

SUB
MARINE
CONSULTING

Dekompression

Manual Version 2018 / 19
Band II:
Algorithmen, Theorien &
Fortgeschrittene Anwendungen

THE

SUB
MARINE
CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

WWW.SMC-DE.COM

1. Vorwort / Motivation

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

(sinngemäß: “Jeder Tekkie hat gefälligst Deko-Spezialist zu werden!!!”)

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! Dies ist also keine Fortsetzung der Reihe: „Deco for Dummies“ ... oder so ähnlich, sondern müßte eigentlich im Untertitel auf neudeutsch heißen:

„Decompression for Scientists and Engineers“

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, Wassereinbruch 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 \$)

Ziel und Absicht dieses Handbuches (auf neudeutsch: Scope):

Wir wollen hier jedoch im Bereich des exponierten (technischen, wissenschaftlichen, militärischen 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 Dekompressionskrankheiten (= 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 Tauchtabeln 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 Progrämmchens (Info und kostenloser download: https://www.divetable.info/DIVE_V3/): ihr könnt das Progrämmchen nehmen, um eure run-times, die Mischgas-Computerle oder eure gekaufte Desktop-Dekoprogrämmchen zu kontrollieren.

Letztenendes kann auch ein Blick auf die Statistik helfen, den Fokus für diesen Spezialkurs einzustellen. DCS ist ein relativ seltenes Phänomen ([dazu gibt es ein ganzes Kapitel „Statistik ...“](#)), bei Sport-TG tritt es ca. 1 - 4 x pro 10.000 TG auf. Davon sind ca. 50 % durch Protokoll- / Regelverletzungen bedingt. Wenn irgendein Idiot die Aufstiegswarnungen seines Tauchcomputers mißachtet, zur falschen Zeit das falsche Gas atmet (oder atmen muß wegen Fehler der Top Side, wie z.B. am 7.8.1945 im tragischen Fall des armen Arne Zetterström), seine Tabellen-Planungen oder run-times irgendwie anders korrumpiert, sprechen die Dekompressionsforscher von „deserved hit“, d.h. einer „verdient“ erworbenen Dekompressions-Krankheit. Dagegen ist kein Kraut gewachsen, dieser Kurs hier schon gleichgarnicht. Aber die anderen 50 %, die „undeserved hits“, also diejenigen DCS Fälle, bei denen alles nach Vorschrift ablief und trotzdem in der Kammer endeten: um die wollen wir uns kümmern, und, hoffentlich, nach Abschluß diese Kurses genügend Spezialisten-Wissen, Ideen und Handlungsanleitungen propagieren um damit die Rate ganz individuell nochweiter nach unten zu drücken!

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. Da manche Themen wiederholt, aber unter anderen Aspekten und auch zeitlichen Horizonten dargestellt werden, ist hierbei auch eine historische (Weiter-)Entwicklung zu beobachten. Als zusätzlicher 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 Berufs-, Militär- oder auch 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 (⚓ ' τ, (*) 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)**
5. **“However, diving is a risk sport and ALL dives involve decompression. Furthermore, the 39 m / 130 ft depth limit set by some diver training agencies is somewhat arbitrary and, unfortunately, provides no guarantee of a safe dive outcome.” (Bob Cole [183] “Out of the Decompression Matrix”, p. 16)**

(sinngemäße Interpretationen der obigen „grünen Sprüche“ 2 – 5:

2. JEDER TG ist ein Deko-TG!!!
3. ...damals hatte die USN entschieden, daß du keine Deko-TGs machen durftest. Irgendwie muß es prinzipiell gefährlich gewesen sein, der einzige Weg, Deko-TGs zu machen war, wenn das ganze Land angegriffen wurde.)
4. Also, so was wie ein „Nullzeit-TG“ gibt es überhaupt nicht!
5. Tauchen ist ein Risiko-Sport und ALLE TG sind mit Deko behaftet! Die 39 m Tiefengrenze ist irgendwie willkürlich und garantiert auch keine Sicherheit!

Damit ist zum Einen die statistische Natur von Dekompressionskrankheiten 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 relativ plötzlichen Auftreten einer Konvulsion durch Sauerstoffintoxikation 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.
- ZH-83 (Bühlmann): 30 m / 20 min.
- ZH-86 (*): 30 m / 18 min.
- Deco 2000 (2000): 30 m / 15 min.

(*) SAA Bühlmann DeeP Stop Planner von 2004

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**

(sinngemäß: „WWW: dies könnte ein Wissenschaftlicher Weg zum Würfeln sein!)

Weiterhin finden recht zahlreiche Ergebnisse aus verwandten Zweigen der hyperbaren Medizin Eingang in diese Domaine: 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. Zum einen sind die Druck- und damit die Risikoprofile ja komplett anders: zu Beginn des Tauchganges, beim abtauchen und der Grundphase herrscht i.d.R. kein DCS-Risiko, erst dann beim auftauchen, gegen Ende des TGs. Beim Fliegen bzw. bei EVA's (extra vehicular activity) der Raumfahrer setzt bereits zu Beginn der Mission die Druckentlastung und damit auch das Risiko ein: hierbei werden nämlich i.d.R. bei Atmosphärendruck gesättigte Versuchspersonen einem (relativ plötzlichen) Unterdruck (z.B.: von 1,0 auf 0,2 Bar bei einem Druckverlust in der Kabine) ausgesetzt.

**“Es gibt auch Antipoden: unser “Unten” ist ihr “Oben”.
Diogenes Laertius: Pythagoreische Kosmologie, 3. Jh. BCE**

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 (pCO₂ und pH₂O im Gewebe sind relativ ungeändert, nicht jedoch der pN₂ der mit der Höhe naturgemäß abnimmt) sowie die absolute Menge der bewegten Inertgasmoleküle (Henry). Hierbei gleichen die Flieger / Raumfahrer eher Sättigungstauchern und nicht Bounce-/Jump-/Sprint-Divern. Desweiteren ist die Wahrscheinlichkeit (P(DCS)) sowie das zeitliche Einsetzen, die sogenannte „Latenz“ der DCS Symptome total verschieden: im Schnitt treten diese ca. 1 - 2,5 h und auch noch viel später nach der Druckentlastung auf. Auch sind die Reaktionen auf eine Rekompensationstherapie anders geartet: ganz offenbar reagieren hypobare DCS Symptome besser auf eine Rekompensation als solche durch eine hyperbare Exposition: die Erfolgsraten sind dokumentiert höher, vermutlich durch den, in der Höhe, vergleichsweise etwas geringeren N₂-Partialdruck in den Blasen. Weiterhin haben die geänderten (relativ erhöhten) pCO₂ und pH₂O 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 und wegen dem reduzierten Umgebungsdruck, größer) und Stabilität (die werden aus diesem Grunde instabiler)! Die oben erwähnte P(DCS) liegt bei Fliegern um Größenordnungen höher wie bei Tauchern: 75 % aller U2-Piloten haben sich eine Dekompressionskrankheit im Laufe ihrer Flieger-Karriere zugezogen. Aus diesem Grunde an dieser Stelle hier ein paar sehr gute Übersichten zu genau den o.g. Themen (4 Quellen):

- 1) Development of an Operational Altitude Decompression Sickness Computer Model: Feasibility Study Results PE -62202F Sulaiman, Z.M., Scoggins T.E., Pilmanis, A.A., Ripley P.E., Melkonian A., Wang Y. KRUG Life Sciences, Inc.11923 Radium San Antonio, Tx 78216, August 1995.
- 2) Proceedings of the Hypobaric Decompression Sickness Workshop, Brooks Air Force, June 1992). Hier gibt es Graphen und Tabellen zum Sauerstoff-Fenster beim Fliegen sowie eine Zusammenfassung der wichtigsten Deko-Modelle, saubere mathematische Herleitungen sowie ca. 200 weiterführende Literaturstellen.

- 3) Ebenfalls zu dieser Thematik hier zu empfehlen: Van der Aue et al.: NEDU Report 8-49 von 1949.
- 4) ein „review“ Artikel mit 150 Referenzen: Foster PP, Butler BD. Decompression to altitude: assumptions, experimental evidence, and future directions. J Appl Physiol 106: 678–690, 2009. First published December 12, 2008; doi:10.1152/jappphysiol.91099.2008

“As what is above, so is below!”

Tabula Smaragdina (Esoterische Anleitung zu unserer o.g. Thematik ...)

(sinngemäß: „Wie Oben so auch Unten!“)

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 Nachforschungen anempfohlen! Aus gleichem Anlaß ist auch das Kapitel „Formelkram“ etwas ausführlicher gestaltet! Als weitere Quelle diene nicht nur [die Bücherliste von:](#)

<https://www.divetable.info/books/index.htm>

(die Zahlen in eckigen Klammern [] bei den Quellen beziehen sich hierauf) sondern auch und vor allem die ca. 500 NEDU (Naval Experimental Diving Unit) 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 (Underwater and Hyperbaric Medical Society) und das UHMS Underwater Symposium von 1955 – 2004 (ca. 5.800 Seiten), die sogenannten „Annual Scientific Meetings“ (ASM) der UHMS 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 (sind keine Bilder 'drinne ...): alles in allem ca. 23.000 Dateien in 1.800 Ordnern, welche ca. 52 GB Platz auf unserer Server C-Platte beanspruchen (per 11/2017)...

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.

Der neueste (und jetzt auch wirklich allerletzte) Fokus dieses Manuals: als erweitertes Handbuch zur DIVE Software ☺ ▲ ☺ ... (hier nochmals der Link zur DIVE Info-Seite der neuen Version 3 für 32- & 64-Bit: https://www.divetable.info/DIVE_V3/index.htm)

Gleichzeitig sind aber auch die Grenzen unseres eiteln Tuns hier, d.h. unserer Taucherei und dieses Manuals resp. dieses Kurses aufgezeigt: wir müssen uns auf die Einsatzgebiete a) bis f) beschränken. Für die Taucher normobar bleibende Expositionen g), h) & i) spielen für uns naturgemäß keine Rolle. (Quelle der Graphik: Medical Aspects of Harsh Environments; Vann D., Vorosmarti J., Vol. 2, Chapter 30, p. 926):

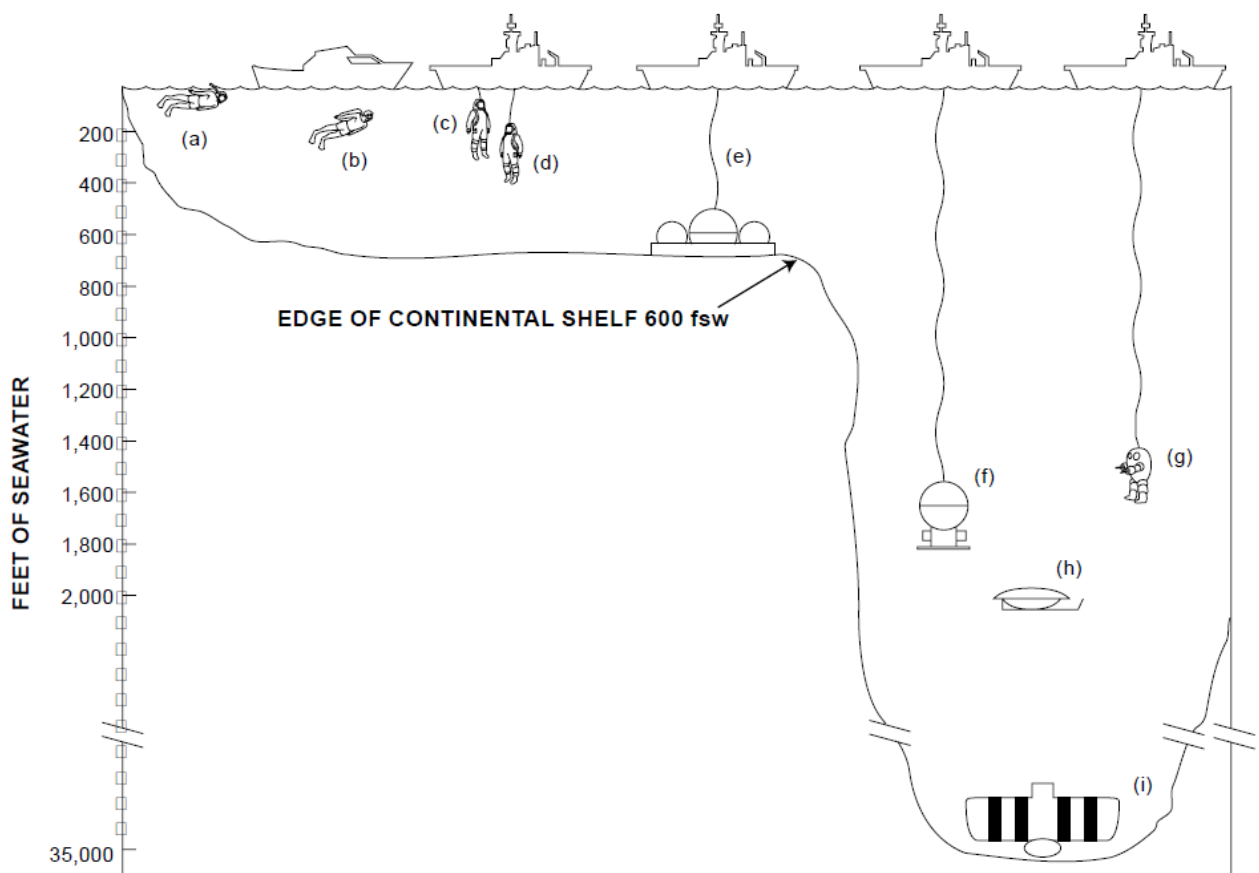


Fig. 30-1. Various forms of diving and other submarine activities in relation to ocean depth. (a) Breath-hold diving is usually not deeper than 45 fsw, although some divers can go deeper. (b) Self-contained underwater breathing apparatus (scuba) diving on air is usually limited to 130 fsw. (c) Surface-supported air diving is usually limited to 180 fsw, US Navy, or for commercial diving in the United States, 220 fsw. (d) Surface-supported helium-oxygen diving without a bell is usually to a depth of about 300 fsw, because of the problems of long decompressions; (e) the deepest habitat operation, 520 fsw; (f) the deepest saturation diving at sea operation, 1,510 fsw; (g) the deepest dive in an armored 1-atm suit, 1,440 fsw. (h) Research submersibles can operate to depths of about 2,000 fsw; (i) the bathyscaphe *Trieste* has been to the deepest-known depth of the ocean, 35,800 fsw, in the Marianas trench. Note that the ordinate, marking depth, has been shortened. If this graphic were drawn to scale, a page at least 1.26 m long would be required to display ocean depth to the bottom of the Marianas trench.

Abbildung 1-1: Einsatzgrenzen und Grenzen unseres Tuns hier

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_18\Manual_SMC_Graphiken.docx,
vom 13.11.2017, Anzahl Seiten: 494, ohne die Anhänge, Formelsammlung etc.

Version für: „Teilnehmer“ <deco-workshop@divetable.info>; von 11/2017

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

(*) ל'ט = Se La, hebräische Abkürzung: Ehre sei seinem Andenken!



Abbildung 1-2: TEC am Bodensee

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

(sinngemäß: “Hey Leute: bewegt euch! Das hier ist echtes Tauchen und kein Kinder-Picknick!”)

6. 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 und Veröffentlichungen 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 tausenden von TG, mit vielen, 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).

Wir werfen auch einen Blick hinter die physiologischen Kulissen, d.h. ins Innere des Körpers. Ein paar Details nehmen wir mit und werden damit sofort die bereits geschilderten Unzulänglichkeiten und Vereinfachungen der Modelle viel besser verstehen.

Die „[Merkwürdigkeiten](#)“ und auch die „[statistische Absicherung](#)“ sowie die „[Grenzen der Modelle](#)“ sowie die „[Verringerung von Risiken](#)“ sind einfache Listen, 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 üblichen professionellen „[Rekompressionstechniken](#)“ mittels einer Deko-Kammer.

Zwischenzeitlich (2012) ist ein ganz neues Kapitelchen hinzugekommen: [Sättigungstauchen](#). Diese relativ alten Methoden aus den Zeiten des kalten Krieges rücken durch die ganz aktuell weiter zunehmende Tiefen von Caisson-/Tunnelarbeiten wieder in den Vordergrund.

Vielleicht abschliessend noch eine weitere Vorwarnung: dies ist **kein (sic!) 100%** wissenschaftlicher Text, sondern ein Zusammenstellung dessen, was zur Zeit aktuell und geprüft bzw. manchesmal auch bewährt ist: es soll ein (wenigstens halbwegs) 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. Stand 2017 haben wir zusätzliche ca. 400 Quellen genannt. Allerdings hat das nicht ganz 100%ig geklappt, nachdem einiges innerhalb der letzten 10 bis 15 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 Gegenzug, um das Ganze ein bisschen spannender zu machen, haben wir etwas Prosa eingefügt, erweitert um [Historische Bemerkungen], ein paar thematisch nicht ganz so eng verwandte [Exkurse] und noch mehr „[grüne Sprüche](#)“. Diese gehören u.U. auch nicht direkt

zum Thema, sind aber oft als Hintergrundinfo oder als Stimmungsbild oder einfach auch zur Abrundung bzw. zur heiteren Auflockerung der „trockenen“ Materie nicht ganz unnützlich. Deshalb sind auch die Übersetzungen aus dem Englischen keine wortwörtlichen Übertragungen sondern eher atmosphärisch stimmige Interpretationen die auch etwas über den Kontext preisgeben. Zusätzlich haben wir ca. 150 dokumenten-interne Hyperlinks zur leichteren Nachverfolgbarkeit eingepflegt sowie Inhaltsverzeichnisse der (ca. 235) Abbildungen, der (ca. 65) Tabellen sowie der (ca. 80) Formeln.

Im Anhang findet ihr auch eine paar kleine Tabellen, sicherlich nicht ganz vollständig, mit den Übersetzungen der hier vorkommenden Fachausdrücken mit den (meist) griechischen Wurzeln sowie der [englischen Medizin-Begriffe](#). Gleichzeitig versuchen wir, die englische Tauch-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 ...)

Nochamal 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**

(sinngemäß: „Das einzig wirklich konstante an der DCS-Forschung ist diese geheimnisvolle Variabilität!“)

7. 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 Tauchcomputer- / 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 Diver Niveau), Erste Hilfe bei DCS Problemen sowie Prinzipien des Umgangs mit Mischgasen und Partialdrücken, desgleichen die Handhabung (irgendeiner) Standard-Tauchtafel 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.

8. 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 ...

GTUEM & CAISSON:

haben durch starkes & nachhaltiges Interesse auch für eine Weiterverbreitung beim Volk der Taucherärzte gesorgt; namentlich mein „Big Double Double-U“ (Willi W. = Welslau) und mein lieber JD (Prof. Dr. Jochen D. Schipke)

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 ...

9. Inhaltsverzeichnis

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

| | |
|---|----|
| 1. VORWORT / MOTIVATION | 1 |
| 6. ZU DEN EINZELNEN KAPITELN | 7 |
| 7. VORAUSSETZUNGEN | 9 |
| 8. DANK / CREDITS..... | 10 |
| 9. INHALTSVERZEICHNIS | 11 |
| 10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS..... | 20 |
| 11. TABELLENVERZEICHNIS | 26 |
| 12. FORMELVERZEICHNIS | 29 |
| 13. EIN QUIZ ZUM ANFANG, TEIL I | 30 |
| 14. EIN QUIZ ZUM ANFANG, TEIL II | 31 |
| 15. DAS HANDWERKSZEUG | 32 |
| Partialdruck | 32 |
| Gesetz von Dalton..... | 32 |
| Inertgasaufnahme | 33 |
| Gradient..... | 33 |
| Gleichgewicht (engl: equilibrium) | 33 |
| Sättigung | 33 |
| Gesetz von Henry..... | 33 |
| Haldane | 37 |
| Kompartimente | 40 |
| Körpergewebe | 40 |
| Halbwertszeit..... | 40 |
| Exponentialfunktion | 42 |

| | |
|---|----|
| Biologische HWZ..... | 43 |
| Halbwertszeit, physiologische Definition von $t_{1/2}$ | 43 |
| Löslichkeits- / Diffusionskonstanten (Partitions- / Permeationskoeffizienten) | 43 |
| Verteilung des cardialen Outputs | 45 |
| Die „2:1“ Theorie | 45 |
| Übersättigung | 46 |
| Supersaturation Ratio (R_{SS})..... | 46 |
| tolerierte Überspannung (tolerierter Umgebungsdruck) | 47 |
| M-Wert..... | 48 |
| Druckgraph / pressure graph..... | 49 |
| Austauchstufen / Deko-Stufen..... | 52 |
| Austauchzeit / TTS / time-to-surface | 53 |
| explosive Dekompression | 53 |
| Blasen | 56 |
| Mikro Blasen (micro bubbles) und Silent Bubbles | 56 |
| Von der Mikro-Blase zur Makro-(DCS)-Blase | 58 |
| Physik der Blasen..... | 59 |
| 3 historische Blasenmodelle..... | 64 |
| Blasenentstehung..... | 66 |
| Kavitation..... | 66 |
| Tribonucleation..... | 68 |
| Blasenkeime / Anzahl Blasen..... | 70 |
| Blasenform (reale)..... | 71 |
| Sekundäreffekte von Inertgasblasen, Microparticles (MP) | 76 |
| feedback loop | 81 |
| Doppler-Nachweis / Ultraschall-doppler-Messungen an Inertgasblasen | 82 |
| Doppler Grade (low, medium, high; bzw.: 0 - 4)..... | 85 |
| Praktische Durchführung einer Doppler-Ultraschallmessung..... | 87 |
| “Bubblers“ | 90 |

| | |
|---|-----|
| Zusammenhang zwischen Doppler Grade und DCS | 91 |
| DCI vs. DCS und AGE / VGE | 92 |
| DCS Typ I, II, III..... | 92 |
| Weitere Sekundäreffekte von Blasen | 94 |
| VGE und AGE bei Trimix TG..... | 94 |
| Inertgasdosis (PRT) / "deco stress"..... | 95 |
| Bilder von Hautsymptomen | 98 |
| Einteilung der Symptome (klassisch) | 100 |
| Modell zur Behandlung..... | 102 |
| Pathogenese von DCS (Schema im Überblick)..... | 102 |
| Respiratorischer Koeffizient R_q | 104 |
| Ceiling | 104 |
| Abtauch- und Auftauchrampe..... | 105 |
| Leit- oder Kontrollkompartiment | 105 |
| Wiederholungsgruppe | 106 |
| Zeitzuschlag | 107 |
| Oberflächenpause (OFP), surface interval (SI) credit | 107 |
| Fliegen nach dem Tauchen, Bergseetauchen..... | 108 |
| Ganzkörper N_2 -Aufnahme | 109 |
| Ganzkörper N_2 -Abgabe | 110 |
| Gegendiffusion (Counterdiffusion, isobaric; ICD) | 111 |
| Innenohr DCS..... | 120 |
| Asymmetrische Entsättigung..... | 121 |
| EL Modell | 121 |
| Grahams Gesetz | 123 |
| Sauerstoff-Fenster (oxygen window)..... | 124 |
| Extended Oxygen Window (EOW)..... | 133 |
| Physikalische versus chemische Lösung von Sauerstoff im Blut..... | 133 |
| Sauerstoff Kaskade (oxygen cascade)..... | 134 |

| | |
|---|------------|
| Sauerstoff Effekte..... | 135 |
| Lorrain Smith Effekt..... | 135 |
| Retention (Kohlendioxid R., CO ₂ Retainer) | 135 |
| Sauerstoff Vergiftung..... | 136 |
| R/L Shunt (Rechts-/Links-Shunt)..... | 136 |
| Spätfolgen | 138 |
| U-Boot Notaufstieg | 140 |
| Adaptation (Adaption, Aklimatisierung) | 146 |
| Vertrauensintervall | 147 |
| Meyer-Overton | 151 |
| Atemwegswiderstand | 152 |
| 16. EINIGE BESONDERHEITEN UND AUCH MERKWÜRDIGKEITEN | 154 |
| Individuelle Anfälligkeit | 156 |
| Aseptische Knochennekrose (ABN: aseptic bone necrosis, DON: dysbaric osteonecrosis) | 157 |
| DCS und workload | 167 |
| Einsichten aus der DAN DSL Datenbank..... | 171 |
| Konditionierung vor dem Tauchen | 172 |
| 17. DIE MODELLE | 173 |
| #1 Perfusionsmodelle..... | 175 |
| Weiterentwicklungen von #1 (Neo Haldane) | 182 |
| DCIEM..... | 186 |
| M-Wert Gleichung | 189 |
| ZH-L | 191 |
| Kälteadaption | 196 |
| PMRC..... | 199 |
| Das „AB-Modell“ | 203 |
| Das „Ein-Kompartiment-Modell“ (single-tissue)..... | 203 |
| „Kontinuierliche Halbwertszeiten“ | 204 |

| | |
|---|------------|
| Seriell & Parallel Kombination | 205 |
| VVAL18 | 206 |
| #2 Diffusionsmodelle | 209 |
| #3 Thermodynamisches Modell | 217 |
| #4 VPM: Varying Permeability Model..... | 221 |
| #5 RGBM: Reduced Gradient Bubble Model | 229 |
| #6 TBDM: Tissue Bubble Diffusion Models..... | 234 |
| Gernhardt & Vann | 234 |
| Srinivasan & Gerth | 237 |
| #7 Maximum Likelihood / Statistisch basierte Tabellen..... | 238 |
| Zusammenstellung der Parameter: | 254 |
| #8 Hybrid-Modelle | 255 |
| 18. PRAKTISCHER VERGLEICH IN 2 SCHRITTEN | 267 |
| RGBM Lufttabellen (für AIR: 27, 30 & 42 m, jeweils 30 & 25 min. GZ) | 275 |
| Hahn Lufttabellen (27, 30 & 42 m) | 277 |
| 19. DIE PRINZIPIELLEN GRENZEN ALLER MODELLE | 279 |
| Multikollinearität..... | 280 |
| 20. PRINZIPIELLE SCHWÄCHEN VON PERFUSIONSALGORITHMEN BEI | 281 |
| EINEM ODER ZWEI INERTGASEN | 281 |
| Prinzipielle Anforderungen und Parameter der Modelle..... | 284 |
| Sind 16 Kompartimente besser wie 8?..... | 285 |
| 21. EINE KLEINE GESCHICHTE DER ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE | 286 |
| 1. Fick'sche Gesetz | 286 |
| 2. Fick'sche Gesetz | 287 |
| Kreislauf | 288 |
| Gefäße | 289 |
| Druck- und Strömungsverhältnisse | 291 |
| Versorgung der Gewebe | 297 |

| | |
|---|------------|
| Gasaustausch in der Lunge: | 300 |
| Drei-Dimensionale „random walks“ | 302 |
| Haldane-Effekt & Bohr-Effekt | 305 |
| Blutgerinnung | 307 |
| Knochen | 312 |
| Grundumsatz und Körpergewicht..... | 313 |
| 22. DIE STATISTISCHE ABSICHERUNG DER TAUCHTABELLEN | 315 |
| “Big Dive Data“ | 317 |
| Caisson / Tunnelarbeiter | 324 |
| 23. DEKOMPRESSION IN DER PRAXIS | 336 |
| AMV (Oberflächen-Atemminutenvolumen)..... | 337 |
| Analyzer: | 337 |
| „Optimal Switch“ | 343 |
| „Optimal Mix“ | 345 |
| USN Standardprozeduren: | 349 |
| • Air Diving | 349 |
| • Surface Supplied Heliox | 349 |
| • Heliox const $pO_2 = 0,7$ Bar | 349 |
| • EAN const $pO_2 = 0,7$ Bar | 349 |
| • Sur-D (Surface Decompression)..... | 349 |
| • Sat (Saturation Diving)..... | 349 |
| DCIEM Standardprozeduren: | 349 |
| • Standard Air Decompression..... | 350 |
| • In-Water Oxygen Decompression..... | 350 |
| • Surface Decompression with Oxygen..... | 350 |
| • In-Water Oxygen Decompression..... | 350 |
| • Surface Decompression with Oxygen..... | 350 |
| • Abort Table | 350 |

| | |
|--|------------|
| • Emergency Procedure Decompression | 350 |
| Deep Stops (tiefe Stopps) | 350 |
| USN und tiefe Stopps (170 feet, 30 min)..... | 354 |
| Wie geht man prinzipiell mit diesen und anderen ungetesteten Tabellen um? | 358 |
| Way points..... | 358 |
| Gradienten Faktoren / Gradient Factors GF..... | 358 |
| VGM | 361 |
| PDIS | 361 |
| Allgemeine Verringerung von Risiken | 362 |
| Optimierte Austauschstrategien / optimierte Deko | 364 |
| Das Copernicus Modell | 364 |
| Umgang mit der Sauerstoff Thematik / Ox-Tox..... | 368 |
| NOAA Oxygen Exposure Limits (ZNS Belastung)..... | 370 |
| OTU Tabelle: Oxygen Tolerance Units; aus NOAA V4 2001, Table 3.7, S. 3-25 | 371 |
| REPEX | 373 |
| 24. JENSEITS VON 1,6 | 375 |
| Tauchen mit reinem Sauerstoff: Auszug aus dem U.S. Navy Manual 14-6 | 376 |
| Faktoren, die die ZNS-Toxizität begünstigen | 383 |
| FED | 384 |
| Sauerstoff-Korrektur | 384 |
| Sauerstoff-DCS (Oxygen Bends) | 386 |
| Tauchen jenseits von 1,6 | 388 |
| Fehler bei der Berechnung von %ZNS und OTU | 393 |
| Pre-Breathing | 396 |
| Dekompression und Gas-Logistik bei einem 50 m TRIMIX TG..... | 396 |
| 21. DEKOMPRESSIONSSTRATEGIEN BEI REDUZIERTEM UMGEBUNGSDRUCK (BERGSEETAUCHEN UND FLIEGEN NACH DEM TAUCHEN) | 406 |
| 22. DEKOMPRESSION BEI SÄTTIGUNGS-TAUCHGÄNGEN | 416 |

| | |
|--|------------|
| 23. DEKOMPRESSION BEI REKORD-TAUCHGÄNGEN | 435 |
| 24. TECHNOLOGIE BEIM BERUFLICHEN TAUCHEN (ÜBERBLICK)..... | 438 |
| 25. NOTFÄLLE WÄHREND DER DEKOMPRESSION..... | 449 |
| 26. REKOMPRESSIONSTECHNIKEN..... | 451 |
| Kammertabellen | 457 |
| Die USN Kammertabelle 3 | 459 |
| Die USN Kammertabelle 6 | 461 |
| Weitere Kammertabellen..... | 461 |
| HBO / HBO ₂ | 464 |
| Nasse Rekompresseion (IWR, in water re-compression) | 465 |
| Nargilah-Technik (IWR)..... | 466 |
| Notfall-Dekompression oder "nachgeholte Dekompression"..... | 466 |
| 100 % Sauerstoff (= normobarer Sauerstoff) | 466 |
| Medikamentöse Behandlung..... | 467 |
| Leugnen der Symptome / Stigma der Kammerbehandlung | 467 |
| 27. WIE ALLES ZUSAMMENHÄNGT | 469 |
| 28. DISCLAIMER / HAFTUNGSAUSSCHLUß | 470 |
| 29. KLEINES LEXIKON EINIGER MEDIZIN-BEGRIFFE..... | 470 |
| Deutsch (mit den griechischen / lateinischen Wurzeln):..... | 470 |
| Englisch:..... | 472 |
| 30. INDEX..... | 473 |
| 31. ORIGINALLITERATUR (BÜCHER & VERÖFFENTLICHUNGEN)..... | 477 |
| 32. ORIGINALLITERATUR (SKRIPTEN)..... | 480 |
| 33. EINE SCHWALBE MACHT NOCH KEINEN SOMMER! | 482 |
| 34. ... ODER: „DIE KLEINEN GEHEIMNISSE DER TABELLEN-BAUER“..... | 482 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 35. | FEHLERRECHNUNG..... | 484 |
| 36. | ANHANG A: DAS SAUERSTOFF-FENSTER | 489 |
| 37. | ANHANG B: FORMELKRAM | 492 |
| 38. | ANHANG C: DEKOMPRESSION BEI APNOE..... | 492 |
| 39. | ANHANG D: DIE „AHNENTAFEL“ | 492 |
| 40. | EINE GANZ KLEINE GESCHICHTE DER STATISTIK..... | 493 |

“ ...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
(na ja: es war halt a....kalt!)

10. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1-1: Einsatzgrenzen und Grenzen unseres Tuns hier | 6 |
| Abbildung 1-2: TEC am Bodensee..... | 7 |
| Abbildung 15-1: Kompressions- / Dekompressions Paradigma..... | 32 |
| Abbildung 15-2: Inertgasaufnahme und Gradient..... | 33 |
| Abbildung 15-3: $I(t)$ für N ₂ in H ₂ O | 35 |
| Abbildung 15-4: $I(t)$ für O ₂ , N ₂ , CO ₂ | 37 |
| Abbildung 15-5: Tierexperimente von Siebe & Gorman, Quelle: [89] | 38 |
| Abbildung 15-6: DCS Messung am Schaf | 39 |
| Abbildung 15-7: $p(\text{DCS})$ beim Schaf als Funktion von BF | 39 |
| Abbildung 15-8: exponentielle Sättigung..... | 41 |
| Abbildung 15-9: prozentuale Sättigung vs (t); bzw. # HWZ (# HT)..... | 42 |
| Abbildung 15-10: Drei Kompartimente (% Sat. vs. T) | 43 |
| Abbildung 15-11: Schema von Permeations- & Partitionskoeffizient | 44 |
| Abbildung 15-12: Verteilung des cardialen outputs | 45 |
| Abbildung 15-13: Originaltext von Hawkins, Shilling & Hansen (1935) | 47 |
| Abbildung 15-14: Verhältnisse der kritischen Übersättigungen von 5 Kompartimenten vs. Tiefe | 47 |
| Abbildung 15-15: tolerierter Umgebungsdruck vs. Gewebsdruck | 48 |
| Abbildung 15-16: M-Werte vs. Tiefe..... | 49 |
| Abbildung 15-17: Skizze Druckgraph | 50 |
| Abbildung 15-18: Druckgraph | 52 |
| Abbildung 15-19: 2 Bilder von Tierexperimenten..... | 54 |
| Abbildung 15-20: Allometrischer Graph I | 55 |
| Abbildung 15-21: Allometrischer Graph II | 56 |
| Abbildung 15-22: Übersicht über Blasenwege im Körper (grundsätzlich) | 58 |
| Abbildung 15-23: DFU zum Nachweis von Mikro-Blasen | 58 |
| Abbildung 15-24: Von der Mikro-Blase zur Makro-Blase..... | 59 |
| Abbildung 15-25: Druckverhältnisse an einer kugelförmigen Gas-Blase..... | 61 |
| Abbildung 15-26: Blasenradius r , critical vs. p | 62 |
| Abbildung 15-27: Simulation der zeitlichen Entwicklungen $p(t)$ und $r(t)$ bei prä- existierenden Blasen..... | 63 |
| Abbildung 15-28: Wachstum und Kollaps einer (Kavitations-) Blase | 64 |
| Abbildung 15-29: die drei historischen Blasenmodelle..... | 65 |
| Abbildung 15-30: Modell der Blasenentstehung | 66 |
| Abbildung 15-31: mechanische Beschädigung durch Kavitationsblasen | 67 |
| Abbildung 15-32: Kavitationsblasen am Schiffspropeller | 68 |
| Abbildung 15-33: Blasenentstehung im Wasserglas I..... | 69 |
| Abbildung 15-34: Blasenentstehung im Wasserglas II..... | 70 |
| Abbildung 15-35: Druckstoß und Anzahl der Blasenkeime | 71 |
| Abbildung 15-36: Inertgasblase nach explosiver Dekompression (Photo v. Mikroskop) . | 71 |
| Abbildung 15-37: reale Blasenform, die I..... | 72 |
| Abbildung 15-38: reale Blasenform; die II: Photo und Modell | 73 |
| Abbildung 15-39: diverse Blasenformen und einhergehende Gewebsschädigungen | 74 |
| Abbildung 15-40: Kollaps einer realen Blase | 74 |
| Abbildung 15-41: Modell für Gefäßverstopfungen durch Blasen | 74 |
| Abbildung 15-42: Änderung der Oberflächenspannung in Abhängigkeit der Blasenform | 75 |
| Abbildung 15-43: Blasenwege und Reaktionen im Blut-Gefäß | 76 |
| Abbildung 15-44: Schädigungen im Blutgefäß (Skizze aus HE, Chpt. 30, p.943)..... | 77 |
| Abbildung 15-45: Schädigungen an der Blutgefäßwand (DCS beim Hund) | 78 |
| Abbildung 15-46: mögliche physiologische Reaktionen im Blutgefäß | 79 |
| Abbildung 15-47: Schema zu MP, den Mikro-Partikeln (microparticles)..... | 79 |
| Abbildung 15-48: MP und Zellreaktionen bei deco stress..... | 80 |
| Abbildung 15-49: MP als Blasenkeime, druckabhängig!..... | 81 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 15-50: „feedback“ Schleife einer Inertgas (N ₂)- Blase | 81 |
| Abbildung 15-51: Ultraschall-dopplermessung (CW) mit Versuchskaninchen (re. im Bild ☺) im TSC ES | 83 |
| Abbildung 15-52: Darstellung einer FFT mit 6 Blasensignalen | 84 |
| Abbildung 15-53: Bildunterschrift zur FFT | 84 |
| Abbildung 15-54: Nachweisgrenzen von Doppler-Messungen | 85 |
| Abbildung 15-55: Doppler-Grades vs. Time (DAN Messung) | 86 |
| Abbildung 15-56: freie Gasphase vs. Doppler Grade (Flook Model) | 87 |
| Abbildung 15-57: Blutkreislauf mit dem Ort der Doppler-Messung (nach Hills, B.A.) | 88 |
| Abbildung 15-58: Ultraschall-Dopplermeßgerät: li. oben, die Meßsonde; unten, die Auswerteeinheit; re.: das akustische Kontaktgel | 89 |
| Abbildung 15-59: 2D Echobild von VGE im Herz | 90 |
| Abbildung 15-60: Modell-Experiment für "Bubbler " | 91 |
| Abbildung 15-61: % DCS vs. Bubble Grade vs. Nitrox / Heliox | 91 |
| Abbildung 15-62: DCS vs. Bubble Grade | 92 |
| Abbildung 15-63: Schema: DCI / DCS / AGE | 93 |
| Abbildung 15-64: statistische Verteilung von DCS Symptomen | 93 |
| Abbildung 15-65: VGE & AGE nach Trimix TG | 95 |
| Abbildung 15-66: % DCS vs. N ₂ / He | 95 |
| Abbildung 15-67: UK DoE, DCS vs. PRT | 96 |
| Abbildung 15-68: PRT / EF aus der DAN DSL Datenbank | 97 |
| Abbildung 15-69: deco stress index I (von DCIEM/DRDC) | 98 |
| Abbildung 15-70: Drei Bilder von DCS Hautsymptomen | 99 |
| Abbildung 15-71: Kategorien von DCS (nach Hills, B.A.) | 101 |
| Abbildung 15-72: Modell zur Kammerbehandlung (nach Hills, B.A.) | 102 |
| Abbildung 15-73: Pathogenese von DCS (Überblicksschema) | 103 |
| Abbildung 15-74: Simulation: Drei Kompartimente vs. Zeit bei TG: 70 m / 10 min. | 106 |
| Abbildung 15-75: DIVE Dekoproggnose mit GF | 106 |
| Abbildung 15-76: USN Leitkompartiment in der OFP | 108 |
| Abbildung 15-77: M(t) vs. Bergsee / Flughöhe | 109 |
| Abbildung 15-78: Kontinuum von Exponential-Prozessen | 111 |
| Abbildung 15-79: ICD N ₂ /He bei Gelatine | 113 |
| Abbildung 15-80: ICD Simulation I | 113 |
| Abbildung 15-81: ICD Hautsymptome (nach [62]) | 114 |
| Abbildung 15-82: ICD: Hautoberfläche, S. 439 | 114 |
| Abbildung 15-83: ICD: Gewebe, S. 441 | 115 |
| Abbildung 15-84: ICD bei Ziegen beim Wechsel von N ₂ zu He | 116 |
| Abbildung 15-85: ICD Simulation II (DIVE) | 117 |
| Abbildung 15-86: ICD Simulation III (DIVE) | 117 |
| Abbildung 15-87: ICD Simulation IV (DIVE) | 117 |
| Abbildung 15-88: ICD Simulation V | 119 |
| Abbildung 15-89: ICD Simulation beim Gaswechsel | 119 |
| Abbildung 15-90: ICD: Modell für Innenohr | 120 |
| Abbildung 15-91: Simulation Innenohr / Gehirn für einen 30 m TG, 25 min | 121 |
| Abbildung 15-92: Schema; E vs. E / E-L | 122 |
| Abbildung 15-93: verschiedene Gaskinetiken | 123 |
| Abbildung 15-94: N ₂ / HE HWZ von Gernhardt | 124 |
| Abbildung 15-95: die Größe des Sauerstoff-Fensters | 128 |
| Abbildung 15-96: pO ₂ Gradient an Wunden, Quelle: [162], S. 33 | 130 |
| Abbildung 15-97: EOW | 133 |
| Abbildung 15-98: Sauerstofflöslichkeit in Vollblut und Blutplasma (chem. & physikal.) .. | 134 |
| Abbildung 15-99: die Sauerstoff-Kaskade | 135 |
| Abbildung 15-100: verschiedene Ox-Tox Effekte | 136 |
| Abbildung 15-101: PFO (Schema) | 137 |
| Abbildung 15-102: Modell für pulmonalen R-/L Shunt | 138 |
| Abbildung 15-103: Hirn-Läsionen (2 weisse Pfeile) | 138 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 15-104: Hirn-Läsionen (Pfeil, oben rechts)..... | 138 |
| Abbildung 15-105: Zwei Röntgenbilder von DON | 140 |
| Abbildung 15-106: Uboot-Notaufstiegsübung im Tauchturm | 141 |
| Abbildung 15-107: Tauchturm von Fort Blockhouse, Hampshire, UK | 142 |
| Abbildung 15-108: Uboot Notaufstieg | 142 |
| Abbildung 15-109: Uboot Notausstieg (Trainingsturm der USN)..... | 143 |
| Abbildung 15-110: Risikofunktion für Uboot-Notaufstiege | 144 |
| Abbildung 15-111: Parameter für die Risikofunktion (Quelle: ASM 2015, A13)..... | 144 |
| Abbildung 15-112: P(DCS) für die CNS-DCS | 145 |
| Abbildung 15-113: Schemazeichnung Tauchturm (Quelle: HAUX) | 146 |
| Abbildung 15-114: Adaption / Adaptation von Caisson-Arbeitern; %DCS vs. TG | 147 |
| Abbildung 15-115: Binominal-Verteilung für %DCS mit 0, 1, 2 Hits vs. # TG | 150 |
| Abbildung 15-116: ED01 --> ED50 bei USN und RN | 151 |
| Abbildung 15-117: Atemwegswiderstand bei 2 Gasmischungen | 153 |
| Abbildung 16-1: # DCS Hits unter verschiedenen Situationen | 155 |
| Abbildung 16-2: P DCS bei sehr flachen TG | 156 |
| Abbildung 16-3: DCS Verteilung von 79 Hits auf 37 Caisson-Arbeiter | 157 |
| Abbildung 16-4: Synonyme für ABN / DON etc., Quelle: [178]..... | 158 |
| Abbildung 16-5: Röntgenbildchen von ABN..... | 158 |
| Abbildung 16-6: Skelett mit Bereichen für DON/ABN | 159 |
| Abbildung 16-7: DON: vorgeschlagener Mechanismus | 160 |
| Abbildung 16-8: Querschnitt durch einen Knochen, 43th. UHMS workshop, p.70 | 161 |
| Abbildung 16-9: Wirkungsweise und Röntgenbild von DON | 162 |
| Abbildung 16-10: Regelkreis ABN / DON | 163 |
| Abbildung 16-11: DON bei japan. Tauchern (ASM 2015) | 164 |
| Abbildung 16-12: Klientel der o.g. DON Untersuchung (ASM 2015) | 165 |
| Abbildung 16-13: 2 Kernspin-CTs einer DON an der Hüfte | 166 |
| Abbildung 16-14: # DCS und workload | 168 |
| Abbildung 16-15: P DCS vs. Zeit und Belastung..... | 169 |
| Abbildung 16-16: "Null"-Zeiten und O ₂ -Verbrauch (DIVE)..... | 170 |
| Abbildung 16-17: workload & TTS beim ADT Modell (Arne Sieber) | 170 |
| Abbildung 16-18: workload & TTS; DIVE V3 | 171 |
| Abbildung 16-19: M-Werte bei 165 DCS-Fällen (DSL Datenbank)..... | 171 |
| Abbildung 16-20: Konditionierung und Blasenanzahl | 172 |
| Abbildung 17-1: die üblichen Perfusions- und Diffusionsstrecken | 174 |
| Abbildung 17-2: # Kompartimente & HWZ-Spektrum vs. Zeit | 180 |
| Abbildung 17-3: die 6 Koeffizientenmatrizen in DIVE | 182 |
| Abbildung 17-4: Haldane Modell mit 5 parallelen Kompartimenten | 183 |
| Abbildung 17-5: DCAP Stammbaum | 184 |
| Abbildung 17-6: OSI Druckkammer; 1965 bei Sättigungs-TG auf 200 m | 185 |
| Abbildung 17-7: OSI Logo Abbildung 17-8: OSI Lab..... | 185 |
| Abbildung 17-9: DCIEM Modell mit 4 seriellen Kompartimenten..... | 186 |
| Abbildung 17-10: Dekompressions-Modelle: Seriell vs. Parallel | 187 |
| Abbildung 17-11: M vs. Umgebungsdruck für 5 Kompartimente..... | 189 |
| Abbildung 17-12: Fit über alle M ₀ -Werte..... | 190 |
| Abbildung 17-13: Fit über alle ΔM -Werte..... | 191 |
| Abbildung 17-14: Kompartiment mit HWZ = 27 min..... | 192 |
| Abbildung 17-15: a-Koeffizienten vs. HWZ | 194 |
| Abbildung 17-16: b-Koeffizienten vs. HWZ | 195 |
| Abbildung 17-17: P _{tiss,tol} @ Pamb 1 Bar (mit ZH-L 16 Koeffizienten) | 195 |
| Abbildung 17-18: Temperaturverlauf in der Nordsee | 197 |
| Abbildung 17-19: MPTT vs. Stopp-Tiefe für He | 198 |
| Abbildung 17-20: PMRC mit DIVE..... | 199 |
| Abbildung 17-21: Hauttemperatur (geschätzt) vs. Doppler-Grade | 199 |
| Abbildung 17-22: P _t , tol bei He / N ₂ vs. HWZ nach Bühlmann..... | 200 |
| Abbildung 17-23: 8 Kompartimentmodell mit variabler Perfusion (unten)..... | 201 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 17-24: Super-schnelles Kompartiment bei Apnoe..... | 202 |
| Abbildung 17-25: die Hyperfläche des Ein-Kompartiment-Modell | 204 |
| Abbildung 17-26: Hyperfläche der kontinuierlichen HWZ | 205 |
| Abbildung 17-27: LE und EE Entsättigung (mit X-over point) | 206 |
| Abbildung 17-28: P(DCS) für VVAL18 und USN1957 | 208 |
| Abbildung 17-29: Perfusion vs. Diffusion (Schema)..... | 210 |
| Abbildung 17-30: britisches Ein-Kompartiment-Diffusionsmodell (slab = Platte, Scheibe, Stab)..... | 211 |
| Abbildung 17-31: Inertgaskonzentration vom Ort x und der Zeit t | 216 |
| Abbildung 17-32: Übersichtsskizze des Thermodynamischen Modells (nach Hills, B.A.) | 218 |
| Abbildung 17-33: Dekompressionsprofil aus dem thermodynamischen Modell | 219 |
| Abbildung 17-34: Vergleich gemessenes thermodynamisches Profil mit USN Tabelle .. | 219 |
| Abbildung 17-35: Thermodynamischer Ansatz (Hills) | 220 |
| Abbildung 17-36: Dekompressionsprofil VPM vs. USN..... | 222 |
| Abbildung 17-37: Pss vs. t: vom Keim zur Blase | 222 |
| Abbildung 17-38: Modell der Blasenoberfläche | 224 |
| Abbildung 17-39: Modell des Surfactant Moleküls | 224 |
| Abbildung 17-40: VPM vs. USN Profil..... | 226 |
| Abbildung 17-41: Anzahl Blasenkeime vs. Radius | 227 |
| Abbildung 17-42: Wiederholungsfaktor vs. OFP | 230 |
| Abbildung 17-43: Regenerationsfaktor vs. Zeit..... | 230 |
| Abbildung 17-44: reversed profile Faktor vs. Tiefe des Wdh.-TG..... | 231 |
| Abbildung 17-45: Reduktion von G0 | 232 |
| Abbildung 17-46: Perfusion und Diffusion an der Gasblase..... | 234 |
| Abbildung 17-47: P DCS vs. Gasmenge (Dosis)..... | 236 |
| Abbildung 17-48: TBDM Simulation bei einem SAT TG..... | 237 |
| Abbildung 17-49 Deterministisch versus Statistisch, modifiziert und mit freundlicher Genehmigung von Dr. David Doolette, USN NEDU | 240 |
| Abbildung 17-50: Normalverteilung und Dosis-Wirkung..... | 241 |
| Abbildung 17-51 zentraler Grenzwertsatz bei DCS | 242 |
| Abbildung 17-52: P DCS über Dosis (allgemein)..... | 243 |
| Abbildung 17-53: Parameter der Hill Dosis Gleichung | 244 |
| Abbildung 17-54: P DCS über Grundzeit bei NDL-TG @ 60 ft. | 246 |
| Abbildung 17-55: Hyperfläche einer Risikofunktion vs. Stoppzeiten..... | 247 |
| Abbildung 17-56: P DCS und Risikofunktion vs. OFP | 249 |
| Abbildung 17-57: P DCS für 3 ähnliche 60 fsw-TG Profile | 250 |
| Abbildung 17-58: Risikofunktion für verschiedene Gaskinetiken | 251 |
| Abbildung 17-59: Risikofunktionen für ein 3 Kompartiment-Modell | 252 |
| Abbildung 17-60: P DCS Möglichkeiten bei DIVE (Bsp. Trimix TG)..... | 253 |
| Abbildung 17-61: P DCS Möglichkeiten bei DIVE (Luft TG) | 254 |
| Abbildung 17-62: Fit Behnke / GFM..... | 256 |
| Abbildung 17-63: 3CG Model: Kompartimentstruktur | 257 |
| Abbildung 17-64: P(DCS) Vergleich 120 fsw, 30 min bei 3CG und anderen | 258 |
| Abbildung 17-65: Levitt's PBPK (Parallele & Serielle Kompartimente)..... | 261 |
| Abbildung 17-66: PBPK: P tiss vs. T | 262 |
| Abbildung 17-67: Serielle + 8 parallele Kompartimente | 263 |
| Abbildung 17-68: PBPK Modell, Schema nach Bischoff & Brown (1966)..... | 264 |
| Abbildung 17-69: Articular Bends Model | 265 |
| Abbildung 17-70: CS2T Schema | 266 |
| Abbildung 17-71: Perfusions-Diffusions Modell (nach Perl)..... | 266 |
| Abbildung 18-1: XCD-2 mit 45 m, 25 min | 272 |
| Abbildung 18-2: Maxe-Hahn-Spezialtabelle (aus meinem privaten Archiv)..... | 278 |
| Abbildung 19-1: Doppler Grade vs. Alter und Geschlecht | 280 |
| Abbildung 19-2: Doppler Grade vs. Reisedauer (li.) und max. Tiefe (re.) | 281 |
| Abbildung 21-1: Geometrie eines Krogh-Zylinders | 288 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 21-2: Schema Lungen- und Körperkreislauf | 289 |
| Abbildung 21-3: Aufbau von Blutgefäßen..... | 290 |
| Abbildung 21-4: Endothel vs. Muskel & chem. Faktoren | 291 |
| Abbildung 21-5: Strömungsgeschwindigkeit und Druckverhältnis im Blutkreislauf..... | 292 |
| Abbildung 21-6: Geschwindigkeitsprofil in einem Blutgefäß | 293 |
| Abbildung 21-7: qualitative Skizzen zur Blutviskosität & HK | 294 |
| Abbildung 21-8: Laminarer und turbulenter Blutfluß..... | 295 |
| Abbildung 21-9: Prinzipskizze: Totraum / Ablösezone im Blutgefäß | 296 |
| Abbildung 21-10: Viskosität von Blut & HK Wert | 297 |
| Abbildung 21-11: Schema: Kapillarbett | 298 |
| Abbildung 21-12: Details zum Blutdruck in beiden Kreisläufen | 299 |
| Abbildung 21-13: Fraktale Dimensionen von Ventilation / Perfusion in der Lunge..... | 300 |
| Abbildung 21-14: Schema: Alveole | 301 |
| Abbildung 21-15: Schema: Geometrie für 3-dim "random walks" | 302 |
| Abbildung 21-16: Gasaustausch am roten Blutkörperchen..... | 304 |
| Abbildung 21-17: Teil (ein Viertel) eines Hb-Moleküls..... | 304 |
| Abbildung 21-18: Hb vs. PO ₂ (PCO ₂ und Temperatur)..... | 305 |
| Abbildung 21-19: Schema: Haldane und Bohr-Effekt | 306 |
| Abbildung 21-20: Physikal. & chem. Lösung von CO ₂ | 306 |
| Abbildung 21-21: menschlicher Halsbereich mit Rezeptoren..... | 307 |
| Abbildung 21-22: Übersicht über mögliche Blasenwege | 308 |
| Abbildung 21-23: Schema: Blasen im AB-Modell | 308 |
| Abbildung 21-24: AB Modell und BORA | 309 |
| Abbildung 21-25: Schema: Blasenwege und DCS | 310 |
| Abbildung 21-26: Schema: Blasenwege (Maler: P.P. Foster)..... | 311 |
| Abbildung 21-27: Bau eines Oberschenkelknochens..... | 312 |
| Abbildung 21-28: biologische Transportnetzwerke | 314 |
| Abbildung 21-29: Grundumsatz und Körpergewicht (nach Kleiber) | 315 |
| Abbildung 22-1: Big Dive Data 0: jährliche Verteilung | 317 |
| Abbildung 22-2: Big Dive Data 1: Tiefenverteilung | 318 |
| Abbildung 22-3: Big Dive Data 2: Technologien | 318 |
| Abbildung 22-4: Big Dive Data 3: Anzahl der Unglücke | 319 |
| Abbildung 22-5: Big Dive Data 4: Gerätetypen..... | 320 |
| Abbildung 22-6: Big Dive Data 5: Tiefe vs. Gerätetyp..... | 321 |
| Abbildung 22-7: DCAP 170 fsw / Air | 323 |
| Abbildung 22-8: historischer "Caisson" zum Brückenbau, S. 342..... | 324 |
| Abbildung 22-9: diverse Überdruckschleusen | 328 |
| Abbildung 22-10: aktueller Caisson (Querschnitt)..... | 329 |
| Abbildung 22-11: echter historischer Caisson für Hafen-Arbeiten, S. 342..... | 331 |
| Abbildung 22-12: historische Rekompresseionskammer an Bord eines Schiffes, S. 342 | 332 |
| Abbildung 22-13: Tunnelarbeiter in der Deko-Kammer | 333 |
| Abbildung 22-14 TUP Trimix | 335 |
| Abbildung 22-15: DCAP Tmx für Tunnel/Caisson | 336 |
| Abbildung 23-1: 2 Handheld Analyzer | 338 |
| Abbildung 23-2: 2 Mischgasanalyser | 340 |
| Abbildung 23-3: Stage Tank: Rigging & Beschriftung..... | 342 |
| Abbildung 23-4: Wieviele Flaschen?..... | 342 |
| Abbildung 23-5: Optimal Switching Time | 343 |
| Abbildung 23-6: Latenz beim Gaswechsel..... | 344 |
| Abbildung 23-7: optimaler Mix N ₂ vs. He | 344 |
| Abbildung 23-8: Low / High Density Bubbles vs. N ₂ / He..... | 346 |
| Abbildungen 23-9a: O ₂ -Trapez ("Affenschaukel") & 23-10b | 346 |
| Abbildung 23-11: zeitliche Entwicklung von Gasblasen (He, Ar, N ₂)..... | 348 |
| Abbildung 23-12: # Blasen vs. Stopptiefe (Andi Pilmanis)..... | 351 |
| Abbildung 23-13: # Blasen vs. OFP & Aufstiegs geschwindigkeit | 352 |
| Abbildung 23-14: Verschiedene "deep stop" Strategien..... | 353 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 23-15: Druckgraph und GF | 359 |
| Abbildung 23-16: Dekoprognoze (Tmx-TG) mit GF bei DIVE | 360 |
| Abbildung 23-17: "deep stop" Vorschläge bei DIVE (Tmx 20/30/50) | 362 |
| Abbildung 23-18: Übersichtsschema COPERNICUS | 365 |
| Abbildung 23-19: COPERNICUS Hyperfläche "deco stress" | 366 |
| Abbildung 23-20: COPERNICUS: Schema / Überblick..... | 367 |
| Abbildung 23-21: Copernicus TTS 24 m / 70 min | 367 |
| Abbildung 23-22: Modell: Blase an Gefäßwand | 368 |
| Abbildung 23-23: NOAA Ox-Tox Limits..... | 371 |
| Abbildung 23-24: 4%-Abnahme der Vitalkapazität..... | 372 |
| Abbildung 24-1: USN vs. NOAA Limits | 376 |
| Abbildung 24-2: Pulmonale- & ZNS-Ox-Tox Limits vs. Zeit | 377 |
| Abbildung 24-3: Donald (Mitte) mit zwei seiner Probanden, Quelle [182], S. 192 | 378 |
| Abbildung 24-4: Versuchsaufbau von Donald..... | 379 |
| Abbildung 24-5: 2 Ox-Tox Kurven (Donald)..... | 380 |
| Abbildung 24-6: Ox-Tox Toleranz von 5 Probanden, Quelle: [182] | 382 |
| Abbildung 24-7: FED | 384 |
| Abbildung 24-8: O2-Korrekturen in DIVE | 385 |
| Abbildung 24-9: O2-Korrekturen..... | 385 |
| Abbildung 24-10: Deko-Kammer nach einem Brand (I) | 387 |
| Abbildung 24-11: Deko-Kammer nach einem Brand (II & III)..... | 387 |
| Abbildung 24-12: Lambertsen O2-Schema | 388 |
| Abbildung 24-13: DCAP O2 Limits..... | 389 |
| Abbildung 24-14: Extrapolation von NOAA und USN Ox-Tox Limits | 390 |
| Abbildung 24-15: CNS-O2 Limits, Bereich von 0,55 bis 2,5 atm | 392 |
| Abbildung 24-16: Ox-Tox Check im Tauchturm | 393 |
| Abbildung 24-17: Ox-Tox Check (Resultate) | 394 |
| Abbildung 24-18: 4 atü O2 (Stelzner / DRÄGER)..... | 395 |
| Abbildung 24-19: Stelzner: Physiologie des Tauchers [70], S. 28..... | 395 |
| Abbildung 24-20: %ZNS Ox Tox bei 6,1 m | 404 |
| Abbildung 24-21: %ZNS Ox-Tox bei 6,4 m | 404 |
| Abbildung 24-22: %ZNS Ox-Tox bei 6,0 m | 404 |
| Abbildung 24-23: %ZNS Ox-Tox bei 6,2 m | 405 |
| Abbildung 24-24: Programmierfehler, die I..... | 405 |
| Abbildung 24-25: Programmierfehler, die II..... | 405 |
| Abbildung 24-26: Programmierfehler: die III.! | 406 |
| Abbildung 21-1: M-Werte Bergseetauchen (Skizze)..... | 408 |
| Abbildung 21-2: Extrapolationen bei reduziertem Umgebungsdruck..... | 410 |
| Abbildung 21-3: NLHE | 410 |
| Abbildung 21-4: Bergseetauchen (Vergleich im Flieger)..... | 415 |
| Abbildung 22-1: Kostenvergleich der Tauchverfahren..... | 417 |
| Abbildung 22-2: Habitat (Schemazeichnung für Exkursionen)..... | 419 |
| Abbildung 22-3: Profil eines Sättigungstauchganges (Schema)..... | 420 |
| Abbildung 22-4: 3 verschiedene Dekompressionsprofile bei Sättigungs-TG | 421 |
| Abbildung 22-5: Sättigungsdruck vs. Umgebungsdruck | 423 |
| Abbildung 22-6: Schemazeichnung "Sealab III" (Quelle: HAUX)..... | 425 |
| Abbildung 22-7: Fünf Bilder von den Sea Lab Experimenten | 426 |
| Abbildung 22-8: 2 Skizzen: TEKTITE Aufbau | 427 |
| Abbildung 22-9: Tektite II, BVI (Photo courtesy of Bates Littlehouse)..... | 428 |
| Abbildung 22-10: TEKTITE II all female team in crews quarters, incl. Sylvia Earle (black & white suit)..... | 429 |
| Abbildung 22-11: Sättigungstauchen bei Tunnelarbeiten | 431 |
| Abbildung 22-12: Ersteinsätze von SAT, Quelle: HAUX | 434 |
| Abbildung 22-13: Einsatztiefen von SAT, Quelle: HAUX | 434 |
| Abbildung 23-1: Hannes Keller, Dezember 1962 | 436 |
| Abbildung 23-2: 1000 ft dive on Heliox (1962)..... | 437 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 23-3: Jens Hilbert bei seinem 240 m TG am 12.8.2002 im Roten Meer | 437 |
| Abbildung 24-1: Ölfelder in der Nordsee, aus [167]..... | 440 |
| Abbildung 24-2: Tiefen- & Zeitzonen beim beruflichen Tauchen | 440 |
| Abbildung 24-3: Komponenten eines DDS / Sat Systems | 441 |
| Abbildung 24-4: Aufbau einer PTC | 442 |
| Abbildung 24-5: Bell / PTC von aussen (SN) | 443 |
| Abbildung 24-6: PTC: Inneneinrichtung..... | 443 |
| Abbildung 24-7: Phasen eines Sat TG (anhand DDS)..... | 445 |
| Abbildung 24-8: DDC: Inneneinrichtung | 446 |
| Abbildung 24-9: Heißwasser-Anzug (mit Kirby-Morgan Helm) | 447 |
| Abbildung 24-10: Schema: Heißwasser-System; Anzug & Atemgasheizung. Quelle: [167] | 448 |
| Abbildung 24-11: Tiefengrenzen des Tauchereinsatzes, "diverless production systems" | 449 |
| Abbildung 26-1: Pfade & Wirkungen von Blasen [178]..... | 452 |
| Abbildung 26-2: DCS Blase (im Mikroskop) | 452 |
| Abbildung 26-3: DCS Blase im Gewebe (Schema)..... | 453 |
| Abbildung 26-4: Gasblase im Blutgefäß (Schema) | 454 |
| Abbildung 26-5: Biochemie der DCS, I..... | 454 |
| Abbildung 26-6: Biochemie der DCS, II..... | 456 |
| Abbildung 26-7: VGE vs. Zeit bei nach 48h Luft-TG | 456 |
| Abbildung 26-8: Druckentlastung und Einsetzen der Symptome | 457 |
| Abbildung 26-9: USN Kammertabelle 3..... | 460 |
| Abbildung 26-10: USN Kammertabelle 6A | 460 |
| Abbildung 26-11: USN Kammertabelle 6..... | 461 |
| Abbildung 26-12: STOLT / COMEX Tabelle..... | 461 |
| Abbildung 26-13: OSI Tabelle 7..... | 462 |
| Abbildung 26-14: CF Tabelle 8 | 463 |
| Abbildung 26-15: HTC Tabelle | 464 |
| Abbildung 26-16: Boyle-Mariotte mal ganz praktisch | 465 |
| Abbildung 26-17: O2-Nargilah | 466 |
| Abbildung 26-18: zeitliche Entwicklung von DCS-Blasen (Zeit bis zur Auflösung)..... | 468 |
| Abbildung 26-19: Blasenwachstum & Gehirnüberlebenszeit | 469 |
| Abbildung 27-1: Wie alles zusammenhängt: der "grosse Teufelskreislauf" | 470 |
| Abbildung 35-1: Drei Mischgas-Tauchcomputer im aktuellen Vergleich..... | 487 |
| Abbildung 39-1: Siegfried Ruff, Nuremberg Doctor Trials | 492 |
| Abbildung 39-2 Auszüge aus DVFLR Festschrift..... | 492 |
| Abbildung 40-1: Die „Ahnentafel“ | 494 |

11. Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Beispiele für I bei 37 ° Celsius (in ml / bar L) für verschiedene Gase..... | 34 |
| Tabelle 2: Löslichkeitskoeffizienten I versch. Gase..... | 35 |
| Tabelle 3: Löslichkeitskoeffizient K..... | 36 |
| Tabelle 4: Perfusionsraten im menschlichen Modell..... | 40 |
| Tabelle 5: Halbwertszeiten (HWZ) und prozentuale Sättigungen | 41 |
| Tabelle 6: Löslichkeiten und Diffusionskonstanten | 44 |
| Tabelle 7: modifizierte Rss der USN..... | 46 |
| Tabelle 8: ED50 und Sättigungszeiten | 54 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 9: Meßfrequenz vs. Eindringtiefe..... | 84 |
| Tabelle 10: statistische Verteilung DCS Symptomen | 100 |
| Tabelle 11: verschiedene Rq | 104 |
| Tabelle 12: Wiederholungsgruppenalphabet nach USN und N2-Partialdruck | 107 |
| Tabelle 13: Ganzkörper N2 Abgabe | 110 |
| Tabelle 14: Partialdrücke im menschlichen Metabolismus bei 1 Bar..... | 126 |
| Tabelle 15: O2-Fenster (nach Momsen) | 127 |
| Tabelle 16 : O2-Fenster nach [178], S. 135..... | 129 |
| Tabelle 17: CO2: Retention & Partialdruck | 136 |
| Tabelle 18: R/L Shunt nach Bühlmann..... | 137 |
| Tabelle 19: 3 Tabellen # DCS Hits vs. Vertrauensintervall | 148 |
| Tabelle 20: # TG vs. P DCS..... | 149 |
| Tabelle 21: relative narkotische Wirkung nach [63], S. 304 | 152 |
| Tabelle 22: Untersuchungen zu DON, Quelle [178]..... | 165 |
| Tabelle 23: HWZ vs. M-Werte (Bob Workman)..... | 176 |
| Tabelle 24: Zusammenhang zwischen M ₀ und HWZ Tau (B. Wienke) | 177 |
| Tabelle 25: 15-Kompartiment Modell nach Heinz Schreiner | 178 |
| Tabelle 26: 10 Kompartimente von Gernhardt, ML | 178 |
| Tabelle 27: PADUA Werte-Matrix | 179 |
| Tabelle 28: max T1/2 (Tabelle der maximalen HWZ) | 181 |
| Tabelle 29: HWZ vs. Übersättigung (von 1906 --> 1965)..... | 188 |
| Tabelle 30 Geschichte der USN Tabellen von 1915 bis 2009 | 188 |
| Tabelle 31: M ₀ für super- & hyperschnelle Kompartimente (Fit) | 190 |
| Tabelle 32: ΔM für super- & hyperschnelle Kompartimente (Fit)..... | 191 |
| Tabelle 33: HWZ und Perfusion vs. Temperatur..... | 196 |
| Tabelle 34: HWZ vs. MPTT Generator-Variablen | 198 |
| Tabelle 35: Modell mit 8 Kompartimenten für Mischgase | 202 |
| Tabelle 36: Seriell & Parallel Kombination..... | 205 |
| Tabelle 37: MPTT nach VVAL18 für N2..... | 207 |
| Tabelle 38: MPTT nach VVAL79 für N2..... | 208 |
| Tabelle 39: NDL Vergleich USN / Hempleman | 212 |
| Tabelle 40: Hempleman Diffusionsgesetz nach t ^{1/2} | 213 |
| Tabelle 41: Berechnete vs. Doppler NDL (Spencer)..... | 214 |
| Tabelle 42: VPM Profil vs. USN und RNPL..... | 225 |
| Tabelle 43: HWZ vs. M ₀ für 5 Kompartimente in 4 versch. Modellen | 229 |
| Tabelle 44: P DCS 1% und 5% vs. Tauchtiefe, I..... | 236 |
| Tabelle 45: Blasenevolutionsmodelle nach Srinivasan & Gerth..... | 238 |
| Tabelle 46: P DCS vs. NDL und Tauchtiefe, II..... | 247 |
| Tabelle 47: P DCS 1%, 2,3% und 5% vs. Tauchtiefe, III..... | 248 |
| Tabelle 48: PBPK 8 Kompartiment Modell, Mapleson | 259 |
| Tabelle 49: PBPK - Mischgas, Valerie Flook..... | 260 |
| Tabelle 50: Testtauchgang Luft, 42 m, 25 min..... | 270 |
| Tabelle 51: Testtauchgang Heliox20, 42 m, 25 min..... | 273 |
| Tabelle 52: Testtauchgang Heliox16, 42 m, 30 min; USN und DCIEM..... | 274 |
| Tabelle 53: # Kompartimente, HWZ vs. Tauchcomputertypen..... | 274 |
| Tabelle 54: Vergleich Haldane vs. USN 2008 für 100 feet TGs | 281 |
| Tabelle 55: Haldanes Tabellen I & II (aus Davis, [89], S.103)..... | 282 |
| Tabelle 56: Dekompressionseffizienz; Vgl. Trimix vs. Heliox (USN 2015) | 284 |
| Tabelle 57: Viskositätskoeffizienten | 296 |
| Tabelle 58: P DCS für verschiedene Organisationen und Tabellentypen..... | 316 |
| Tabelle 59: Big Dive Data: Anzahl TG zwischen 105 und 305 feet..... | 319 |
| Tabelle 60: Austauschzeiten TG auf 500 feet / 30 min. | 322 |
| Tabelle 61: USN 2008: 170 feet / Air..... | 323 |
| Tabelle 62: USN 2016: 170 feet / Air..... | 323 |
| Tabelle 63: modifizierte Blackpool-Tabelle | 325 |
| Tabelle 64: Seattle-Tabelle und # DCS | 326 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 65: Caisson-Tabelle mit O2 Deko (japanisch) | 327 |
| Tabelle 66: Deutsche Druckluftverordnung (Auszug: 35 & 36 m) | 330 |
| Tabelle 67: DCS latency | 330 |
| Tabelle 68: #DCS Hits vs. Tote bei historischen Tunnelprojekten | 331 |
| Tabelle 69: Vergleich Druckluftverordnung 1972 / modifiziertes ZH-L 16 (1989) | 333 |
| Tabelle 70: Deutsche Druckluftverordnung von 2013 (mit O2-Deko): 22 - 24 m WT..... | 334 |
| Tabelle 71: Auszug aus Tunnel-Trimix Tabelle | 335 |
| Tabelle 72: O2 und Luftverbrauch vs. Arbeitslast (nach USN) | 337 |
| Tabelle 73: Korrekturtabellen für Handheld Analyser..... | 339 |
| Tabelle 74: USN Standardprozeduren von 1937 --> 2008 | 349 |
| Tabelle 75: DCIEM Standardprozeduren | 350 |
| Tabelle 76: Beispiel "deep stops" mit DECO2000..... | 354 |
| Tabelle 77: TG Parameter mit TST = const. = 174 min..... | 354 |
| Tabelle 78: IANTD Luft Tabelle für „accelerated deco“ mit EAN >75 | 355 |
| Tabelle 79: PDIS, I | 361 |
| Tabelle 80: PDIS, II | 361 |
| Tabelle 81: die zwei Ox-Tox Varianten | 369 |
| Tabelle 82: NOAA ZNS | 370 |
| Tabelle 83: NOAA ZNS für außergewöhnliche Belastungen | 371 |
| Tabelle 84: OTU Tabelle nach Hamilton / REPEX, I..... | 372 |
| Tabelle 85: REPEX Tabelle nach Hamilton, II | 373 |
| Tabelle 86: BGI 897 | 375 |
| Tabelle 87: max. O2-Zeit nach USN | 376 |
| Tabelle 88: Nitrox MOD aus der MDv 450/1..... | 377 |
| Tabelle 89: Symptome von ZNS Ox-Tox (nach Donald) | 381 |
| Tabelle 90: % Symptome bei ZNS-Ox-Tox vs. Tiefe / Zeit (Donald)..... | 383 |
| Tabelle 91: 5 & 10 % ZNS Risiken, Quelle: Arieli..... | 383 |
| Tabelle 92: O2-Korrektur: Flook Modell | 386 |
| Tabelle 93: NOAA ZNS Dosen @ ca. 100 % bei verschiedenen Implementierungen..... | 389 |
| Tabelle 94: ZNS Dosen von 1,2 - 2,5 Bar pO2 & Extrapolationen (Ex.) | 391 |
| Tabelle 95: NOAA Limits > 1,6 atm pO2 (mathematisch)..... | 391 |
| Tabelle 96: Professional Divers Handbook, Quelle [167], S. 317 | 392 |
| Tabelle 97: OTU Tabelle nach [167], S. 318..... | 393 |
| Tabelle 98: ZNS Zeiten USN / RN von 1959..... | 393 |
| Tabelle 99: jenseits von 1,6 ... (Liste von Chris Acott) | 394 |
| Tabelle 100: NAUI RGBM Trimix Tabelle für TX 16 % O2, 24 – 40 % He, 44 – 60 % N..... | 399 |
| Tabelle 101: IANTD Trimix Tabelle für TX 20 % O2, 25 % He, 55 % N2..... | 399 |
| Tabelle 102: NAUI RGBM Helitrox Tabelle für TX 26 - 30 % O2, 13 – 17 % He, 53 – 61 % N2 | 401 |
| Tabelle 103: USS Monitor Heliox TG | 402 |
| Tabelle 104: Verkleinerung des Sauerstoff-Fensters mit der Bergseehöhe..... | 411 |
| Tabelle 105: Fliegen nach dem Tauchen & Bergseetauchen | 412 |
| Tabelle 106: Vergleich Bergsee Test-TG (42 m / 25 min)..... | 413 |
| Tabelle 107: SAA DeeP Stop 701 - 2500 m..... | 414 |
| Tabelle 108: Vergleich Bergsee Test-TG (42 m / 25 min) im Flieger..... | 415 |
| Tabelle 109: Kompressionsraten (für SAT / USN) | 417 |
| Tabelle 110: USN Dekompressionsraten für Sättigungs-TG bis 500 ft | 418 |
| Tabelle 111: De-Sat Schedule, alternative (USN) | 418 |
| Tabelle 112: Dekompressionszeiten von 30 bis 686 m Sättigungstiefe..... | 419 |
| Tabelle 113: DeltaP für Luft-Sat TG | 422 |
| Tabelle 114: DUKE/GUSI/GKSS Trimix-Sat.profil bis 680 m..... | 430 |
| Tabelle 115: NOAA Deko bei Luft-Sättigung auf 13 m | 432 |
| Tabelle 116: Auswahl an Sättigungsexperimenten (unten, s. nächste Seite) | 432 |
| Tabelle 117: Tiefengrenzen für Tauchen & Schweißen | 435 |
| Tabelle 118: 240 m TG von Jens Hilbert (2002) | 438 |
| Tabelle 119: USN 1943 Air Recompression Procedures | 458 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 120: die Tabelle der Tabellen | 459 |
| Tabelle 121: Tiefen und "NDL"-Vergleich | 487 |

12. Formelverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Formel 15-1 Gesetz von Henry | 34 |
| Formel 15-2 Löslichkeitskoeffizient $L=L(t)$ | 35 |
| Formel 15-3 Halbwertszeit | 43 |
| Formel 15-4 Übersättigung | 46 |
| Formel 15-5 tolerierte Überspannung | 48 |
| Formel 15-6 Blase: Druckbilanz | 59 |
| Formel 15-7 Blase: Partialdrücke | 60 |
| Formel 15-8 Laplace: Oberflächenspannung | 60 |
| Formel 15-9 Blasengröße und Kompressionsmodul | 60 |
| Formel 15-10 Blasenübersättigung | 62 |
| Formel 15-11 Blasenradius $r = r(t)$ | 62 |
| Formel 15-12 Bernoullische Gleichung | 67 |
| Formel 15-13 Tribonucleation | 69 |
| Formel 15-14 Doppler-Effekt | 82 |
| Formel 15-15 P alveolar & R_q | 104 |
| Formel 15-16 Ganzkörper N ₂ -Aufnahme | 109 |
| Formel 15-17 Formfaktor | 109 |
| Formel 15-18 Gaswechsel & ICD | 118 |
| Formel 15-19 Sauerstoff-Fenster (I.) | 125 |
| Formel 15-20 Sauerstoff-Fenster (II.) | 129 |
| Formel 15-21 Sauerstoff-Fenster (III.) | 129 |
| Formel 16-1 workload und HWZ | 169 |
| Formel 17-1 $M = M(d)$ und Delta-M | 176 |
| Formel 17-2 $M = M(HWZ)$ | 189 |
| Formel 17-3 Generatorfunktion für USN-NDL | 191 |
| Formel 17-4 Koeffizienten (a- & b-) und HWZ | 193 |
| Formel 17-5 P tiss., tol & HWZ | 195 |
| Formel 17-6 P tiss im AB-Modell | 203 |
| Formel 17-7 Ein-Kompartiment Modell | 203 |
| Formel 17-8 Slab Model (K) | 212 |
| Formel 17-9 $NDL = NDL(C)$ | 212 |
| Formel 17-10 Doppler NDL nach Spencer | 214 |
| Formel 17-11 VPM: kritisches Volumen | 223 |
| Formel 17-12 RGBM und Gradientenfaktoren | 232 |
| Formel 17-13 TBDM: $r=r(t)$ | 234 |
| Formel 17-14 Dosisgleichung für die Haldane Quasi-Sättigungs TG | 240 |
| Formel 17-15 P(DCS) und L | 243 |
| Formel 17-16 Hill Dosisgleichung | 243 |
| Formel 17-17 Linearisierung der Dosisgleichung | 244 |
| Formel 17-18 LL und L | 245 |
| Formel 17-19 Überlebenskurve | 246 |
| Formel 17-20 Risiko-Integral | 248 |
| Formel 17-21 logit Southerland | 252 |
| Formel 17-22 Logit und P(DCS) für 3 Methoden | 255 |
| Formel 18-1 diverse TTS | 268 |
| Formel 16.0-1 linearer Massenfluss | 282 |
| Formel 16.0-2 nichtlinearer Massenfluss | 282 |
| Formel 21-1 1. Fick'sches Gesetz | 286 |
| Formel 21-2 2. Fick'sches Gesetz | 287 |

| | |
|---|-----|
| Formel 21-3 Krogh Geometrie | 287 |
| Formel 21-4 Gesetz von Hagen-Poiseuille | 292 |
| Formel 21-5 Newton'sches Viskositätsgesetz | 293 |
| Formel 21-6 Reynolds'sche Zahl | 295 |
| Formel 21-7 mittlere Diffusionsgeschwindigkeit und Wegstrecke nach N Kollisionen. | 301 |
| Formel 21-8 mittlere wahrscheinlichste Distanz bei 3-dim. „random walks“ | 302 |
| Formel 21-9 Ventilation / Perfusion | 303 |
| Formel 21-10 Allometrische Skalierung | 313 |
| Formel 21-11 Allometrische Geradengleichung | 313 |
| Formel 23-1 Standard GF | 359 |
| Formel 23-2 OTU | 372 |
| Formel 23-3 O2 HWZ, alt | 374 |
| Formel 23-4 Lambda O2, alt | 374 |
| Formel 23-5 O2 HWZ, NOAA neu | 374 |
| Formel 23-6 Lambda O2, NOAA neu | 374 |
| Formel 24-1 Anpassung der NOAA Limits | 391 |
| Formel 22-1 Kompressionsaufwand | 417 |
| Formel 22-2 Vann k-Formel | 421 |
| Formel 35-1 Fehlerfortpflanzung | 485 |

13. 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

14. Ein Quiz zum Anfang, Teil II

**“The more you know the longer you live!”
Tom Angel, Sanford Marine Services**

(sinngemäß: „Je mehr du weißt, desto länger lebst du!“)

Hier könnt ihr prüfen, wieviel Wissen noch von eurem Tauchcomputer/Tauchtabellen Specialty bzw. eines äquivalenten Spezialkurses noch präsent ist: probiert die Lösungen einfach im Kopf zu rechnen.

11) Betrachte 3 Kompartimente (mit den Nummern: I, II, III) mit den HWZ: 10, 20, 60 min. Der TG sei ein Kastenprofil, die Tiefe (=Druck) also konstant über die ganze Dauer der Grundzeit. Nach wievielen Minuten ist das schnellste Kompartiment zu ca. 98 % gesättigt, das mittlere Kompartiment II zu 87,5 % und das langsamste Kompartiment zu 50 %?

12) Angenommen, der obige TG sei auf 40 m, Grundzeit = 60 min. Der tolerierte Umgebungsdruck für das Kompartiment I betrage ca. 2 Bar. Wie lange muß man (ca.) warten, bis zur Oberfläche aufgetaucht werden darf? Oder andersherum: wie lange (ca.) muß ein hypothetischer Deko-Stopp in 10 m Tiefe sein?

Ende der Leseprobe:

Danke für das Herunterladen und danke für dein Interesse!

Wie kommt man nun 'ran an die restlichen ca. 500 Seiten?

Ganz einfach:

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

einfach per e-mail bei:

director@SMC-de.com

oder aber

zum **„deco workshop“** im TSC ES, dem 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:

<https://www.divetable.info/workshop.htm>

Viel Spaß!

Und:

auf bald beim „deco workshop“ im Tauchsportcenter Esslingen!

Hier der Link zum Katalog aller Manuals & Kurspräsentationen:

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