

# **Tauchtabeln & Tauchcomputer: eine kleine Geschichte für TEC Taucher**

**(Vortrag bei den „Tauchertagen 2009“)**



THE

SUB

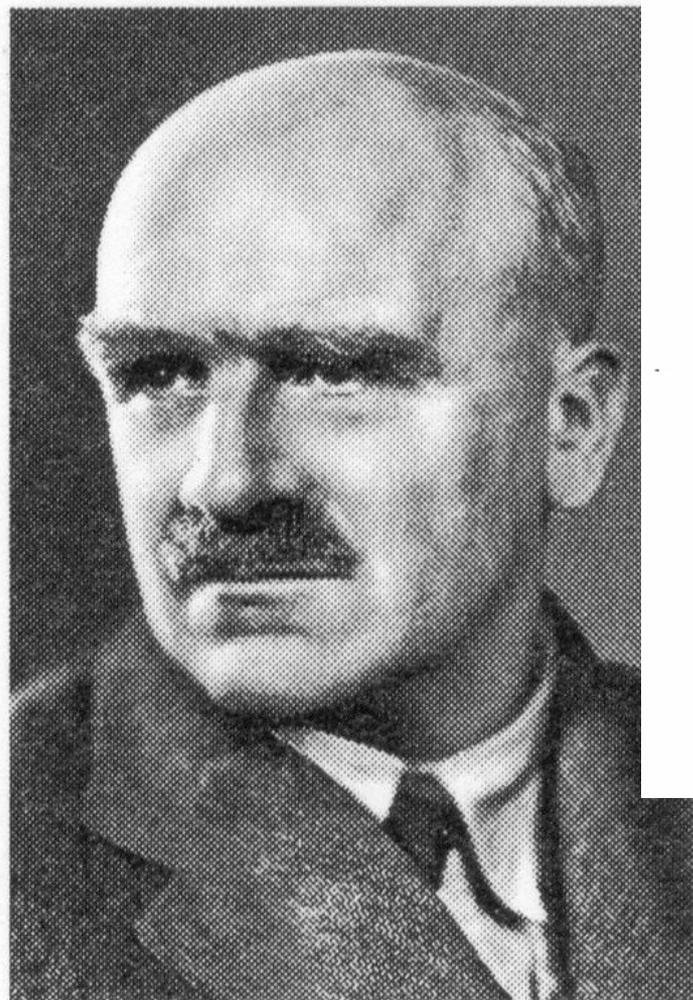
MARINE

CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

<https://www.SMC-de.com>



**John Haldane**

**THE PREVENTION OF COMPRESSED-AIR ILLNESS.**

By A. E. BOYCOTT, D.M.,

G. C. C. DAMANT,

*Lieut. and Inspector of Diving, R.N.,*

AND J. S. HALDANE, M.D., F.R.S.

*(From the Lister Institute of Preventive Medicine.)*

[With 7 Figures and 3 Plates.]



"Bends" of fore-leg in a goat.

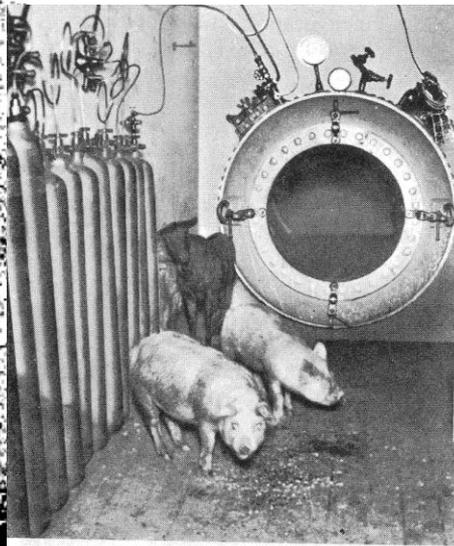


Fig. 10 Experimental Subjects  
The pigs look a little apprehensive!

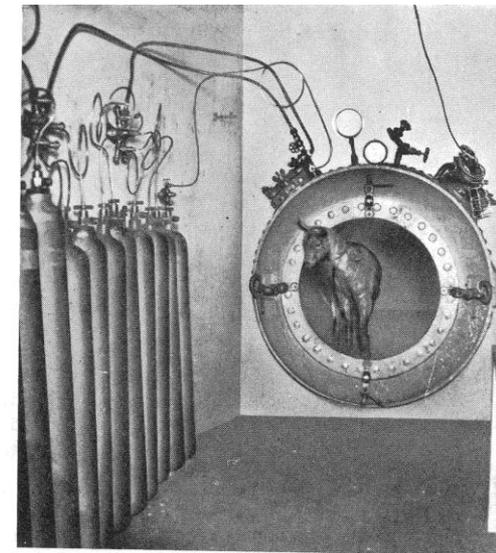


Fig. 11  
"Lavender" takes a last look round!

animals, and human experience, render it possible to calculate. In the case of men of exceptionally heavy build, and inclined to obesity, the time allowed after very prolonged exposures ought to be increased by about a third, although such men, particularly if over about 45 years of age, ought not to expose themselves to the risk of a prolonged stay in very deep water.

## APPENDIX IV.

TABLE I.

*Stoppages during the ascent of a diver after ordinary limits of time from surface.*

Depth		Pressure	Time from surface to beginning of ascent	Approximate time to first stop	Stoppages in minutes at different depths*						Total time for ascent in mins.
Feet	Fathoms	Pounds per square inch			60 ft.	50 ft.	40 ft.	30 ft.	20 ft.	10 ft.	
0-36	0-6	0-16	No limit	—	—	—	—	—	—	0-1	
36-42	6-7	16-18½	Over 3 hours	1	—	—	—	—	5	6	
			Up to 1 hour	—	—	—	—	—	—	1½	
42-48	7-8	18½-21	1-3 hours	1½	—	—	—	—	5	6½	
			Over 3 hours	1½	—	—	—	—	10	11½	
			Up to ¼ hour	—	—	—	—	—	—	2	
48-54	8-9	21-24	¼-1½ hours	2	—	—	—	—	5	7	
			1½-3 hours	2	—	—	—	—	10	12	
			Over 3 hours	2	—	—	—	—	20	22	
			Up to 30 mins.	—	—	—	—	—	—	2	
			20-45 mins.	2	—	—	—	—	5	7	
54-60	9-10	24-26½	3-1½ hours	2	—	—	—	—	10	12	
			1½-3 hours	2	—	—	—	—	5	15	
			Over 3 hours	2	—	—	—	—	10	20	
			Up to ½ hour	2	—	—	—	—	—	2	
			½-1 hour	2	—	—	—	—	5	7	
60-66	10-11	26½-29½	1-1 hour	2	—	—	—	—	3	10	
			1-2 hours	2	—	—	—	—	5	15	
			2-3 hours	2	—	—	—	—	10	20	
			Up to ¼ hour	2	—	—	—	—	—	4	
			¼-½ hour	2	—	—	—	—	3	5	
66-72	11-12	29½-32	½-1 hour	2	—	—	—	—	5	12	
			1-2 hours	2	—	—	—	—	10	20	
			2-3 hours	2	—	—	—	—	10	30	
			Up to 20 mins.	2	—	—	—	—	5	7	
			20-45 mins.	2	—	—	—	—	5	10	
			3-1½ hours	2	—	—	—	—	10	20	
			Up to 20 mins.	2	—	—	—	—	5	7	
			20-45 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			3-1½ hours	2	—	—	—	—	10	20	
			Up to 10 mins.	2	—	—	—	—	3	5	
			10-20 mins.	2	—	—	—	—	3	5	
			20-40 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			40-60 mins.	2	—	—	—	—	3	10	
			Up to 10 mins.	2	—	—	—	—	3	6	
			10-20 mins.	2	—	—	—	—	3	8	
			20-35 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			35-50 mins.	2	—	—	—	—	3	10	
			50-65 mins.	2	—	—	—	—	3	5	
			65-80 mins.	2	—	—	—	—	3	7	
			80-95 mins.	2	—	—	—	—	5	10	
			95-110 mins.	2	—	—	—	—	5	10	
			110-125 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			125-140 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			140-155 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			155-170 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			170-185 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
			185-200 mins.	2	—	—	—	—	5	15	
180-192	30-36	36-42	Up to 12 mins.	3	—	—	—	—	3	6	
192-204	32-34	36-41½	Up to 12 mins.	3	2	2	3	5	7	10	
			Up to 12 mins.	3	2	2	3	5	7	10	
			Up to 12 mins.	3	2	2	3	5	7	10	

\* During each stoppage the diver should continue to move his arms and legs.

# Die erste Tauchtabelle der Welt mit Stufendekompression (1907)

**Am Anfang war „Druck“ ...**

**DCIEM**

**1963**

**analoger,  
pneumatischer  
Computer mit  
4 Kompartimenten**



Fig. ix - Early sea diving with Model II P - Esquimalt, Jul. 63

dann war „elektrischer Widerstand“ ...

**USN / NEDU**

**1963**

**analoger Computer  
mit einem  
10-teiligen  
RC Netzwerk**

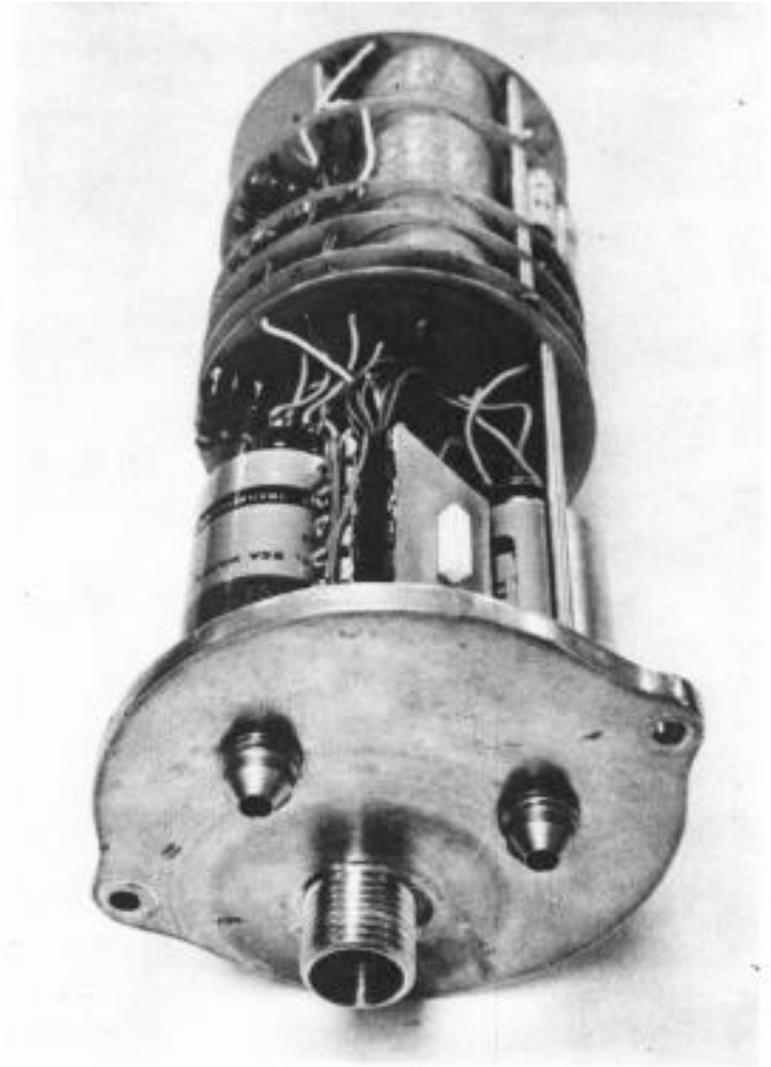


FIG. 2 - DECOMPRESSION METER - BASE VIEW

dann war „Erleuchtung“ ...

**CTF Systems Inc.**

**1981**

**XDC-3**

**digitaler Computer  
mit Kidd-Stubbs Modell**

**Cyberdiver III: erstes 2-Prozessor Modell,  
Mischgase, Tankdruck**

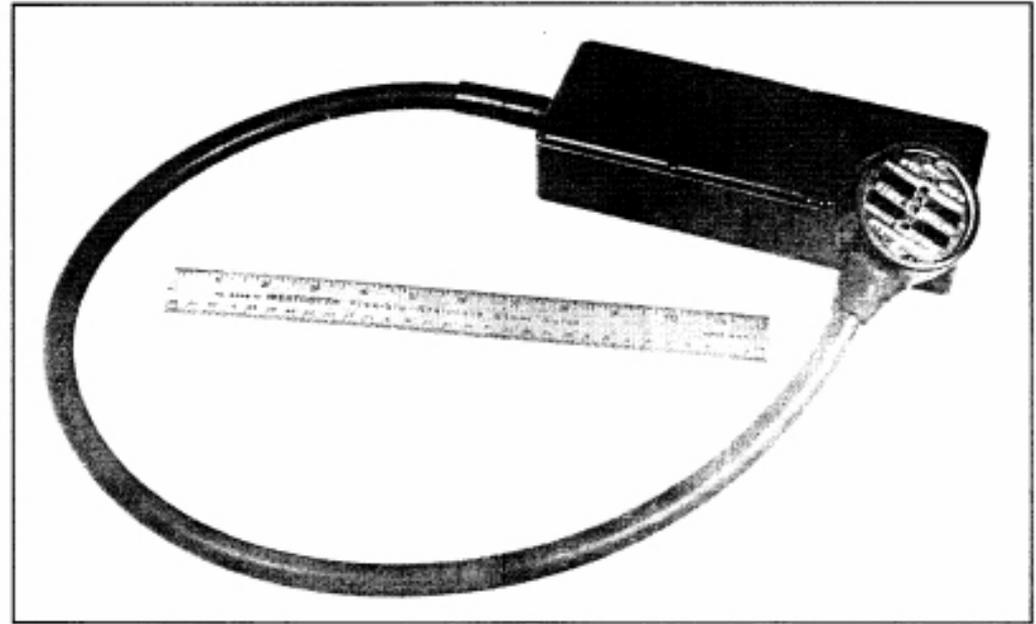


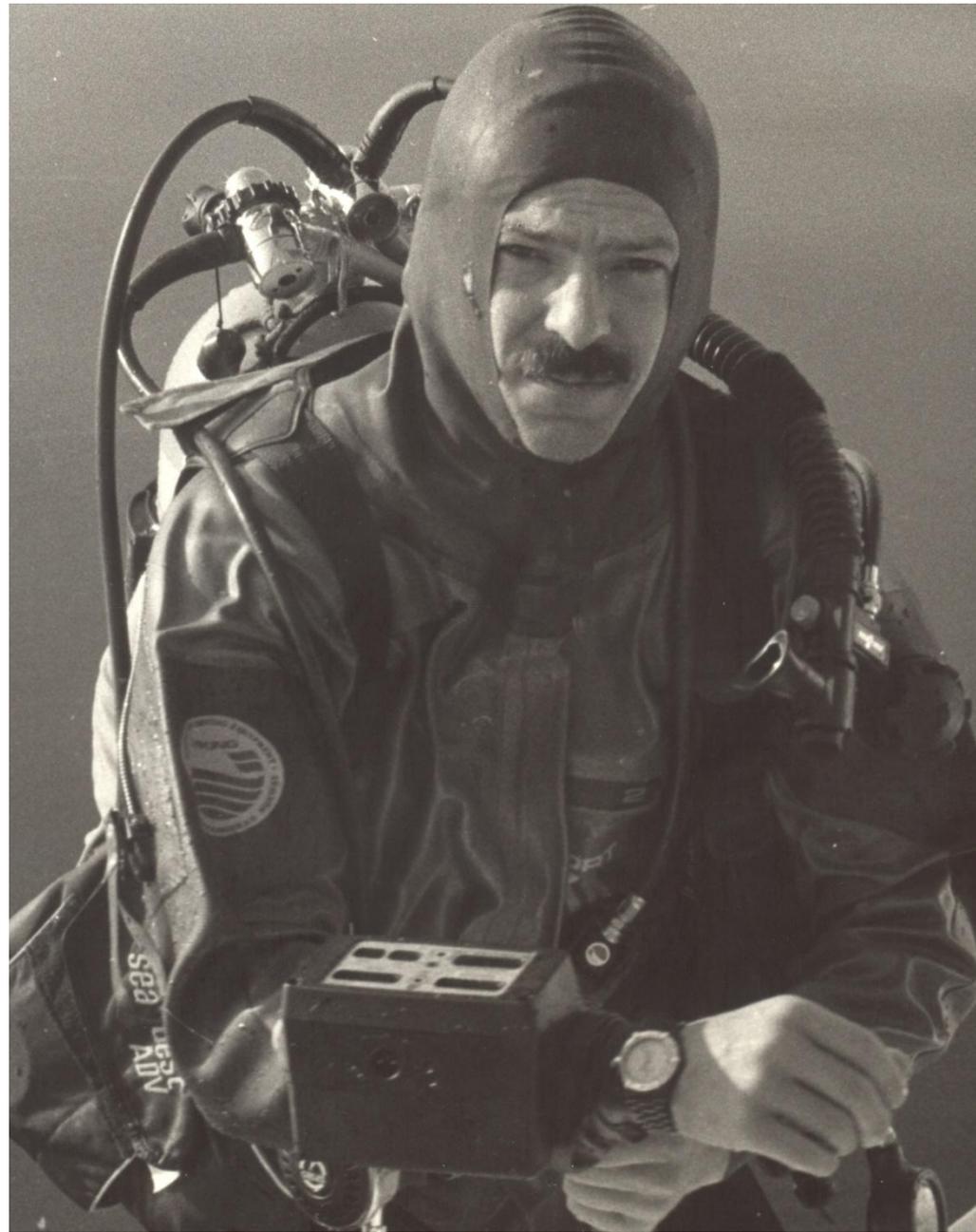
Fig. 3.9. XDC-3 Decompression Computer / Cyberdiver (from CTF Systems, Inc.)

**dann war „Licht“ ...**

**Divetronic AG**

**1985**

**digitaler Computer  
Deco-Brain  
Version P2-2  
mit einem ZH-L  
Modell mit  
16 Kompartimenten**



# und jetzt herrscht „Vielfalt“ ...



Suunto:  
HelO2

Liquivision:  
X1



Liquivision X1

Heinrichs Weikamp:  
OSTC



VRX

Shearwater:  
Pursuit



Delta P:  
VRX



# und jetzt herrscht „Vielfalt“ ...

Meßprotokoll Druckbarometermessung:

Trachtart	Druckbarometer	Vertikal	Druck	Temperatur	Luftdichte
	VR 3	EMC	Ultra Pro	TEC 2G-OC 1	PZ+
	[m] 50				
	[m] 40				
	[m] 30				
	[m] 20				
	[m] 12				
	[m] 9				

UEMIS Zuerich



OCEANIC:  
Atom, VT3



COCHRAN:  
EMC-20 H



UWATEC:  
TEC 2G



UWATEC:  
Aladin Pro Ultra

Delta P:  
VR 3



OCEANIC:  
2 \* OC1



Huntleigh: Mini Dopplex  
Ultraschall Taschen-  
Dopplermeßgerät



# **Leistungsmerkmale von Mischgascomputern**

**Druckdicht bis 300 m**

**Tauchzeit 999 min**

**Deko Zeit 999 min**

**Mindestens 3 Gemische**

**He, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> jeweils 0 -> 100 %**

**Batterien / Akkus: selber tauschbar**

**Geringer Stromverbrauch**

**Bedienung mit dicken Handschuhen möglich**

**Armband**

**Leuchtstärke / Kontrast / Übersichtlichkeit  
des Displays**

**Rebreather Optionen / O<sub>2</sub> Sensoren ...**

# Leistungsmerkmale der zugehörigen Desktop Deco Software:

- ausführliches Handbuch
- alle Parameter dokumentiert!
- welche Art von „deep stops“?
- Fitness / Konservatismus Faktoren
- Kompartimentsättigungen auch als absoluter Druck (Bar)
- $PO_{2,max} < 1,6 \text{ Bar} \rightarrow \text{☹} !$
- einfache Kopplung / kein Kabelsalat
- Tauchcomputer  $\leftrightarrow$  PC, z.B. IrDA
- ...

# **Einfache Qualitätstests (1):**

**Simulationsmodus oder Desktop SW:**

✓ **Luft:**

**TG 42 m / 25 min. -> wie DECO2000?**

✓ **O<sub>2</sub> = 100 %:**

**TG auf 6 m, ZNS Dosis nach 45 min.??**

✓ **„TMX“ 21 / 79:**

**(Heliox mit 21 % O<sub>2</sub>, 79 % Helium):**

**TG 42 m / 25 min. -> ???**

# Einfache Qualitätstests (2):

**Simulationsmodus oder Desktop SW:**

✓ **Test mit OTU-Werten ?????**

✓ **Wdh.-TG!**

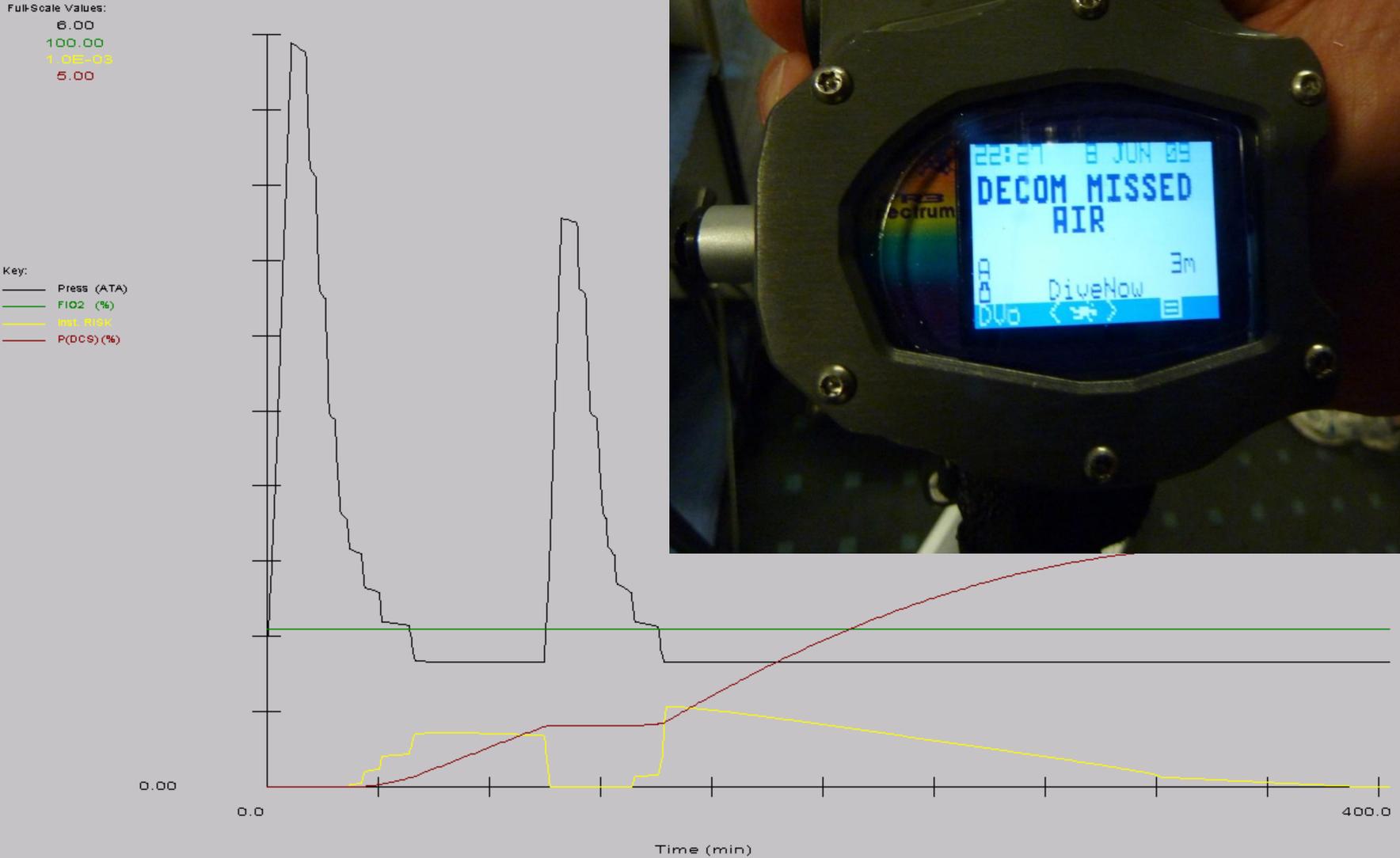
✓ **Isobare Gegendiffusion:**

**Heliox 21 bei Tiefe = 0,**

**bei Luftdruck gesättigte Kompartimente  
werden durch He übersättigt:**

**$P_{\text{tissue, He}} > 0,8$  Bar nach wenigen Minuten**

# Druckkammertest DCSI am 08.06.2009:



**Auswertung von: Petar Denoble, DAN**

# Druckkammertest DCSI am 08.06.2009:



# Druckkammertest DCSI am 08.06.2009:

1. TG: 50 m / 52 min (= ')

© albi@divetable.de

Druckkammer Anzeige	[m] / NDL, Deco					
Tiefe [m] / Geplante Zeit [min.]	VR 3	EMC	Ultra Pro	TEC 2G	OC 1 PZ+	OC 1 RDP
<b>Bem.:</b>	<b>Deepstop</b>	Cons.=0		L=0	SN:12	
50 / 5'	49,4 28 / 2 $\Sigma$ = 14'	50,6 NDL = 6	50,7 3 / 3'	50,8 3 / 7'	48,6 6 / 1'	49,8 3 / 2'
40 / 2'	39,6 28 / 2 $\Sigma$ = 14'	40,7 2	40,7 6 / 1'	40,7 6 / 1 $\Sigma$ = 8'	39,0 6 / 2'	39,9 6 / 1'
30 / 2'	29,6 28 / 2 $\Sigma$ = 16'	30,7 1 – 3	30,6 6 / 2'	30,6 6 / 2' $\Sigma$ = 12'	29,3 6 / 3'	30,0 6 / 1'
20 / 2'	19,7 17 / 2 $\Sigma$ = 12'	20,6 3	20,5 6 / 2' $\Sigma$ = 13'	20,4 6 / 2' $\Sigma$ = 13'	19,6 6 / 2'	20,1 3 / 9'
12 / 2'	11,7 3 / 8 $\Sigma$ = 10'	12,2 1	12,2 3 / 12'	12,1 3 / 13'	11,6 3 / 10'	12,0 3 / 8'
9 / 4'	8,6 3 / 8'	9,2 --	9,2 3 / 12'	9,2 3 / 12'	8,7 3 / 10'	9,3 3 / 7'
6 / 6'	5,7 3 / 5'	6,2 --	6,2 3 / 10'	6,2 3 / 11'	5,8 3 / 7'	6,3 4 / 3'
3 / 10'	2,7 --	3,1 --	3,2 3 / 6'	3,2 3 / 6'	2,9 3 / 2'	3,3 --

# Druckkammertest DCSI am 08.06.2009:

1. OFP: 30 ‘

2. TG: 36 m / 42 min (= ‘)

© albi@divetable.de

Druckkammer Anzeige	[m] / NDL, Deco					
Tiefe [m] / Geplante Zeit [min.]	VR 3	EMC	Ultra Pro	TEC 2G	OC 1 PZ+	OC 1 RDP
	<b>Missed deep Stop -&gt;</b>	Cons = 0		L = 0	SN = 12	
	<b>Use Tables!</b>					
36 / 5‘	35,1 NDL = 6‘	36,5 NDL = 11‘	36,5 NDL = 3	36,6 NDL = 3	35,1 NDL = 4	36,0 NDL = 5
30 / 2‘	29,1 1‘	30,6 8‘	30,6 3 / 6‘	30,6 3 / 9‘	29,3 3 / 4‘	30,0 --
20 / 2‘	19,2 Σ= 7‘	20,5 10‘	20,5 3 / 12‘	20,5 3 / 13‘	19,6 3 / 13‘	20,1 3 / 7‘
12 / 2‘	11,2 Σ= 2‘	12,4 1:20	12,4 3 / 14‘	12,3 3 / 14‘	11,6 3 / 16‘	11,9 3 / 9‘
9 / 2‘	8,3 --	9,3 9:59	9,2 3 / 12‘	9,2 3 / 14‘	8,7 3 / 16‘	9,7 3 / 8‘
6 / 5‘	5,3 --	6,2 9:59	6,2 3 / 12‘	6,2 3 / 11‘	5,8 3 / 14‘	6,2 3 / 7‘
3 / 8‘	2,2 --	3,2 9:59	3,2 3 / 8‘	3,1 3 / 7‘	2,9 3 / 8‘	3,2 3 / 4‘

**weitere Infos:**

**<https://www.divetable.info/kap6.htm>**

THE

SUB  
MARINE  
CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

**DANKE!**  
**für eure**  
**Aufmerksamkeit**

**THE**

**SUB**

**MARINE**

**CONSULTING**

**GROUP**

**TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART**

# Und: DANKE!

## An:

Ralf @ DCS1 für die Kammerfahrt,  
Thomas, Alexander und Florian für die Bilder,  
Staff @ OCEANIC für Support

und:

Petar Denoble @ DAN für die Auswertungen

THE

SUB

MARINE

CONSULTING

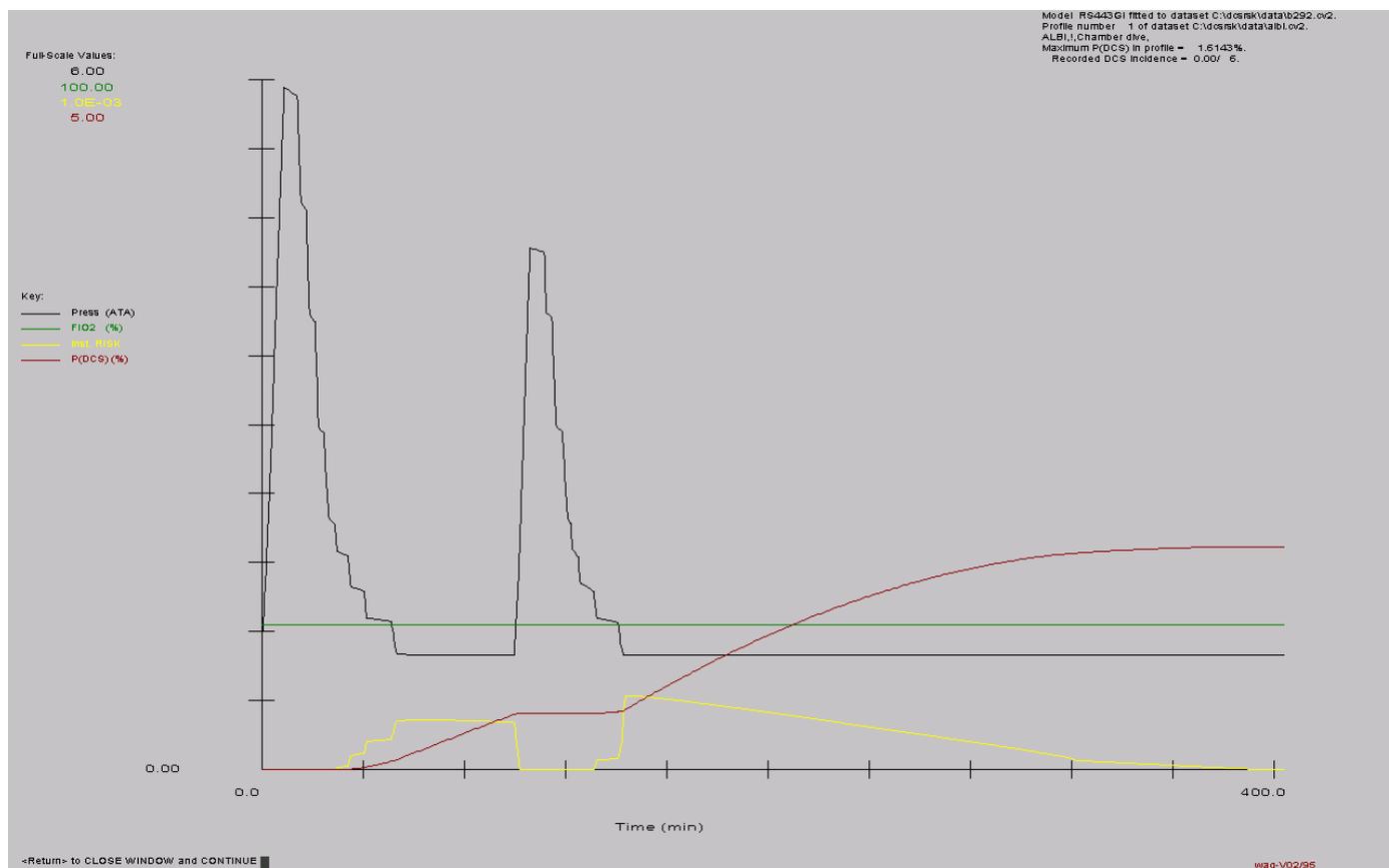
GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

## Zusammenfassung: unser Druckkammertest am 08.06.2009 beim DCSI - Stuttgart

Das Druck-/Zeitprofil war 50 m, 5 min Grundzeit, 52 min gesamte Tauchzeit, 30 min Oberflächenpause, dann 36 m für weitere 5 min Grundzeit und 42 min gesamter Tauchzeit. Die Austauschphase geschah mit „deep stops“ (Tiefenstopps von jeweils 2 min) auf 40, 30 sowie 20 m und den üblichen Deko-Stopps auf 12, 9, 6 und 3 m.

Dieses Profil ist für durchschnittliche Sporttaucher etwas ungewöhnlich, eine derart kurze Oberflächenpause wird nicht empfohlen! Die Risikoabschätzung P(DCS), rote Kurve, beträgt hier immerhin ca. 1,6 % und somit mehr, wie für Sporttaucher verträglich. (siehe Bild: „ALBI\_Chamber\_Air dive.BMP“, **Quelle: Petar Denoble von DAN, private Kommunikation 06/2009**):



Auch einer der Vergleichscomputer, der VR3, hat daraufhin beim 2. Tauchgang etwas allergisch reagiert:



Für uns Kammerfahrer jedoch haben wir deshalb und ganz selbstverständlich das Risiko dramatisch verringert, indem wir beim 2. Tauchgang ab 12 m reinen Sauerstoff über das BIBS (= Build In Breathing System) geatmet haben! Warum haben wir uns aber dann genau dieses Profil ausgesucht? Ganz einfach: wir wollten beim OC1 beide verwendeten Modelle durch das grenzwertige Profil herausfordern und auch gegeneinander vergleichen.

Zusätzlich hatten wir noch die Vergleichsmöglichkeiten mit den anderen Tauchcomputern: dem VR3, dem COCHRAN EMC-20 H, dem UWATEC Aladin Pro ULTRA, dem Aladin TEC 2G sowie zwei weiteren Oceanic Geräten (Atom, VT3) und dem UEMIS Zuerich:



Zu den wahlweise beim OC1 einstellbaren Modellen / Algorithmen:

- 1) Modifizierter Bühlmann-Algorithmus
- 2) Modifizierter DSAT-Algorithmus

1) Der ZH-L 16 Algorithmus wurde 1983 von Prof. Albert A. Bühlmann für N<sub>2</sub> und He veröffentlicht und wird normalerweise mit 16 Kompartimenten berechnet. Kompartimente sind mathematische Modellgewebe mit einer festgelegten Halbwertszeit. Diese Halbwertszeiten berechnen sich im Wesentlichen durch den Kehrwert der Durchblutungsrate. Das ZH steht für Zürich, L wie linear und 16 ist die Anzahl der benutzten Kompartimente. Das Spektrum der Halbwertszeiten erstreckt sich von 2,65 bis 635 Minuten für Stickstoff. Er ist für Bergseen (große Höhen, z.B. Titicacasee) sowie für Dekompressionstauchgänge, auch in grossen Tiefen und für lange Grundzeiten und für Mischgase mit Helium ausführlichst getestet. Er wird mit speziellen Anpassungen für Berufstaucher im Off-Shore Bereich sowie bei Sättigungstauchgängen verwendet. (**Quelle: Bühlmann, A. A., 1983,**

**Dekompression - Dekompressionskrankheit, Springer)**

Eine für elektronische Tauchcomputer angepaßte Version ist das ZH-L 16C (Bühlmann, 1993, a.a.O., 3. Auflage). Genau dieser modifizierte Bühlmann-Algorithmus wird beim OC1 „PZ+“ genannt (wie P von PELAGIC, dem eigentlichen Hersteller sämtlicher Aeris, Beuchat, Genesis, Oceanic, Seemann und Sherwood-Computern) und mit lediglich 12 Kompartimenten benutzt (\*\*).

2) Dieser Algorithmus wurde in den 90'igern von DSAT (Diving Science and Technology) von den Herren R.W. Hamilton, Raymond E. Rogers, Michael R. Powell und Richard D. Vann entwickelt und als PADI RDP, dem „Recreational Dive Planner“, veröffentlicht. Ursprünglich benutzt DSAT 14 Kompartimente mit Halbwertszeiten von 5 – 480 min. In Anlehnung an den Workman-Algorithmus für die United States Navy Tabelle wurden konservative Anpassungen für Sporttaucher durchgeführt und die Nullzeiten verkürzt sowie für Nullzeittauchgänge ab 30 m Sicherheitsstopps zwingend vorgeschrieben. Die Entsättigung während der Oberflächenpause wird mit dem 60 min Kompartiment berechnet. Allerdings ist er nicht für Bergseen und auch nicht für Dekompressionstauchgänge zugelassen oder getestet. Die maximale Testtiefe betrug 39 m; getestet wurde anhand von ca. 1.400 Nullzeit-Tauchgängen auf Meereshöhe (**Quelle: „The DSAT RDP“, 28.02.1994**). Im OC1 kommt ein modifizierter DSAT-Algorithmus mit 12 Kompartimenten zum Einsatz (\*\*).

Diese bekannten Begrenzungen des DSAT Modells wollten wir mit unserem Test bewußt überschreiten und gleichzeitig festhalten, wie das modifizierte PZ+ hierauf reagiert.

1. TG (Protokoll\_50.pdf) OC1-DSAT ist wesentlich liberaler als die UWATEC Rechner
2. TG (Protokoll\_36.pdf) OC1-DSAT: auch hier die Deko-Zeiten kürzer, manchmal knapp die Hälfte; OC1-PZ+ verhält sich ähnlich den UWATEC Rechnern

Natürlich hat uns auch interessiert, wie der menschliche Körper sowas wegsteckt. Drum hatten wir den Doppler dabei und jede Menge Spaß bei den Messungen ...:



(Quelle: alle Bilder Thomas Gögl @OCEANIC.DE)

Tauchcomputer	Algorithmus	# Kompartimente	Modifikationen
VR3	ZH-L 16	16	„deep stops“ (*)
EMC-20 H	USN	20	dito (*)
Pro Ultra	ZH-L 16	8	ZH-L 8 MB
TEC 2G	ZH-L 16	8	mit Level Stops (*)
UEMIS	ZH-L 16	8	Uemis ZH-L8+
Atom	DSAT	12	
VT3	DSAT	12	
OC1	ZH-L 16	12	„PZ +“ (*)
OC1	DSAT	12	Deko + Bergsee (*)

(\*) die Konservativismus-Faktoren wurden alle identisch Null gestellt

(\*\*) Quelle: Vorabversion des „OC1 Operating Manual“, 2002 Design, San Leandro