

VVAL18 ???

Was hat ein VVAL18 mit der neuen USN Tabelle von 04/2008 zu tun?

Verdammt gute Frage, da muß ein Topjournalist wie Hans-Günther Sattelfest schon mal genauer nachforschen ...

- - -

In einem Bericht der United States Naval Experimental Diving Unit (NEDU), also einer Abteilung der United States Navy (USN), die sich seit ihrer Gründung 1927 auf Erprobung und Weiterentwicklung von Tauchgeräten und -praktiken spezialisiert hat, lesen wir folgenden Satz: "In 1985, two commercially available UDMs were programmed with the MK15 UBA VVAL18 RTA for evaluation." (NEDU Report TR#03-12 vom 05. August 2003). Irgendwas verstanden?

Wir müssen gemeinsam abtauchen in die Tiefen der Tauch-Geschichte, bis ca. 1977, als die USN begann, die ersten tragbaren (unter Wasser) Tauchcomputer zu entwickeln. Diese Geräte wurden UDM = Underwater Decompression Monitor genannt oder auch DC (Decompression Computer). Ein "RTA" ist ein "Real Time Algorithm", also eine Rechenvorschrift die in Echt-Zeit Austauschregeln berechnet. Genau das, was euer Tauchcomputer eben macht!

Anlaß zu der Entwicklung war der erfolgreiche Einsatz von geschlossenen Kreislaufgeräten (UBA = Underwater Breathing Apparatus), hier das Mark-15 (MK 15), welches über Microprozessoren gesteuert einen konstanten Sauerstoff-Partialdruck von 0,7 Bar in Nitrox oder Heliox lieferte. Jedoch waren die mit der herkömmlichen Haldane Theorie, welche ja die Grundlage für die alte USN Luft-Tabelle von 1957 legte, berechneten Austauschzeiten für die Taucher wesentlich zu lang und die Prozedur für Multi-Level Tauchgänge zu umständlich! Stundenlange Multi-Level Tauchgänge, im Extremfall 6 bis 8 h, sind aber das tägliche Brot der mit dem MK 15 ausgerüsteten Kampftaucher.

Die Forschungen der NEDU kulminierten dann bis ca. 1985 in 3.092 Nitrox- und Heliox-Tauchgängen, die in dem 3.300 cubic feet grossen Drucktopf (Ocean Simulation Facility, OSF) in Panama City unter kontrollierten Umgebungsbedingungen, sprich genaue Einhaltung von Tiefe, Zeit, Wassertemperatur, Gasmischung, Aufstiegs geschwindigkeit, Stopptiefen und Arbeitsbelastung durchgeführt wurden. Natürlich mußten auch die Oberflächenpausen peinlichst genau eingehalten und dokumentiert werden: Wiederholungstauchgänge sollten ja ebenfalls sicher durchgeführt werden können!

Die Rechenvorschriften, Algorithmus genannt (aus dem arabischen: Muhammad ibn Musa Al Quarismi war ein Mathematiker um ca. 780 - 850), wurden in einer für die damaligen Microprozessoren geeigneten Computersprache geschrieben. Diese "Micro"-Prozessoren waren zu der Zeit jedoch in Geräte eingebaut, die in etwa Kühlschranksgröße hatten. Die benutzte Computersprache hieß FORTRAN (von "FORmula TRANslation"). Um ganz genau zu sein: es wurde FORTRAN IV auf einer hp1000 mit dem Betriebssystem RTE-IV B verwendet. Die in diesem FORTRAN-Programm verwendeten Variablen haben alle normalerweise sprechende Namen mit maximal 8 Zeichen Länge, wie z.B.: DEPTH (=Tiefe), TDT (=Total Decompression Time), FSTSTOP (= First Stop) usw. ... Mit VVAL18 ist nun lediglich ein Satz von speziellen M-Werten gemeint.

Die Forschungsarbeiten hatten zum Ziel, den optimalen Satz von M-Werten zu finden. Optimal bedeutete die Austauschzeiten so kurz wie nötig und so sicher wie möglich zu machen! Folglich gab es ganze Serien von unterschiedlichen M-Werten. Allerdings wurden diese nun „MPPT“ genannt (= Maximum Permissible Tissue Tension, d.h.: die maximal erlaubte Gewebsspannung, sprich der gerade noch tolerierbare Inertgaspartialdruck pro Kompartiment). Auch in MPPT steckt natürlich wieder das „M“ aus den M-Werten drinne, die Bedeutung für die Berechnung der Deko-Stufen ist jedoch genau die gleiche. Die MPPT werden in Form einer Tabelle dargestellt, für jedes Kompartiment die Werte ab 10 feet. Um diese verschiedenen

Tabellen einfach auseinanderzuhalten, wurden eben Namen vergeben, einer davon hieß VVAL (aus VALUE = Wert) mit einer Nummer ...; so war der allererste Programmlauf mit den original Workman M-Werten. Diese erste Tabelle erhielt dann einfach den Namen: VVAL0. Also nichts mystisches, sondern einfach nur praktischen Erfordernissen gehorchend.

Genauso übrigens wie das erste Modell von Kelley und Schreiner, sozusagen der Ur-Vater des ZH-L16 Modells, das bereits so um 1967 mit 15 Kompartimenten aufwartete. Die 15 hatten ebenfalls keinen streng wissenschaftlichen Grund: die Druckausgabe des alten Burroughs Röhrencomputer, auf dem diese Modelle entwickelt und gerechnet wurden, hatte eben nur Platz für 15 Spalten ...

Die Ausschreibung, die die USN gemeinsam mit der DEMA (Diving Equipment Manufacturer's Association) betrieb, wurde schließlich von der Fa. COCHRAN Undersea Technologies aus Richardson, Texas, gewonnen. 1996 wurden die ersten Geräte, die Cochran NAVY hießen, an die NEDU ausgeliefert. Nach weiteren Tests und Modifikationen wurde dann im Januar 2001 das Zeitalter des computerisierten Tauchens auch für die USN eingeläutet.

Kurz nach der Jahrtausendwende erschienen weitere NEDU Reports (TR 04-40 und TR 04-41). Zunächst wurden neue Algorithmen gesucht, die das Risiko, an der Dekompressionskrankheit (DCS, De-Compression Sickness) zu erkranken, mathematisch genau simulierten. Weiterhin wurde gefordert, daß genau dieses Risiko von ca. 5 % der alten USN 1957 Tabelle auf max. 2 % gesenkt werden muß. Daraufhin wurden in der Nachschau 38.172 Tauchgänge mit 207 Fällen von DCS aus allen dokumentierten USN Tauchgangsdatenbasen analysiert und übereinstimmend festgestellt, daß das mittlerweile seit 1985 wieder in der Versenkung verschwundene "VVAL18" Modell diese Forderungen genau erfüllen würde. Weiterhin wurde gehofft, daß nicht nur Multi-Level Luft- und Nitrox- sondern auch Heliox Tauchgänge mit dem Modell und auch mit dem Cochran NAVY zu berechnen sind.

Die Hoffnungen wurden nicht enttäuscht: von den 207 DCS Fällen waren ca. die Hälfte durch Tauchzeiten im 3. Drittel der Tauchzeit verursacht. Hier genau setzt das VVAL18 ein: die Austauschzeiten werden für diese Fälle verlängert werden. VVAL18 ist ein typisches, deterministisches Haldane-Modell mit 9 Kompartimenten und den Halbwertszeiten für Luft: 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160, 200 und 240 min. Die MPTT-Werte und Halbwertszeiten wurden dann für die Berechnung der neuen USN Table, Revision 6 von April 2008 für Nitrox und Heliox entsprechend angepaßt. Genau diese Anpassungen der Mischgas MPTT-Werte wurden über das "probabilistische NMRI Model" kalibriert. (NMRI ist das Naval Medical Research Institute) Probabilistisch bedeutet hier gemäß einer Wahrscheinlichkeitsrechnung, d.h. einer mathematischen Annahme, wie groß die Wahrscheinlichkeit eines Dekompressionsunfalles für eine vorgegebene Kombination Tiefe / Zeit ist. Ganz im Gegensatz zu dem traditionellen, deterministischen Haldane Ansatz. „Determinismus“ ist hierbei die Festlegung der M-Werte, sozusagen „vorneweg“.

Analysiert man den VVAL18 Algorithmus etwas genauer, fällt die Modernisierung der Haldane-Idee bzw. der M-Werte von Workman deutlich auf: es ist ein sogenannter "asymmetrischer" Algorithmus. Asymmetrisch bedeutet in diesem Zusammenhang die Asymmetrie zwischen Auf- und Entsättigung. Die Inertgasaufnahme ist schneller, mit kürzeren Halbwertszeiten versehen, wie die Inertgasabgabe des gleichen Kompartimentes. Gleichzeitig wird der Entsättigungsprozess linear simuliert und nicht exponentiell wie die Sättigung. Diese Art von Modell wird unter der Gruppe "LEM" einsortiert (LEM = Linear, Exponentiell, Multigas). Multigas beinhaltet ganz klar die Berücksichtigung weiterer Gase, nämlich Kohlendioxid, Wasserdampf sowie Sauerstoff (!). Das alte Haldane- und Workman- sowie das ZH-L16 Modell gehören zur Gruppe "EE" (exponentielle Sättigung und exponentielle Entsättigung). Die Idee dahinter ist die Annahme, daß sobald eine "freie Gasphase" (= nicht gelöste Gasblasen) beim Auftauchen entsteht, diese die Entsättigung behindert und langsamer macht. Modelliert wird dies mit einer linearen statt einer exponentiellen Entsättigung (oder, wie z.B. bei den adaptiven Micro-Bubble Modellen der UWATEC Tauchcomputer, mit der Vergrößerung der Halbwertszeiten der betroffenen Kompartimente). Pikanterweise sind auch diese Ideen bereits 100 Jahre früher, nämlich von Boycott, Damant und Haldane formuliert worden, ebenso die Idee der „deep stops“. Der Erfolg von Haldanes „flacher Tabelle“, also der „Table I“ von

1908 mit Austauschzeiten bis max. 30 min hatte jedoch diese weitergehenden Überlegungen für längere und tiefere Tauchgänge in Vergessenheit geraten lassen. Ebenso rasch in Vergessenheit gerieten auch die Einschränkungen bezüglich Tauchtiefe und Tauchzeit, die Empfehlungen für Oberflächenpausen im 3 h-Bereich sowie die Vorsichtsmaßnahmen für „men ...inclined to obesity... .. over about 45 years ...“(Im Klartext für: „fette und alte Taucher“ verlängerte Austauschzeiten).

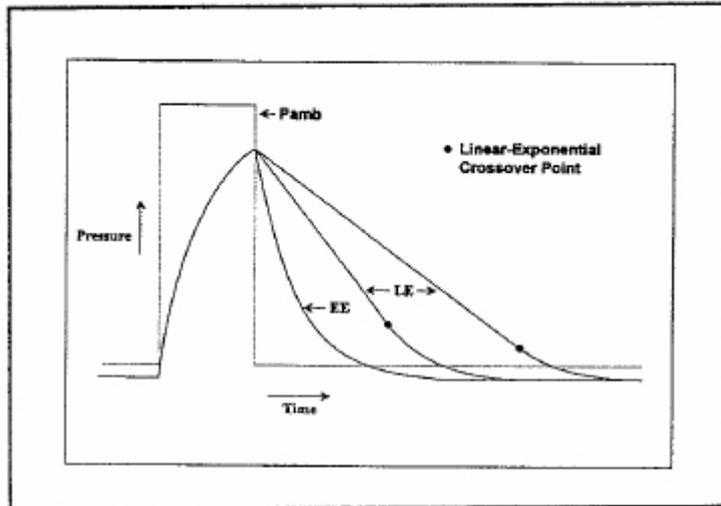


Figure 1. EE and LE kinetics. The pressure profile (P_{amb}) is simple step function. The solid lines are gas tensions in a typical tissue. Gas uptake is exponential in all cases. during offgassing EE kinetics follows an exponential function. LE kinetics are linear until the linear-exponential crossover point is reached at which point an exponential function is followed. The greater the linear-exponential crossover point the steeper the linear slope and the more rapid the offgassing.

(aus: The Effectiveness of Dive Computers in Repetitive Diving, UHMS 1995, S. 56)

Die lineare Entsättigung wird bis zu einem definierten Schnittpunkt, dem „Linear-Exponential Crossover Point“ fortgeführt und danach wird wieder mit der Exponential-Funktion weitergerechnet.

Letzten Endes sieht man diese Auswirkungen des VVAL18 Algorithmus sehr deutlich in der neuen USN Tabelle: die Wiederholungsgruppen sind i.d.R. im Alphabet um einen oder mehrere Buchstaben nach hinten, Richtung „Z“, gerutscht. Die Stopps sind tiefer, nämlich statt 10 feet (=3 m) auf 20 feet (=6 m) und i.d.R. etwas länger. Weiterhin wird sofort die Option statt mit Luft auch mit Sauerstoff zu dekomprimieren, angeboten. Desweiteren wird die langsamere lineare Entsättigung schon fast schmerzlich bei der Berechnung der Wiederholungstauchgänge sichtbar: das alte USN Dogma, das die längste Oberflächenpause nur 12 h betragen müsse, danach seien alle Kompartimente „clean“, also wieder bis zu ihrem ursprünglichen Inertgaspartialdruck entsättigt, gilt in dieser Form nicht mehr! Die 12 h – Grenze wird bereits mit der Wiederholungsgruppe „L“ um 21 min überschritten, bei „M“ sind wir mit über 13 h dabei. Steigen wir mit „O“ aus dem Wasser, müssen mindestens 15 h vergehen, sonst handeln wir uns die üblichen Zeitzuschläge ein.

Ein abschliessendes Beispiel:

der Tauchgang sei auf 60 feet (=18,2 m) für 2 h. Wir finden in der alten USN Tabelle bei:

- 60 feet / 120 min: Deko-Stopp 26 min auf 10 feet, Wiederholungsgruppe N

USN Rev. 6 liefert:

- 60 fsw / 120 min: 75 min auf 20 feet, Wiederholungsgruppe Z, oder
26 min auf 20 feet mit O_2 .

Quellen:

NEDU Reports: TR 04-41, 04-40, 03-12, 02-10, 14-01, 9-00, 10-86, 1-84, 1-83, 11-80, 10-65, 6-57
Die NEDU Reports (und mehrere tausend anderer Berichte) sind zwischenzeitlich kostenlos unter:

<http://rubicon-foundation.org/>

erhältlich.

Mathematisch korrekte Infos (kurze Auszüge aus einigen NEDU Reports) findet ihr hier:

<http://www.divetable.de/workshop/EL.pdf> oder hier: <http://www.divetable.de/workshop/LEM.pdf>,
bzw. die Zusammenfassungen aller Formeln: http://www.divetable.de/workshop/Formel_V1.htm
und die VVAL18 Koeffizienten: http://www.divetable.de/workshop/Formel_V2.htm

Historische Quellen:

Boycott, A.E., Damant, G.C.C., & Haldane, J.S.: The Prevention of Compressed Air Illness, Journal of Hygiene, Volume 8, (1908), pp. 342-443. (Die erste und grundlegende Arbeit über Dekompression – an Ziegen)

bzw. das grundlegende Werk über Atmung:

Haldane, J.S.: Respiration. New Haven, Yale University Press, 1922

Workman, Robert D. "Calculation of Decompression Tables for Nitrogen-Oxygen and Helium-Oxygen Dives", Research Report 6-65, U.S. Navy Experimental Diving Unit, Washington, D.C. (26 May 1965) (Entwicklung des M-Wert Algorithmus)

Braithwaite, W.R. „Systematic Guide to Decompression Calculations“, Experimental Diving Unit Report 11-72 (Erläuterungen, Vorgehensweisen und Arbeitsblätter zum obigen 6-65 Report von Workman)

Thalmann, E.D. and Butler, F.K. „A Procedure for Doing Multiple Level Dives on Air using Repetitive Groups“ Navy Experimental Diving Unit Report 13-83 (Zusammenfassung und mathematische Übersicht, in diesem Report werden alle Fehler der USN Tabelle aufgedeckt!)

Schreiner, H.R. and Kelley, P.L. "A Pragmatic View of Decompression", Underwater Physiology Proceedings of the Fourth Symposium on Underwater Physiology, edited by C.J. Lambertsen. Academic Press, New York, (1971) pp. 205-219 (Die Schreiner Gleichung, Deko mit Mischgasen)

Nun wißt ihr Bescheid: macht was 'draus: ich kann mich nicht um alles kümmern!

Aktualisierung per März 2009:

Da bei 1629 TG 19 Fälle von DCS Type II auftraten, hauptsächlich im Bereich 130 – 190 feet, wurde ein alternativer MPTT Parametersatz (VVAL76) entwickelt und daraus die neue Tabelle USN AIR 2009. Hier der Überblick über den VVAL76:

APPENDIX D. THALMANN ALGORITHM VVAL-76 PARAMETERS

TABLE C.1. TABLE OF VVAL-76 MAXIMUM PERMISSIBLE TISSUE TENSIONS

(DEPTHS AND PRESSURES IN FSW; SURFACE AT 1 ATA = 33 FSW)

| T _{1/2} SDR | 5 | 10 | 20 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 | 240 |
|-------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| DEPTH | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| 10 | 106.7 | 86.7 | 70.3 | 56 | 48.5 | 45.5 | 44.5 | 44 | 43.5 |
| 20 | 130 | 108 | 88 | 66 | 58.5 | 55.5 | 54.5 | 54 | 53.5 |
| 30 | 140 | 118 | 98 | 76 | 68.5 | 65.5 | 64.5 | 64 | 63.5 |
| 40 | 150 | 128 | 108 | 86 | 78.5 | 75.5 | 74.5 | 74 | 73.5 |
| 50 | 160 | 138 | 118 | 96 | 88.5 | 85.5 | 84.5 | 84 | 83.5 |
| 60 | 170 | 148 | 128 | 106 | 98.5 | 95.5 | 94.5 | 94 | 93.5 |
| 70 | 180 | 158 | 138 | 116 | 108.5 | 105.5 | 104.5 | 104 | 103.5 |
| 80 | 190 | 168 | 148 | 126 | 118.5 | 115.5 | 114.5 | 114 | 113.5 |
| 90 | 200 | 178 | 158 | 136 | 128.5 | 125.5 | 124.5 | 124 | 123.5 |
| 100 | 210 | 188 | 168 | 146 | 138.5 | 135.5 | 134.5 | 134 | 133.5 |
| 110 | 220 | 198 | 178 | 156 | 148.5 | 145.5 | 144.5 | 144 | 143.5 |
| 120 | 230 | 208 | 188 | 166 | 158.5 | 155.5 | 154.5 | 154 | 153.5 |
| 130 | 240 | 218 | 198 | 176 | 168.5 | 165.5 | 164.5 | 164 | 163.5 |
| 140 | 250 | 228 | 208 | 186 | 178.5 | 175.5 | 174.5 | 174 | 173.5 |
| 150 | 260 | 238 | 218 | 196 | 188.5 | 185.5 | 184.5 | 184 | 183.5 |
| 160 | 270 | 248 | 228 | 206 | 198.5 | 195.5 | 194.5 | 194 | 193.5 |
| 170 | 280 | 258 | 238 | 216 | 208.5 | 205.5 | 204.5 | 204 | 203.5 |
| 180 | 290 | 268 | 248 | 226 | 218.5 | 215.5 | 214.5 | 214 | 213.5 |
| 190 | 300 | 278 | 258 | 236 | 228.5 | 225.5 | 224.5 | 224 | 223.5 |
| 200 | 310 | 288 | 268 | 246 | 238.5 | 235.5 | 234.5 | 234 | 233.5 |
| 210 | 320 | 298 | 278 | 256 | 248.5 | 245.5 | 244.5 | 244 | 243.5 |
| 220 | 330 | 308 | 288 | 266 | 258.5 | 255.5 | 254.5 | 254 | 253.5 |
| 230 | 340 | 318 | 298 | 276 | 268.5 | 265.5 | 264.5 | 264 | 263.5 |
| 240 | 350 | 328 | 308 | 286 | 278.5 | 275.5 | 274.5 | 274 | 273.5 |
| 250 | 360 | 338 | 318 | 296 | 288.5 | 285.5 | 284.5 | 284 | 283.5 |
| 260 | 370 | 348 | 328 | 306 | 298.5 | 295.5 | 294.5 | 294 | 293.5 |
| 270 | 380 | 358 | 338 | 316 | 308.5 | 305.5 | 304.5 | 304 | 303.5 |
| 280 | 390 | 368 | 348 | 326 | 318.5 | 315.5 | 314.5 | 314 | 313.5 |
| 290 | 400 | 378 | 358 | 336 | 328.5 | 325.5 | 324.5 | 324 | 323.5 |
| 300 | 410 | 388 | 368 | 346 | 338.5 | 335.5 | 334.5 | 334 | 333.5 |