüssige“ Lesbarkeit zugunsten einer klareren Quellenlage zu opfern ...und ein paar weitere, insbesondere auch historische, Quellen zu nennen. Allerdings hat das nicht ganz 100%ig geklappt, nachdem einiges innerhalb der letzten 10 Jahre irgendwo in den Weiten des WWW verschwunden ist... Sachdienliche Hinweise, die zur Ergreifung der einen oder anderen unklaren Quelle führen, werden wir freundlich registrieren ...).

Im Anhang findet ihr auch eine kleine Tabelle mit den Übersetzungen der hier vorkommenden englischen Medizin-Begriffe. Gleichzeitig versuchen wir, die englische Terminologie einzuführen: üblicherweise in Klammern (...) hinter dem deutschen Fachbegriff, so es einen sinnvollen gibt. Bei Worten wie „back gas“ oder „stage“ o.ä. verbleiben wir bei dem einfacheren und deutlicheren Original.

Bottom Line: es werden hier jede Menge unterschiedlichster Theorien und Methoden, Tabellen und Prozeduren vorgestellt: zunächst kommentarlos! Es wird auch nicht der Versuch unternommen, das eine über das andere zu erheben oder gar eine Empfehlung auszusprechen! Ganz das Gegenteil soll erreicht werden: nämlich mit der hier dargebotenen breiten Basis eine persönliche und unabhängige, aber fundierte Meinung zu entwickeln und dann eine selbstständige Entscheidung zu treffen (und nicht etwa eine die durch Verbands-Scheuklappen oder Ausbildungs-Dogmen bzw. Kurs-Brimborium und Plastik-Kärtchen beeinflusst wird ...)

Nochmal zur gefälligen Erinnerung: wir reden hier zwar viel über „Modelle“, jedoch sind diese „Modelle“ hier eher Rechenvorschriften im Sinne einer Inertgas-Buchhaltung für Kompartimente. Auch ganz ausgefeilte Rechenvorschriften (Algorithmen) sollten uns nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, daß es sich nicht um ein Modell im streng wissenschaftlichen Sinne handelt. Ein Modell welches diesen Ansprüchen genügt, müßte in der Lage sein, die Vorgänge bei der Blasenentstehung mittels „ersten Prinzipien“ abzuleiten und Vorhersagen zu machen, wo und wann Blasen entstehen und welche Auswirkungen diese haben, bzw. welche Inertgasdosis ab welchem Druckgradient wann und wo und welche DCS Symptome hervorrufen wird: **keines** der hier besprochenen „Modelle“ taugt hierzu! Nochmals: die Deko-Empfehlungen beruhen ausschließlich auf Erfahrung. Das wollen wir nicht vergessen, sonst fallen wir einem Phänomen anheim, welches Hills (B.A.) schon vor langer Zeit als „**Computer Narcosis**“ bezeichnet hat.

**“The only constant in DCS research remains its mystifying variability!”
Paul Weathersby**

Voraussetzungen

**“Nur jene möchte ich zum Lesen veranlassen, die ernsthaft mit mir meditieren und ihren Geist von den Sinnen sowie von allen Vorurteilen wegführen können und wollen!”
René Descartes**

Zum Besuch des Kurses und zum genüßlichen Verarbeiten dieses Manuals solltet ihr am Besten ein bisschen technisches Englisch beherrschen und ein Tauchtabellen-Specialty absolviert haben (z.B. dasjenige vom TSC-ES) sowie mindestens eine Advanced EAN und/oder Technical Nitrox Zertifizierung vorweisen. Habt ihr weiterhin noch eine andere TEC Zertifizierung wie TRIMIX: umso besser! Wenn ihr dann noch Spaß habt an Formeln, physiologischen Grundlagen und ein bisschen ingenieurmäßig unterwegs seid, stehen euch die Pforten zum „deco workshop“ und zu diesem Manual weit offen!!!

Grundlegende Kenntnisse, wie z.B. Symptome der Dekompressionskrankheit, Unterscheidung nach DCS I & II, AGE / VGE (Rescue Niveau), Erste Hilfe bei DCS Problemen sowie Prinzipien des Umgangs mit Mischgasen und Partialdrücken, desgleichen die Handhabung (irgendeiner) Standard-Tauchtabelle wird als bekannt (und gekannt!) vorausgesetzt und wird auch in diesem Kurs nicht wiederholt werden.

Als Einstieg, oder auch als Wiederholung, resp. für euch als Kontrolle ob ihr das bisher Gelernte aus euren vorigen Kursen auch anwenden könnt, soll das Quiz zum Anfang (Teil I) dienen: beantwortet jetzt die Fragen sofort; nur mit einem Taschenrechner als Hilfsmittel, Zeitdauer max. 10 Minuten.

Dank / credits

**“Geister, nicht Körper irren und täuschen sich!”
Baruch de Spinoza**

Dank all denen, die mich in diesem und anderen Projekten (Computer & Dive Tables Specialty Manual, Nitrox Manual, Rebreather Manual, Dekompressions Spezialkurs, Helmtauchen) vorbehaltlos bzw. enthusiastisch unterstützt haben! Dank auch den Organisationen, die mir die copyrights zugestanden haben! Dank für die vielen Infos und Tipps die ich per e-mail erhalten habe! Dank auch an die vielen Divemaster und Instructor-Kollegen, die die Manuals probegelesen haben und sozusagen Versuchskaninchen bei meinen Kursen waren! Namentlich möchte ich vor allem erwähnen:

Jeff Nadler:

damals President DSAT, von dem ich als einer der ersten in Europa das DSAT Skript (Entwicklung und Test des RDP) erhalten habe

Max Hahn:

der mir, lange Zeit bevor der MicroBrain und dann später der DC 11 auf den Markt gekommen ist, es ermöglichte, die Koeffizienten und Nullzeiten dieser Geräte/Tabellen zu studieren

Tobias Dräger:

ehem. Productmanager Rebreather **DRÄGER DIVE**; jaha: und die gute alte DRÄGER Tabelle !!!

Yron Yariv:

NAUI Instructor, ELAT: bei meinem **ersten NITROX Kurs** auf hebräisch Anfang der 90-iger Jahre in Elat, Israel im berühmten AQUASPORT

Dave Dinsmore:

director NOAA diving program (National Oceanic and Atmospheric Administration): guter Input zum NOAA Manual Version 4

Chuck Young:

Master Diver H NSSC der United States Navy (U.S.N): für seine frohe Art, mit dem USN Manual umzugehen ...

Karl E. Huggins:

USC Catalina Hyperbaric Chamber: für seine HUGI Tabelle und Tipps und Tricks damit

Ron Nishi:

Senior Diving Scientist des DCIEM (Defence & Civil Institute of Environmental Medicine) seit 01.04.2002: Defence R & D Canada - Toronto, DRDC Toronto

den PADI Course Directors:

in zeitlicher Reihenfolge: Harald Teltschik, David Jackson, Ben (Bernd K.) Walzinger: für Support, Ideen und feedback ... Insbesondere Ben hat mich durch sein konstantes Interesse an dieser Materie seit 2002 und schließlich durch unseren gemeinsamen workshop im Februar 2006 in Phuket zu Höchstleistungen angespornt ...

Und zum Beginn, und vor Allem: **Rainer Sommerkorn**: der mich in die Geheimnisse des Presslufttauchens und der U.S.Navy Tabelle in der Mitte der 70iger Jahre an meinem geliebten Sinai Strand zwischen Eilat und Ras Mohammad, eingeweiht hat. Seit dieser Zeit bin ich für das normale Leben über Wasser irgendwie verdorben ...

Inhaltsverzeichnis

“Wer vieles bringt wird manchem etwas bringen!“
Goethe, „Faust“

VORWORT / MOTIVATION	1
ZU DEN EINZELNEN KAPITELN	5
VORAUSSETZUNGEN	7
DANK / CREDITS	7
INHALTSVERZEICHNIS	8
EIN QUIZ ZUM ANFANG, TEIL I	13
EIN QUIZ ZUM ANFANG, TEIL II	14
DAS HANDWERKSZEUG	15
Partialdruck.....	15
Inertgasaufnahme	15
Gradient.....	16
Gleichgewicht (engl: equilibrium)	16
Sättigung	16
Henry'sche Gesetz.....	16
Haldane	18
Kompartimente	18
Körpergewebe	18
Halbwertszeit.....	19
Exponentialfunktion	20
Biologische HWZ.....	21
Halbwertszeit, physiologische Definition von $t_{1/2}$	21
Löslichkeits- / Diffusionskonstanten (Partitions- / Permeationskoeffizienten)	21

Die „2:1“ Theorie	22
Übersättigung	23
Supersaturation Ratio (R_{SS})	23
tolerierte Überspannung (tolerierter Umgebungsdruck)	24
M-Wert.....	25
Druckgraph / pressure graph.....	25
Austauchstufen / Deko-Stufen.....	27
Austauchzeit	27
explosive Dekompression.....	27
Blasen	30
Mikro Blasen (micro bubbles) und Silent Bubbles.....	30
Physik der Blasen	31
Blasenentstehung.....	34
Blasenform (reale).....	37
feedback loop.....	40
Doppler-Nachweis	41
Doppler Grade.....	42
Praktische Durchführung einer Doppler-Ultraschallmessung.....	43
“Bubbler“.....	45
Zusammenhang zwischen Doppler Grade und DCS.....	45
DCI vs. DCS und AGE / VGE.....	46
DCS Typ I, II, III	46
Bilder von Hautsymptomen	48
Einteilung der Symptome	50
Modell zur Behandlung	51
Pathogenesis von DCS (Schema im Überblick)	51
Respiratorischer Koeffizient R_q	53
Ceiling	53
Abtauch- und Auftauchrampe	53
Leit- oder Kontrollkompartiment.....	54

Wiederholungsgruppe	55
Zeitzuschlag	56
Oberflächenpause (OFP), surface interval (SI) credit	56
Fliegen nach dem Tauchen, Bergseetauchen	57
Gegendiffusion (Counterdiffusion, isobaric; ICD)	57
Asymmetrische Entsättigung	60
EL Modell	60
Grahams Gesetz	62
Sauerstoff-Fenster (oxygen window)	62
Physikalische versus chemische Lösung von Sauerstoff im Blut	69
Sauerstoff Kaskade (oxygen cascade).....	69
Sauerstoff Effekte.....	70
Lorrain Smith.....	70
Retention (Kohlendioxid R., CO ₂ Retainer)	70
Sauerstoff Vergiftung	71
R/L Shunt (Rechts-/Links-Shunt)	71
Spätfolgen	73
Adaption.....	74
Vertrauensintervall.....	75
Meyer-Overton	78
Atemwegswiderstand	79
EINIGE BESONDERHEITEN UND AUCH MERKWÜRDIGKEITEN	80
DIE MODELLE	85
#1 Perfusionsmodelle	86
Weiterentwicklungen von #1 (Neo Haldane)	89
Das „AB-Modell“	99
Das „Ein-Kompartiment-Modell“ (single-tissue)	100
„Kontinuierliche Halbwertszeiten“	100
VVAL18	101
#2 Diffusionsmodelle	103

#3 Thermodynamisches Modell	107
#4 VPM: Varying Permeability Model.....	109
#5 RGBM: Reduced Gradient Bubble Model.....	116
#6 TBDM: Tissue Bubble Diffusion Model.....	120
#7 Maximum Likelihood / Statistisch basierte Tabellen.....	122
#8 Hybrid-Modelle	130
PRAKTISCHER VERGLEICH.....	134
RGBM Lufttabellen (für AIR: 27, 30 & 42 m, jeweils 30 & 25 min. GZ)	136
Hahn Lufttabellen (27, 30 & 42 m).....	137
DIE PRINZIPIELLEN GRENZEN ALLER MODELLE	138
PRINZIPIELLE SCHWÄCHEN VON PERFUSIONSALGORITHMEN BEI EINEM ODER ZWEI INERTGASEN	140
EINE KLEINE GESCHICHTE DER ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE	142
DIE STATISTISCHE ABSICHERUNG DER TAUCHTABELLEN	157
Caisson / Tunnelarbeiter	158
DEKOMPRESSION IN DER PRAXIS	162
IANTD Luft Tabelle für „accelerated deco“ mit EAN >75	174
Way points	177
Gradienten Faktoren / Gradient Factors GF.....	177
VGM.....	179
PDIS	180
Allgemeine Verringerung von Risiken	181
Optimierte Austauschstrategien / optimierte Deko	182
Das Copernicus Modell.....	182
Umgang mit der Sauerstoff Thematik / Ox-Tox.....	185
NOAA Oxygen Exposure Limits (ZNS Belastung).....	185
OTU Tabelle: Oxygen Tolerance Units; aus NOAA V4, Table 3.7, S. 3-25	187
REPEX	188

JENSEITS VON 1,6	189
Tauchen mit reinem Sauerstoff: Auszug aus dem U.S. Navy Manual 14-6	189
Faktoren, die die ZNS-Toxizität begünstigen	194
Sauerstoff-Korrektur	194
Sauerstoff-DCS (Oxygen Bends).....	195
Pre-Breathing	196
Dekompression und Gas-Logistik bei einem 50 m TRIMIX TG	196
NAUI RGBM Trimix Tabelle für TX 16 % O ₂ , 24 – 40 % He, 44 – 60 % N ₂	199
IANTD Trimix Tabelle für TX 20 % O ₂ , 25 % He, 55 % N ₂	199
NAUI RGBM Helitrox Tabelle für TX 26 - 30 % O ₂ , 13 – 17 % He, 53 – 61 % N ₂	201
Dekompression bei Sättigungs-Tauchgängen	203
Dekompressionsstrategien bei Bergseetauchen	205
NOTFÄLLE WÄHREND DER DEKOMPRESSION	208
REKOMPRESSIONSTECHNIKEN	210
Kammertabellen.....	215
Die USN Kammertabelle 3	215
Die USN Kammertabelle 6A	217
Die USN Kammertabelle 6	217
Weitere Kammertabellen	217
HBO / HBO ₂	220
Nasse Rekompresion (IWR)	221
Nargilah-Technik (IWR)	221
Notfall-Dekompression oder “nachgeholte Dekompression”	221
100 % Sauerstoff (= normobarer Sauerstoff)	222
Medikamentöse Behandlung	222
Leugnen der Symptome / Stigma der Kammerbehandlung	222
DISCLAIMER / HAFTUNGSAUSSCHLUß	224
KLEINES LEXIKON ENGLISCHER MEDIZIN-BEGRIFFE	224
INDEX.....	225

ORIGINALLITERATUR (BÜCHER & VERÖFFENTLICHUNGEN).....	229
ORIGINALLITERATUR (SKRIPTEN).....	231
EINE SCHWALBE MACHT NOCH KEINEN SOMMER!	233
... ODER: „DIE KLEINEN GEHEIMNISSE DER TABELLEN-BAUER“	233
FEHLERRECHNUNG.....	234
ANHANG B	237
DAS SAUERSTOFF-FENSTER (NACH DEM 1993 PAPER VON VAN LIEW).....	237
ANHANG A	240
FORMELKRAM.....	240

**“ ...und da sitz’ ich so auf 100 m ‘rum und fange an zu zittern! Ich denke: ist das jetzt HPNS oder schon Parkinson?“
ALBI, TECH AUSTRIA, CE 10/2010**

Ein Quiz zum Anfang, Teil I

**“YADD“
Yet Another Dumb Diver (Tekkie Bla-Bla)**

- 1) Du tauchst mit einem Nitrox 60 in unserem alten Tauchturn (Tiefe = 10 m):
Partialdruck von Sauerstoff und Stickstoff?
- 2) Was bedeutet „MOD“?
- 3) Wie groß ist die MOD für ein EAN 40?
- 4) Was bedeutet „EAD“?
- 5) Wie groß ist die EAD für ein Gemisch Nitrox 32 und einer Tauchtiefe von 40 m?
- 6) Was ist ein „Best Mix“?
- 7) Welches ist der Best Mix für eine Tauchtiefe von 42 m?
- 8) Nimm irgendeine Standard-Lufttabelle, Tauchgang auf 43 m für 25 Minuten: Deko-Zeiten und Austauschzeit, kompletter Luftverbrauch bei einem Oberflächen-AMV von 20 L / min für die bottom phase und 11 L/min für die Deko-Phase. Ab 6 m soll mit reinem Sauerstoff dekomprimiert werden: %CNS, OTU sowie Gasverbrauch.
- 9) Nenne drei Symptome der Dekompressionskrankheit, Typ I
- 10) Nenne drei Symptome der Dekompressionskrankheit, Typ II

Ende der Leseprobe:

Danke für deinen down-load und danke für dein Interesse!

Wie kommt man nun ,ran an die restlichen ca. 300 Seiten?

Ganz einfach:

Entweder die **druckbare Komplett-Version zum download** bestellen

(Schutzgebühr 55 Euro) per e-mail bei:

director@SMC-de.com

oder aber

zum **„deco workshop“** im Tauchsportcenter Esslingen (www.tauchturm.com)

anmelden: dort erhaltet ihr während des workshops immer das aktuellste Manual als PDF.

Weitere Infos zum „deco workshop“ (Termine, Preise, Inhalte & Voraussetzungen(!))

entweder über das TSC ES oder hier:

<http://www.divetable.de/workshop.htm>

Viel Spaß!

Und:

auf bald beim „deco workshop“!