

# Pi mal Daumen

## Ungenauigkeiten bei Tauchcomputern

**Tauchcomputer sind heute Standard. Viele Sporttaucher verlassen sich blind auf ihre Angaben. Doch wie genau sind sie wirklich? Und warum ist die gute alte Dekotabelle in der VDST-Ausbildung noch immer fester Bestandteil? Computer-Spezialist Albrecht Salm erklärt die Hintergründe.**

Vollelektronische Tauchcomputer gibt es seit den 1980er Jahren. Aus den Messwerten von Druck (Tiefe), Tauchzeit und Temperatur versuchen sie anhand eines einprogrammierten Dekompressionsmodells, Vorhersagen über eine halbwegs sichere Dekompressionsphase zu machen. Die Wogen über die damals vermutete mangelnde Verlässlichkeit der Geräte haben sich zwischenzeitlich geglättet: Der Tauchcomputer ist zum Standardausrüstungsteil des Sporttauchers geworden und ersetzt mittlerweile Taucheruhr und Tiefenmesser. Allerdings hat er auch die Benutzung der Dekompressionstabelle ersetzt. Dies wird auch in den Lehrinhalten der meisten großen Ausbildungsorganisationen reflektiert, Themen zur Dekompressionsphysiologie sind – wenn überhaupt – nur untergeordnet zu finden. Die so entstandenen Wissenslücken sind durchaus erkannt worden und werden nun von eben jenen Organisationen mit zahlreichen Zusatzkursen im Bereich des technischen

T a u c h e n s zwar vollständig und nachhaltig, aber eben auch kostenpflichtig gestopft. Eine Ausnahme bildet der VDST, hier werden

diese Themen vom Beginner bis zum Tauchlehrer nach wie vor in Theorie und Praxis gelehrt, die Dekotabelle ist fester Bestandteil der Ausbildung.

Bei einem Ausfall des Tauchcomputers sind sich viele Taucher im Unklaren über die aktuelle Tiefe, die Zeiten und den individuellen Dekompressionsstatus. Hier hilft nur ein vernünftiges Ausfallkonzept: Ein „Back Up-System“ in Form eines zweiten Computers, oder Bottom Timers, der Einsatz von Taucheruhr und Tiefenmesser oder eben die langsam in Vergessenheit geratene Deko-Tabelle. Der Tauchpartner kann hier nur eingeschränkt nützlich sein, da er, vor allem bei guter Sicht, nicht ständig auf gleicher Tiefe ist. Besonders bei Wiederholungstauchgängen stößt dieses Konzept an seine Grenzen.

Die Tauchcomputer-Hardware als solches ist im Laufe der letzten 30 Jahre immer zuverlässiger, leistungsfähiger und preiswerter geworden – sicherlich hat auch das zum Siegeszug über die Deko-Tabellen beigetragen. Allerdings haben sich andere Dinge so gut wie nicht geändert: Zum einen der Mensch, der die Geräte benutzt und programmiert und dabei Fehler machen kann, zum anderen die zugrunde gelegten Dekompressionsmodelle.

### Perfusionsmodelle

Bis auf wenige Ausnahmen arbeiten die meisten Tauchcomputer nach dem sogenannten Perfusions-Modell. Perfusion bedeutet Durchblutung, die physiologischen Grundlagen dazu hat John Scott Haldane anhand von rund 1.000 trockenen Druckkammertauchgängen mit circa 80 Ziegen bereits 1907 formuliert. Hieraus hat sich die erste Dekompressionstabelle der Welt für oberflächenversorgte Lufttauchgänge abgeleitet. Das Format mit Tiefe, Zeit und den üblichen Stopps hat sich bis heute erhalten. Der Unterschied zur Berechnung in einem Tauchcomputer besteht eigentlich in nur zwei Punkten:

Dekotabellen gehen von einem Rechteck-Tauchprofil aus. Hieraus ergeben sich gegenüber dem wahren Tauchprofil Sicherheitspolster – diese hat der Tauchcomputer natürlich nicht.

Fotos: Gerald Nowak, Nina Zschiesche





Ein Tauchcomputer kann viel. Aber nicht wissen, was der Nutzer vor dem Tauchgang macht

Nur die Abtastrate des aktuellen Tauchprofils durch die circa alle drei Sekunden stattfindende Druckmessung ermöglicht die Berechnung der beim Sporttauchen üblichen Multi-Level-Profile.

Zusätzlich hat der Tauchcomputer den unschätzbaren Vorteil, den Tauchgang relativ genau in einer Logbuchdatei zu protokollieren – und das völlig ungetrückt, im Gegensatz zum Taucherhirn, das unter Umständen von der Inertgasnarkose betroffen ist.

von fünf bis 75 Minuten, in modernen Tauchcomputern kann man von acht bis 20 Kompartimenten und einem Halbwertszeitenspektrum von 2,5 bis circa 900 Minuten rechnen. Das Ergebnis bedeutete für den Taucher immer kürzer werdende Nullzeiten-Limits beziehungsweise länger werdende Dekompressions-Stopps.

Einige Tauchcomputer lassen weitere Modifikationen zu. Ihre Rechenmodelle werden von der Umgebungstemperatur, dem Luftverbrauch oder der Herzfrequenz beeinflusst. Manche Computer haben auch sogenannte „Konservativismus“-Faktoren eingebaut, die zusätzliche Tiefen-Stopps, das Alter, die körperliche Fitness oder eine vorhandene Fettleibigkeit durch Eingabe des BMI (Body Mass Index) berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den Perfusionsmodellen und ihren Spielarten (bezeichnet als ZH-L, ZH-L ADT, ZH-L mit Gradientenfaktoren, RDP, DSAT, modifizierter Haldane, Haldane „embedded“, U.S.N., ...) versuchen Blasenmodelle die bei der Dekompressionsphase entstehenden Inertgasblasen zu berechnen. Oft sind sie bei den technischen Tauchern sehr beliebt, wie zum Beispiel das

VPM (Varying Permeability Model), haben aber nur einen geringen Marktanteil und oftmals den Nachteil einer völlig ungeprüften Datenbasis und eines ziemlich kryptischen und unveröffentlichten Algorithmus' (RGBM, Reduced Gradient Bubble Model).

Anpassungen des Perfusionsmodells an aktuelle Erkenntnisse aus der Dekompressionsphysiologie erfolgten über die Erhöhung der Anzahl und der Inertgas-Empfindlichkeit der Kompartimente (rechnerische Modellgewebe). Bei Haldane waren es fünf Kompartimente mit Halbwertszeiten

**InterDive** TAUCHEN, SCHNORCHELN & REISEN  
Besuchen Sie uns vom 19.09. - 22.09.13  
Messe Friedrichshafen

INDONESIEN

**Nabucco Island Resort**  
Oktober/November 2013  
13 Nächte im Bungalow  
(Doppelbelegung)  
inkl. Flug mit Singapore Airlines,  
Transfer, Halbpension  
pro Person **ab € 2.069,-**

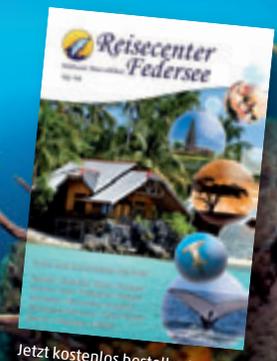
**Nabucco's Nunukan Island Resort**  
Oktober/November 2013  
13 Nächte im Bungalow  
(Doppelbelegung)  
inkl. Flug mit Singapore Airlines,  
Transfer, Halbpension  
pro Person **ab € 2.069,-**

GOZO

**Grand Hotel**  
September/Oktober 2013  
7 Nächte im Doppelzimmer inklusive  
Flug mit Air Malta, Transfer, Frühstück  
pro Person **ab € 499,-**

TOBAGO

**Nabuccos Speyside Inn**  
Oktober 2013  
14 Nächte im Superior Doppelzimmer  
inklusive Flug mit Condor, Transfer,  
Frühstück  
pro Person **ab € 1.459,-**



Jetzt kostenlos bestellen!

**Reisecenter Federsee**  
Hilfsamt "Merkelweg"

Schussenriederstr. 54  
D-88422 Bad Buchau  
Tel.: +49 (0)7582/9320790  
Fax: +49 (0)7582/93207990  
E-mail: reisen@reisecenter-federsee.de  
Internet: www.rcf-tauchreisen.de

## Dekotabellen gehören fest zur VDST-Ausbildung

„Dieser Artikel macht klar, dass wir bei der Verwendung von Tauchcomputern unser Hirn nicht abschalten können, und vor allem Hintergrundwissen zur kritischen Beurteilung der Anzeigewerte von Nöten ist. Der VDST hält, trotz aller Kritik und „Modernisierungsbemühungen“ anderer Tauchausbildungsorganisationen nach wie vor daran fest, dass alle VDST-Taucher, vom Beginner bis zum Tauchlehrer, mit der Dekotabelle in Theorie und Praxis umgehen können.“



Theo Konken, Bundesausbildungsleiter

### Individuelle Einstellmöglichkeiten

Die möglichen Modifikationen bei einigen modernen Tauchcomputern nach Alter oder Fitnessfaktor müssen vor dem Tauchgang eingestellt werden. Temperatur und Luftverbrauch oder auch die Herzfrequenz misst der Tauchcomputer selbstständig und auch relativ unbestechlich. Bei den vom Taucher zu tätigen Eingaben ist dann aber eine gewisse Ehrlichkeit gefordert: Bei Alter und BMI sind die Zahlen relativ klar, bei Angabe der Fitnessfaktoren gehört eine gewisse Portion selbstkritischer Einschätzung dazu. Die Auswirkung auf die Dekompressionsphase ist für alle diese Faktoren in etwa vergleichbar: Die „Nullzeiten“ werden verkürzt und Dekompressionsstopps verlängert oder um eine oder auch mehrere „Etagen“ tiefer gelegt. Darüberhinaus wird dann die Entsättigung während der Oberflächenpause verzögert berechnet. Damit startet der nächste Tauchgang bereits mit einer höheren Anfangssättigung.

Für das tatsächliche Tauchprofil in einer Gruppe ergibt sich damit automatisch ein oft diskussionswürdiges Auseinanderklaffen der Dekompressionsphase, welches mit jedem weiteren Wiederholungstauchgang



Man kann es auch übertreiben. Aber gerade für Deko-Tauchgänge ist ein Back-Up wichtig

noch zunimmt: Die einen könnten schon aus dem Wasser, während andere in der Gruppe noch Stopps einhalten müssen. Vorausgesetzt, es ist noch genügend Atemgas da und keiner friert, ist die Idee der etwas tieferen und verlängerten Stopps sicherlich der Gesundheit des Tauchers dienlich. Es kann ja auch Spaß machen, am Rifdach noch eine Weile die Tierwelt zu beobachten. Klare Absprachen sind nötig und natürlich wird der Tauchpartner nicht am Ankerseil im Stich gelassen. Fast alle Tauchcomputer reagieren nämlich ziemlich allergisch mit viel Gepepe und einer technischen Blockade von 12 bis 24 Stunden, wenn vorgeschriebene Stopps nicht eingehalten werden.

Üblicherweise sind ganz hinten im Handbuch des Tauchcomputers die Kompartimente, die benutzten Halbwertszeiten und die Konservativismus-Faktoren kurz beschrieben. Dort finden sich meist auch Hinweise, dass man bei häufigeren Wiederholungstauchgängen, typischerweise auf Tauch-Safaris, einen tauchfreien Tag einlegen um dem Körper Gelegenheit geben sollte, das angesammelte Inertgas loszuwerden. Oft sind auch nützliche Hinweise auf eine ausreichende Hydrierung zu finden, das heißt die Versorgung des Körpers mit genügend Flüssigkeit, wobei nicht das „Deko Bier“ gemeint ist. Trotz der vielfältigen neuen Einstellmöglichkeiten kann der Tauchcomputer aber nichts wissen von Einnahme von Medikamenten, Impfungen, Alkohol vom Vortag oder ob der Taucher noch kurz vor dem Abtauchen eine geraucht hat.

Diese vielen neuen Konservativismus-Faktoren haben einen gemeinsamen, aber entscheidenden Makel: Es gibt zu wenige bis gar keine dokumentierten Messungen an einer ausreichenden Zahl von Tauchern und Tauchgängen. Allerdings hindert dieser Makel die Hersteller nicht, trotzdem vollmundig für die vermeintlich erhöhte Sicherheit ihrer Produkte zu werben.

### Mutter Natur ist zickig

Die vom Tauchcomputer gemessenen Werte (Druck, Zeit, Temperatur) unterliegen, wie alle Messwerte, einer gewissen statistischen Schwankung: dem zufälligen Messfehler. Das hat Mutter Natur so eingerichtet und dagegen ist kaum ein Kraut gewachsen. Weiterhin gilt das für uns Taucher ziemlich böse Gesetz der „Fehlerfortpflanzung“. Die gemessenen Fehler pflanzen sich höchst unangenehm in den darauffolgenden Berechnungen der



Ein Tauchgang, drei Computer: Die Messwerte und Berechnungen unterscheiden sich

Restnullzeiten oder der Länge der Dekompressionsstopps fort. Die Grenzen der Ingenieurskunst macht Bild 1 deutlich.

Wir sehen drei unterschiedliche Tauchcomputer, die alle behaupten, ein traditionelles Perfusionmodell zu rechnen. Das Bild entstand während eines ersten Tauchganges am Tag, es war also kein Wiederholungstauchgang. Auch wurden keine Konservativismus-Faktoren benutzt. Die Daten dieses ziemlich harmlosen Tauchganges sind: maximale Tiefe circa 31 Meter, aktuelle Laufzeit circa 42 Minuten. Wir haben in diesem Bildchen alle Unwägbarkeiten auf einen Blick: die Schwankungen der Messwerte sowie die unterschiedlichen Ergebnisse der Berechnungen; hier zusammengefasst als Tabelle:

Computer: Hersteller / Typ	Angezeigte Tiefe [m]	(+) Rest-„Null“-Zeit / (-) Stopp-Zeit [min.] (*)
COCHRAN: EMC-20 H	16,4	+ 5
VR Technology: NHeO3	16,8	- 3 ( 1/ 3 + 2/ 17)
UWATEC: Aladin TEC 2G	16,9	+ 10

(\*) NHeO3 forderte bereits einen tiefen Stopp auf 17 Meter für 2 Minuten sowie einen Deko-Stopp auf 3 Meter für 1 Minute.

**Fazit:** Das digitale Display des Tauchcomputers (insbesondere die Nachkommastellen) suggeriert dem unbedarften Taucher eine Genauigkeit, die so gar nicht gegeben ist. Daher sollten wir im Umgang mit Tauchcomputern vor allem zwei Dinge nicht vergessen:

- ◆ Tauchcomputer können ziemlich viel; sie können sogar Fehler machen.
- ◆ Die gemessenen Werte sind mit dem Messfehler geschlagen, die daraus berechneten Dekompressionsempfehlungen haben durchaus den Charakter eines Schätzwertes.

Albrecht Salm



Prof. Dr. Albrecht Salm ist Physiker und Computer-Spezialist. Er taucht seit 1976, ist Fachautor und Referent unter anderem für die GTÜM (Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin) und für den Bereich Technisches Tauchen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Infos: [www.divetable.info](http://www.divetable.info)