

**Ein neues Rechenmodell
für den Tauchcomputer
ALADIN AIR**

The logo for UWATEC features a stylized, wavy line above the company name. The name 'UWATEC' is written in a bold, sans-serif font with a unique, blocky design where the letters are interconnected.

UWATEC

Ein neues Rechenmodell für den Tauchcomputer ALADIN AIR X

Copyright by UWATEC AG, Switzerland

Einführung

Diese Broschüre stellt ein adaptives Dekompressionsmodell vor, das in der neuen Computergeneration Aladin Air X Einzug gefunden hat. Das Rechenmodell wurde in Zusammenarbeit der beiden Firmen Uwatec AG und Dynatron AG mit Prof. Bühlmann in 5-jähriger Arbeit entwickelt. Viele physiologische Vorgänge im Körper des Tauchers wurden bisher für die Dekompressionsberechnungen nicht berücksichtigt. Durch die realitätsnahe Simulation dieser Abläufe wird dieses Modell einen Beitrag zu noch sicherem Tauchen leisten. Erstmals ist es möglich, eine Dekompressionsangabe abhängig vom Verhalten und der Umgebungsbedingungen des Tauchers anzugeben. Für normale Tauchgänge ohne besondere Vorkommnisse sind die Dekompressionsangaben nicht konservativer als mit herkömmlichen Tauchcomputern. Gerät ein Taucher in Risikosituationen, kann eine Anpassung der Dekompression notwendig sein, um mögliche Zwischenfälle zu vermeiden.

Sicherheit beim Tauchen

Übersicht

Heute ist die Zwischenfallsrate beim Tauchen sehr klein. DAN (Divers Alert Network) schätzt eine Rate von 0.07% für 1991 [1]. Damit ist Tauchen sicherer als zum Beispiel Schwimmen (0.17%) oder Wasserskifahren (0.24%). DAN Europa schätzt die Zwischenfallrate auf 0.009%, für das selbe Jahr und 0.013% für die Periode 1989 bis 1992 [2]. Der BSAC (British Sub-Aqua Club), ermittelte 1 Zwischenfall auf etwa 30'000 Tauchgänge [3].

Etwa die Hälfte aller Zwischenfälle sind verschiedenster Art wie beispielsweise mechanische Verletzungen, Barotraumas, Kreislaufprobleme usw. Die andere Hälfte sind Dekompressionskrankheiten (DCS) und Gasembolien im arteriellen Kreislauf (AGE). Uns interessieren natürlich vor allem die DCS-Zwischenfälle, welche nun etwas genauer analysiert werden.

Analyse der DCS-Zwischenfälle

Tauchcomputer folgen dem aktuellen Profil sehr genau und berechnen daraus die notwendige Dekompression. Tabellen werden normalerweise für das gleiche Profil eine vergleichsweise längere Dekompressionsvorschrift ergeben. Die Gründe dafür liegen in den vielen Vereinfachungen, die bei der Anwendung der Tabelle gemacht werden. Viele Taucher glauben deshalb, dass Tabellen einen besseren Schutz gegen Dekompressionszwischenfälle bieten als Computer.

Die Statistiken zeigen allerdings kein deutlich höheres Risiko für die Tauchcomputer, obwohl deren Dekompressionsvorschrift normalerweise um einiges kürzer ist. Etwa die Hälfte aller gemeldeten DCS-Fälle werden in den Statistiken als "innerhalb der Tabellenvorschriften liegend" registriert! Es

scheint deshalb, dass eine generell konservativere Dekompression die Zwischenfallsrate nicht reduzieren kann.

Es gibt einige mögliche Hypothesen für diese Erkenntnis:

Eher unwahrscheinlich scheint uns, dass die konservativere Dekompression mit Tauchtabellen noch immer nicht ausreicht, um die Zwischenfallsrate deutlich zu reduzieren. In diesem Fall wäre also eine noch viel längere Dekompression notwendig, um den empfindlichen Tauchern zu helfen. Das würde bedeuten, dass unrealistisch lange Dekozeiten akzeptiert werden müssten obwohl diese nur für einen sehr kleinen Prozentsatz aller Taucher Sinn machen würden!

Etwas wahrscheinlicher scheint uns die Hypothese, dass ein Teil der verbleibenden DCS-Fälle durch einen **rechts-links Shunt** im Herzen verursacht worden sein könnte (Beispiel PFO, siehe Erklärung in der Textbox). Dadurch können **Mikroblasen vom venösen in den arteriellen Kreislauf** gelangen. Untersuchungen haben gezeigt, dass etwa **30% aller Leute mit einem PFO unterschiedlicher Grösse leben** [4] [5]. Um einen Zwischenfall vermeiden zu können, ist für diese Fälle ein Dekompressionsprofil notwendig, welches die Entstehung von Mikrogasblasen vermeidet. Doppler-Messungen zeigen aber, dass diese Forderung beim Tauchen praktisch nicht erfüllt werden kann auch wenn sehr langsam aufgestiegen wird. Wiederum wären unrealistisch lange Dekozeiten und extrem langsame Aufstiegsgeschwindigkeiten die Folge!

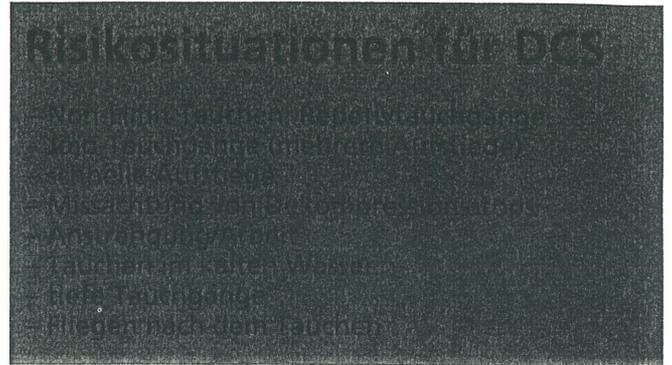
PFO:

Offenes Foramen ovale. Beim ungeborenen Kind besteht eine Verbindung zwischen dem rechten und dem linken Vorhof des Herzens. Diese Öffnung (Foramen ovale) wächst normalerweise nach der Geburt zu. Bei etwa 30% der erwachsenen Menschen bleibt das Foramen ovale aber teilweise offen.

Im linken Vorhof herrscht ein höherer Druck als im rechten Vorhof. Eine Art Ventilwirkung verhindert normalerweise den Übertritt von venösem Blut auf die arterielle Seite. Pressatmung, Druckausgleich (Valsalva-Manöver) oder starker Husten kann den Druck im rechten Vorhof kurzfristig erhöhen. Venöses Blut kann dann unter Umgehung der Lunge in den arteriellen Kreislauf fließen. Falls zu diesem Zeitpunkt Mikrogasblasen im Herzen sind, gelangen diese ins arterielle Blut und damit auch in die Gewebe.

Am wahrscheinlichsten erscheint uns, dass bestimmte Risikosituationen für einen massgebenden Teil der Dekompressionszwischenfälle verantwortlich sind. Um darüber eine genauere Auskunft zu erhal-

ten, konsultieren wir wieder die Statistiken. Darin werden bestimmte Risikofaktoren aufgeführt (siehe nebenstehende Textbox). Die Risikosituationen sind etwa gleich für Tabellen- und Computerbenutzer. Die heutigen Tauchcomputer und Tabellen sind nicht in der Lage diese Situationen abzudecken.



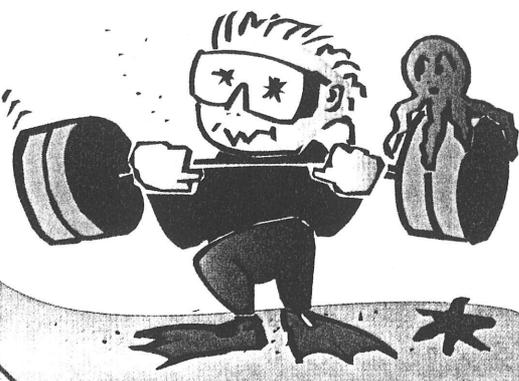
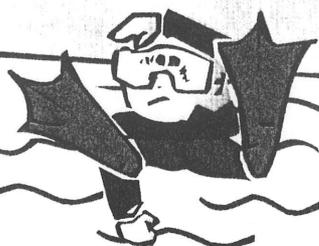
Wenn wir das Verhalten des Körpers in solchen Risikosituationen besser verstehen, ist es möglich, auf die veränderte Physiologie (z.B. verursacht durch Kälte, Anstrengung, Blasenproduktion) zu reagieren und die Dekompressionsvorschrift anzupassen.

Mit der grossen Erfahrung von Prof. Bühlmann in der Tauchmedizin und Physiologie und unserem Know how in der Modellierung von physiologischen Vorgängen, entstand das revolutionäre Modell **ZH-L8 ADT** (ZH=Zürich, L=lineares Modell für die **Übersättigungstoleranzen**, 8=Anzahl Gewebe, ADT=adaptiv) welches nachfolgend beschrieben wird. Revolutionär ist das Rechenmodell deshalb, weil es adaptiv ist, d.h. sich verschiedenen Faktoren anpassen kann.

Das Dekompressionsmodell ZH-L8 ADT

Einführung

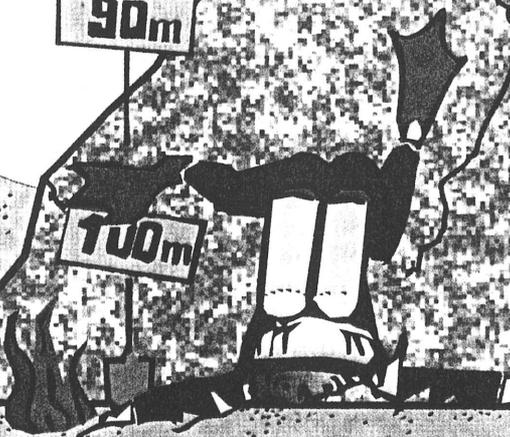
Seit vielen Jahren sind die Dekompressionsmodelle sowohl für Tabellen wie auch für Computer nicht mehr geändert worden. Wohl führten Anpassungen der Koeffizienten bei einzelnen Tauchcomputern und Tabellen zu deutlich kürzeren Nullzeiten und längeren Dekostops. Gemäss unserer vorherigen Analyse der Dekompressionszwischenfälle bringt aber eine weitere Reduktion der Übersättigungstoleranzen keine wesentliche Erhöhung der Sicherheit mehr. Im Gegenteil: Benützer von sogenannten "sicheren" Tauchcomputern kümmern sich oft nur mangelhaft um eine konsequente Befolgung der Dekompressionszeiten. Deshalb entschieden wir uns, nach grundsätzlich neuen Lösungen zu suchen. Viele Simulationen und reale Tauchgänge waren nötig um das neue Modell zu optimieren und seine Richtigkeit zu bestätigen. Wir werden im folgenden einige wichtige Punkte näher betrachten.



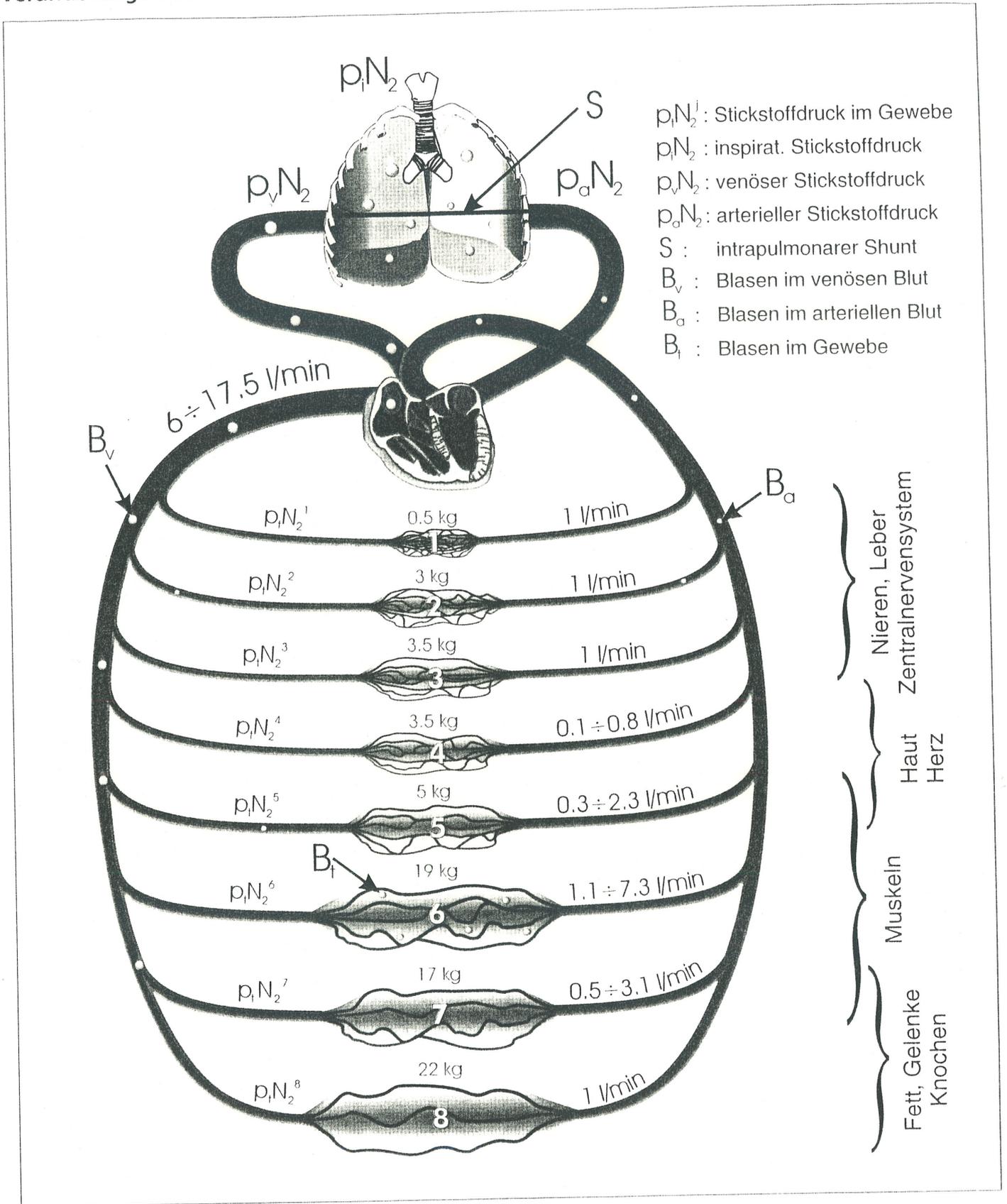
80m

90m

100m



Veränderungen des Kreislaufs beim Tauchen



Die Abbildung zeigt schematisch den Kreislauf des Menschen. Die meisten bisher in der Praxis angewendeten Dekompressionsmodelle verwenden eine Anzahl parallel geschalteter Kompartimente (Gewebe). Jedes dieser Kompartimente (ent)sättigt sich nach einer Exponentialfunktion. Wie in der Abbildung er-

sichtlich, reduziert sich in der Regel die Durchblutung pro kg Gewebemasse mit steigender Gewebemasse. Die Geschwindigkeit der Gasaufnahme/-abgabe ist darum für die verschiedenen Kompartimente verschieden. Die sogenannte Halbwertszeit charakterisiert diese Sättigungsgeschwindigkeit.

Die Annahme einer konstanten Halbwertszeit für die Sättigung der Gewebe ist nicht in jedem Fall korrekt. **Ändert sich die Durchblutung eines Gewebes - z.B. durch Arbeit, Kälteeinfluss oder infolge eingeschwemmter Mikrogasblasen - wird sich auch die Auf- oder Entsättigung des betreffenden Gewebes verändern.** Dies wurde bis heute durch kein Rechenmodell berücksichtigt. Einzelne Tauchcomputer rechnen allerdings mit einer verlangsamt Entsättigung im Oberflächenintervall und verlängern in dieser Situation die Halbwertszeit.

Die Übersättigungstoleranz der Gewebe ist ein Mass für die Druckentlastung, welche ein Gewebe erträgt, ohne dass es Gasblasen bildet. Die Übersättigungstoleranz ist abhängig von der Halbwertszeit des Gewebes und kann daraus abgeleitet werden [1]. **"Schnelle" Gewebe (z.B. Zentralnervensystem) haben eine grössere Übersättigungstoleranz als langsame Gewebe (z.B. Knorpel, Knochen). Falls sich die Sättigungsgeschwindigkeit eines Gewebes ändert, wird deshalb auch die Übersättigungstoleranz ändern.**

Verhalten des Körpers bei Arbeit

Viele herkömmliche Tabellen wurden unter der Annahme einer mittleren Leistungsabgabe beim Tauchen entwickelt. **Bühlmann wählte 50 Watt als Basis.** Es ist aber schon lange bekannt, **dass die Dekompressionszeit länger werden kann, wenn der Taucher unter Wasser arbeitet** [6] [7].

Beim arbeitenden Taucher sind die Muskelgewebe besser durchblutet, was zu einer erhöhten Aufsättigung dieser Gewebe führt. Andere Gewebe sind durch erhöhte Leistung nicht beeinflusst, beispielsweise das Zentralnervensystem. Normalerweise ruht sich ein Taucher während der Dekompressionsphase aus, und die Durchblutung der Muskelgewebe erreicht wieder den normalen Wert. Um die höher aufgesättigten Muskelgewebe wieder zu entsättigen, muss die Dekompressionsphase verlängert werden.

An der Oberfläche ist die durchschnittliche Arbeitsleistung gewöhnlich kleiner als während des Tauchgangs. Damit dauert die Entsättigung der Muskelgewebe länger. Dies führt auch zu einer kleineren Übersättigungstoleranz und damit zu einer deutlichen Verlängerung der Flugverbotszeit.

Verhalten des Körpers bei Kälte

Ein Taucher wird im kalten Wasser abhängig von Temperatur, Zeit, Isolation des Anzuges und Arbeit unterschiedlich schnell auskühlen. Der Körper minimiert den Wärmeverlust durch das Zusammenziehen der Blutgefässe in der Haut (**Vasokonstriktion**), damit die Kerntemperatur von 37° C so lange wie

möglich erhalten bleibt. **Die reduzierte Durchblutung der Haut führt zu einer verlangsamt Auf-/Entsättigung der Hautgewebe und verändert deren Übersättigungstoleranz.**

Die **stärkste Auskühlung wird normalerweise am Ende eines Tauchganges** während der Dekompressionsphase erreicht. In diesem Moment entsättigen sich Hautgewebe langsamer als normal. Der dort angereicherte Stickstoff braucht viel länger um den Körper wieder verlassen zu können.

Ermittlung von Arbeitsleistung und Hauttemperatur, Beeinflussung des Rechenmodells

Die Leistung, die ein Taucher während eines Tauchganges vollbringt, kann über seinen Luftverbrauch gemessen werden [8]. Um über eine Messung des Luftdrucks im Pressluft-Tauchgerät den Luftverbrauch in l/min bestimmen zu können, muss das Volumen des Tauchgerätes bekannt sein. Diese Information müsste dem Tauchcomputer vom Benutzer eingegeben werden. Um Fehler auszuschliessen, haben wir ein neues Verfahren entwickelt und zum Patent angemeldet, welches die Leistung des Tauchers über seine Atemcharakteristik direkt bestimmt.

Die Hauttemperatur ist mit vernünftigem und tragbarem Aufwand während des Tauchgangs nicht zuverlässig messbar. Es wäre sehr unpraktisch, wenn jeder Taucher vor dem Tauchgang Temperatursensoren am Körper plazieren müsste. Wir haben deshalb in einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Testpersonen die Hauttemperatur an verschiedenen Stellen gemessen. Daraus entwickelten wir ein Rechenmodell für die Abkühlung der Haut. Die Methode kann natürlich nur eine Näherung sein. Die Möglichkeit, das Risiko von Hautsymptomen ohne jeglichen Nachteil zu reduzieren, legitimiert aber nach unserer Meinung dieses Verfahren.

Die Schätzung der Hauttemperatur gilt nur für das Tauchen mit Nassanzügen. Wir wissen aber aus eigener Erfahrung, dass Tauchen mit Trockenanzügen das Risiko von Haut- und Muskelproblemen erhöht. Der Trockentaucher profitiert deshalb ebenfalls von der Berücksichtigung der Abkühlung.

Sind Leistung und Hauttemperatur ermittelt, können die Durchblutungsanteile der beteiligten Gewebe entsprechend verändert werden. Die Durchblutungsanteile verschiedener Gewebe und deren Variation sind bekannt [9] [10]. Gewebe-Halbwertszeiten und Übersättigungstoleranzen sind von diesen Anteilen abhängig [11]. Das Rechenmodell ist deshalb in der Lage, abhängig von Arbeit und Auskühlung die Halbwertszeiten und Übersättigungstoleranzen der Muskel- und Hautgewebe anzupassen.

Beispiele

Zwei Beispiele sollen den Einfluss von Leistung und Temperatur illustrieren:

Beispiel 1:

Abb. 2 zeigt ein Beispiel für die Wirkung von Arbeit unter Wasser. Anstrengung wird dann zu längerer Dekompression führen, wenn Muskelgewebe die Dekompression bestimmen. Da die Muskeln eine relativ lange Halbwertszeit aufweisen, ist der Einfluss von Arbeit hauptsächlich bei längeren Tauchgängen und Repetivtauchgängen spürbar.

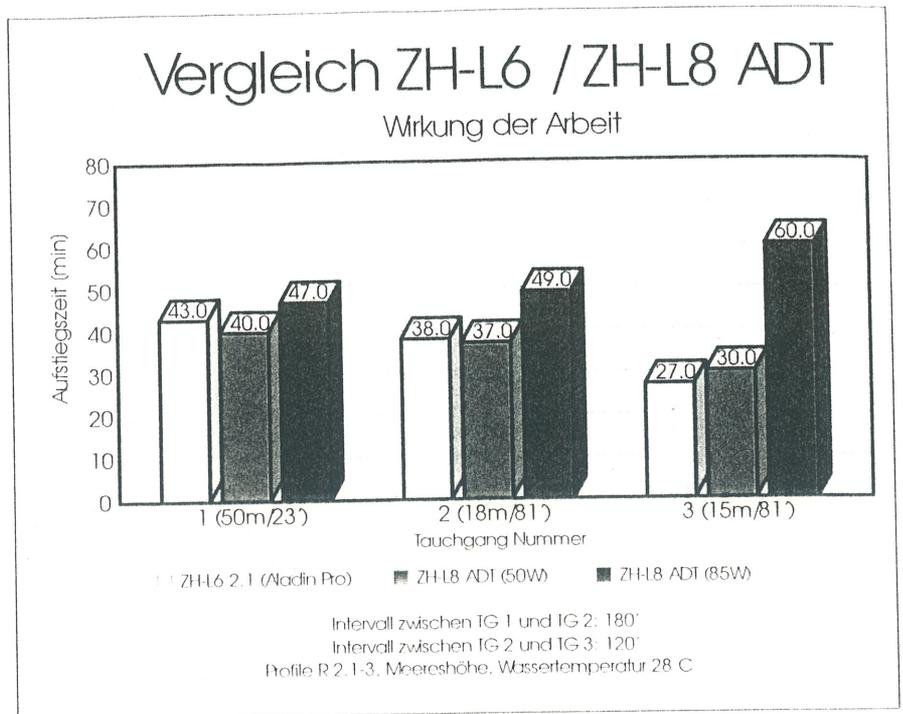


Abb. 2

Beispiel 2:

Abb. 3 zeigt ein Beispiel für die Kältewirkung. Mit sinkender Wassertemperatur und zunehmender Dauer des Tauchganges kann die Dekompression gegenüber dem gleichen Tauchgang in warmem Wasser deutlich zunehmen. Falls mehrere Stopps verlangt werden, sind normalerweise nur die obersten Stufen davon betroffen, weil Hautgewebe erst dort zum Leitgewebe für die Dekompression werden.

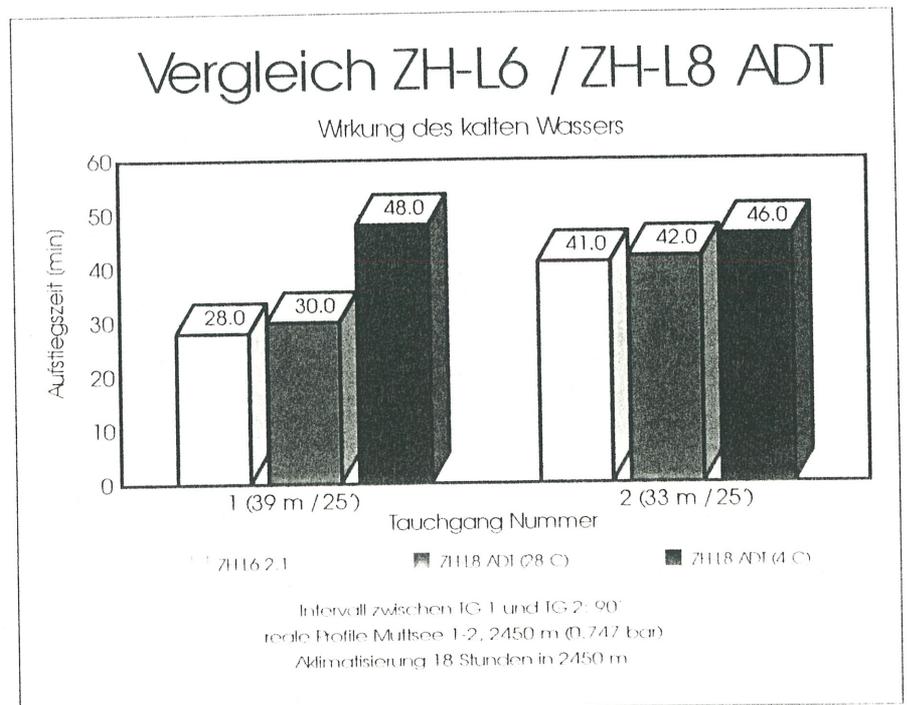


Abb. 3

Mikrogasblasenbildung

Alle in Tauchcomputern bisher verwendeten Rechenmodelle berücksichtigen nur Stickstoff in gelöster Form. Diese Modelle rechnen mit einer "scharfen" Grenze zwischen dem tolerierten Stickstoffdruck und ungenügender Dekompression. Diese Grenze wurde mit Versuchen durch das Auftreten von Symptomen der Dekompressionskrankheit bestimmt. Es ist aber schon lange bekannt, dass Stickstoff im

Gewebe und im Blut Gasblasen bilden kann, ohne dass Symptome auftreten. Ob Mikrogasblasen Symptome einer Dekompressionskrankheit oder einer Gasembolie hervorrufen, hängt von der Lage und der Quantität der Gasblasen ab.

Während des Tauchens können Mikrogasblasen an drei verschiedenen Stellen im Körper entstehen:

Mikrogasblasen im venösen Blut entstehen während und nach **fast jedem Tauchgang**. Diese Mikrogasblasen können mit der **Doppler Methode** gemessen werden. Sie werden in der **Regel in der Lunge herausgefiltert**.

Mikrogasblasen im arteriellen Blut entstehen bei zu **schnellem Aufsteigen (arterielle Gasembolie)**. Diese Gasblasen können gefährlich sein, da sie auf direktem Weg ins Zentralnervensystem gelangen können. Einmal im Gewebe bewirken diese Blasen Symptome der Dekompressionskrankheit.

Mikrogasblasen im Gewebe entstehen während und nach einer ungenügender Dekompression. Sie bewirken die klassische Dekompressionskrankheit.

Berechnung der Blasenentstehung

Damit eine Blase im Körper eines Tauchers existieren kann, muss sie dem **Umgebungsdruck, dem mechanischen und hydrostatischen Druck des entsprechenden Gewebes sowie der Oberflächenspannung widerstehen** (Abb. 4). Wenn also eine Blase entstehen soll, muss der **Druck innerhalb der Blase größer sein, als die Summe aller umgebenden Drücke**. Die Theorie dieser Blasenentstehung ist sehr komplex. **Algorithmen zur Berechnung der Blasenformation wurden entwickelt [12] [13]** aber diese sind so aufwendig, dass sie nicht in einem Tauchcomputer implementiert werden können.

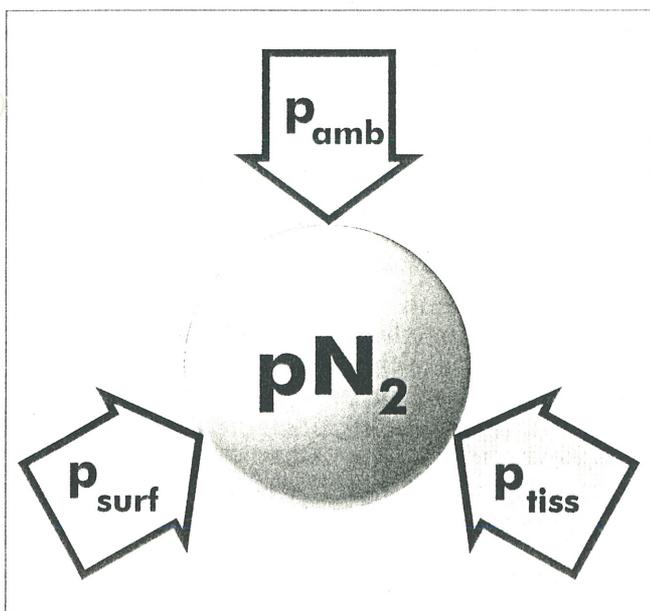


Abb. 4

Wir haben nun ein vereinfachtes Verfahren gefunden, welches das Auftreten von Mikrogasblasen im Blut näherungsweise vorhersagen kann. Der Algorithmus ist im wesentlichen abhängig vom Stick-

stoff-Partialdruck, dem Umgebungsdruck sowie dem Blutdruck.

Mit dem Algorithmus zur Blasenbildung im arteriellen Blutkreislauf lässt sich auch die optimale Aufstiegsgeschwindigkeit bestimmen. Es resultiert in grossen Tiefen eine relativ hohe Geschwindigkeit, welche aus tauchtechnischen Gründen auf 20 m/min begrenzt werden sollte. Unterhalb der Oberfläche wird die Aufstiegsgeschwindigkeit bis auf 7 m/min reduziert, was auch zu einer reduzierten Blasenproduktion im venösen Kreislauf beiträgt.

Für Blasen im arteriellen Kreislauf ist eine Überprüfung des Modells anhand bekannter Zwischenfälle mit arterieller Gasembolie bedingt möglich. Leider ist man für die Bestimmung der jeweiligen Tauchprofile fast immer auf die Angaben der Beteiligten angewiesen. Mikrogasblasen im venösen Kreislauf lassen sich mittels Ultraschall-Dopplermessung nachweisen. Wir haben unser Modell mit Experimenten [14] und Untersuchungen von Comex verglichen. Wir konnten eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Experiment feststellen.

DAN Europa hat mit unserer Beteiligung ein Forschungsprojekt zum Thema Blasenproduktion im venösen Kreislauf gestartet. Es wird interessant sein, die Resultate dieser Studie mit unserem Modell zu vergleichen.

Der Einfluss von Mikroblasen im venösen Kreislauf

Im **venösen Kreislauf entstehen Blasen hauptsächlich am Ende eines Aufstiegs und in den nachfolgenden 3 bis 4 Stunden an der Oberfläche**. Sie wandern in die Lunge, wo sie sich in den **Kapillaren ansammeln und den Gasaustausch behindern**. Dieser Effekt wird als **intrapulmonarer rechts-links Shunt bezeichnet**. Die Situation verursacht eine Veränderung des arteriellen Stickstoffdrucks.

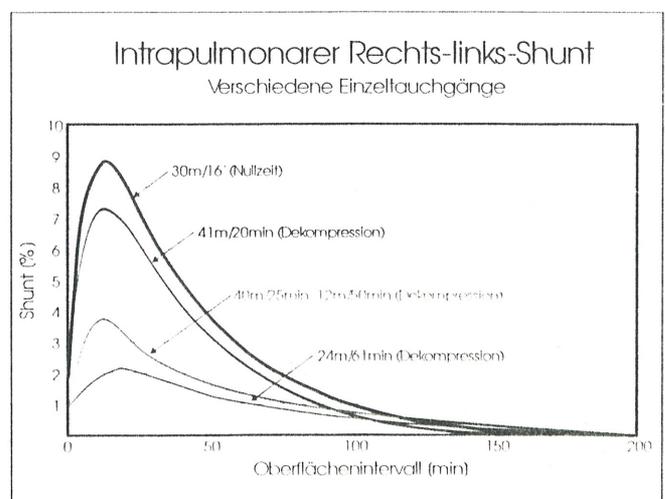


Abb. 5

Solange die Blasenzufuhr im venösen Blut höher ist als der Blasenabbau in der Lunge, wird der Shunt zunehmen. 10 bis 30 Minuten nach dem Erreichen der Oberfläche erreicht der Shunt sein Maximum. Danach ist die Reduktion der Blasen in der Lunge grösser als die Produktion und der Shunt nimmt wieder ab. Nach 2 bis 4 Stunden sind praktisch alle Blasen in den Kapillaren verschwunden. Während der Entsättigungsphase ist der venöse Stickstoffdruck höher als der inspiratorische. Der arterielle Stickstoffdruck wird deshalb erhöht, was zu einer verlangsamten Entsättigung zur Folge hat.

Interessanterweise ergeben vor allem Nullzeittauchgänge in Tiefen über 30 Meter unter Ausschöpfung der Nullzeit einen hohen Shunt. Schnelle Gewebe liefern bei grossem Druckgefälle pro Zeiteinheit viele Mikrogasblasen. Bei Tauchgängen mit langen Dekompressionszeiten werden die schnellen Gewebe schon während der Dekompression bei noch relativ hohem Umgebungsdruck gut entsättigt. Das bewirkt eine geringere Anzahl von Mikrogasblasen pro Zeiteinheit nach dem Tauchgang - der Shunt wird kleiner!

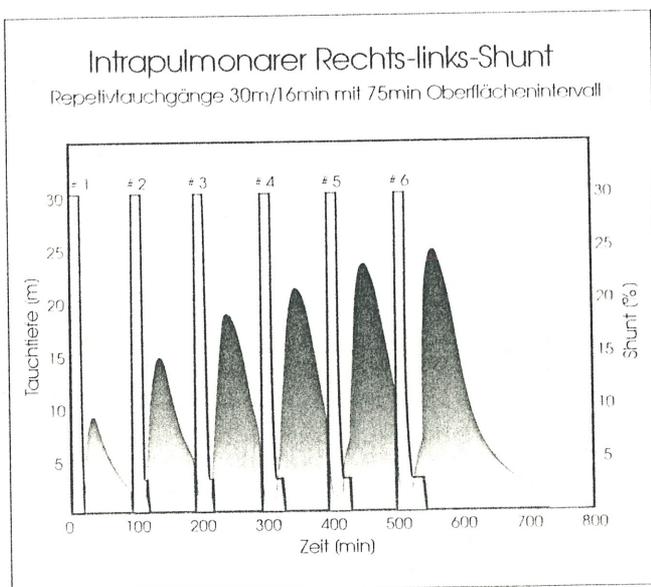


Abb. 6

Besonders hoch wird der intrapulmonare Shunt, wenn mehrere Tauchgänge mit kurzem Oberflächenintervall hintereinander durchgeführt werden (Abb. 6). Da die Gasblasen des letzten Tauchganges jeweils noch nicht vollständig abgebaut sind, kumulieren sich die Blasen bei jedem zusätzlichen Tauchgang. Der Shunt wird mit jedem Tauchgang grösser.

Mit zunehmender Anzahl Blasen in den Lungenkapillaren steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass Blasen durch die Lunge in den arteriellen Kreislauf eingeschwemmt werden. Über die Lunge eingeschwemmte Mikrogasblasen verhalten sich wie Blasen, die im arteriellen Kreislauf entstanden sind. Sie können Symptome der arteriellen Gasembolie und der Dekompressionskrankheit verursachen.

Der Einfluss von Mikrogasblasen im arteriellen Blutkreislauf und in den Geweben

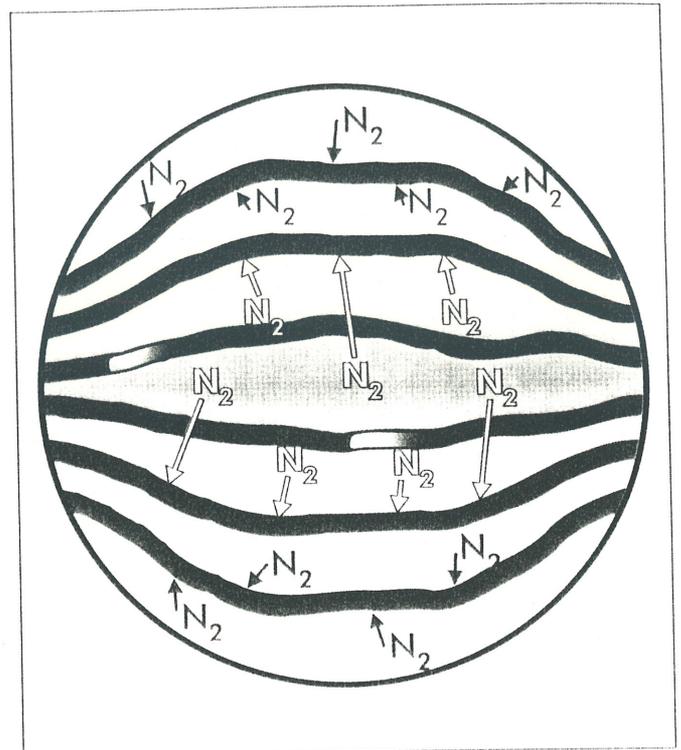


Abb. 7

Gasblasen im arteriellen Kreislauf sind gefährlich, da sie in Gewebe mit guter Durchblutung - beispielsweise Rückenmark oder Gehirn - eingeschwemmt werden können. Mikrogasblasen können im Gewebe Kapillaren blockieren und den Gasaustausch lokal beeinflussen. Dabei ist es unerheblich, ob die Blasen im Gewebe entstanden oder vom arteriellen Blut eingeschwemmt wurden. Die Diffusionswege für die Stickstoffmoleküle werden länger, und das geschädigte Gewebe verhält sich wie ein Gewebe mit längerer Halbwertszeit (Abb. 7). Zusätzlich wird aber auch die Übersättigungstoleranz kleiner. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass weitere, zusätzliche Blasen im Gewebe entstehen. Falls die Dekompressionsvorschrift der neuen Situation angepasst wird, kann die zusätzliche Gasblasenbildung verhindert und eine der veränderten Situation entsprechende Entsättigung sichergestellt werden.

Falls Mikrogasblasen im arteriellen Blut, respektive in den Geweben berechnet werden, wird das Rechenmodell die Entsättigung der entsprechenden Gewebe verzögern und die Übersättigungstoleranz reduzieren, um dem verbleibenden Inertgas die notwendige Zeit zur Entsättigung zu geben. Dies führt in diesen Situationen zu wesentlich kürzeren Nullzeiten und allfällige Dekostops beginnen auf tieferen Stufen und dauern länger.

Beispiele

Es ist bekannt, dass mehrere kurze tiefe Tauchgänge mit kurzen Intervallzeiten problematisch sein können [19]. Derartige Tauchgänge produzieren einen beträchtlichen Shunt. Damit besteht ein erhöhtes Risiko von eingeschwemmten Blasen in den arteriellen Kreislauf.

Die meisten Taucher wissen, dass solche Extremsituationen zu vermeiden sind. Trotzdem werden derartige Tauchgänge gemacht. In diesem Fall ist das neue Rechenmodell in der Lage, sich der aussergewöhnlichen Situation anzupassen und kann möglicherweise Schädigungen vermeiden.

1. Ein Vergleich zwischen dem Rechenmodell ZH-L6 und dem neuen Modell ZH-L8 ADT zeigt den Einfluss, den die Berücksichtigung dieser eingeschwemmten Blasen bringt. Wir betrachten 6 aufeinanderfolgende Tauchgänge auf 30 Meter während jeweils 16 Minuten mit einer Intervallzeit von 75 Minuten. Der erste Tauchgang liegt innerhalb der Nullzeit.

Beim ersten Tauchgang unterscheiden sich die Dekompressionsvorschriften nur sehr wenig, für die folgenden Tauchgänge unterscheiden sich die totalen Aufstiegszeiten bis zu einem Faktor 4.

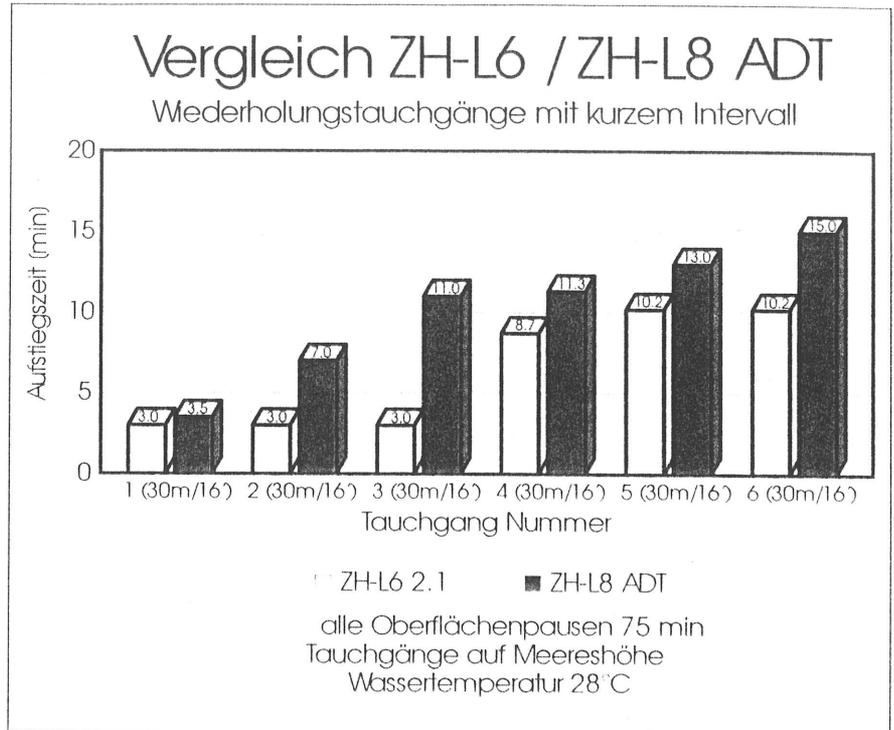


Abb. 8

2. Beim 2. Beispiel geht es um eine Rettungsübung (Abb.9). Ein Tauchlehrer führt oft 2-3 aufeinanderfolgende Aufstiege mit seinen Schülern durch. Unerfahrene Schüler erreichen bei derartigen Aufstiegen schnell eine Geschwindigkeit von 30m/min.

Die Nullzeiten beim ersten Abstieg sind identisch, nach dem 2. Abstieg wird die Dekompressionsvorschrift des ZH-L8 ADT Modells klar konservativer. Nach dem 2. Aufstieg zeigt es gar eine Dekostufe auf 3 Metern an. Nach dem 3. Aufstieg gibt das Modell einen Stopp von 3m / 7: an. Das ZH-L6 Modell verlangt für diese Situation noch keinen Dekostopp. Die Entsättigungszeit liegt neu bei 43h gegenüber 8h, da nun mit der Existenz von Mikrogasblasen in den Geweben gerechnet wird.

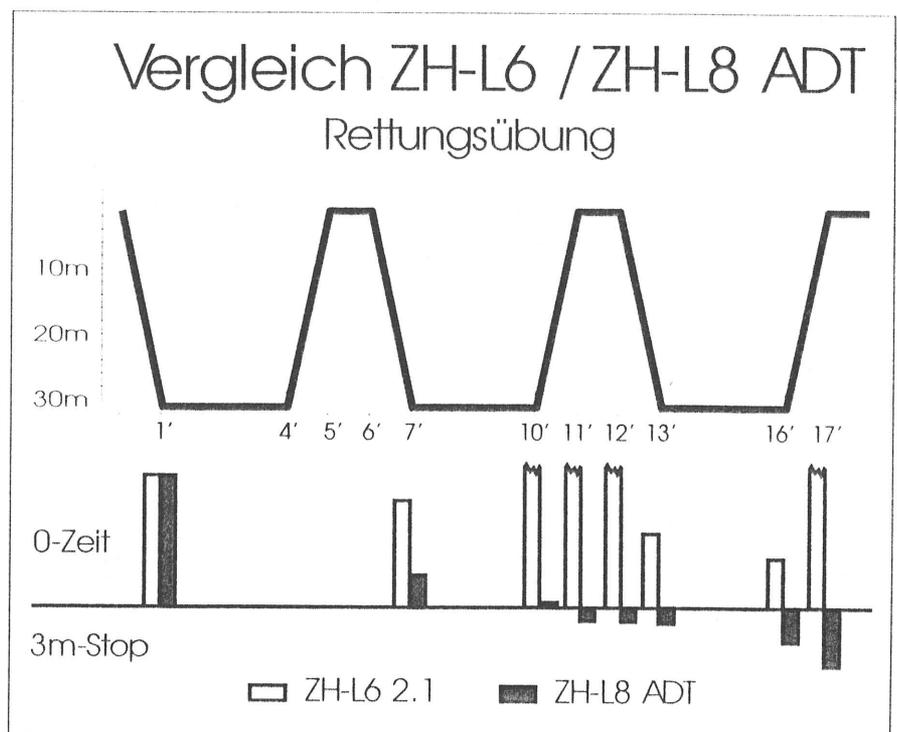


Abb. 9

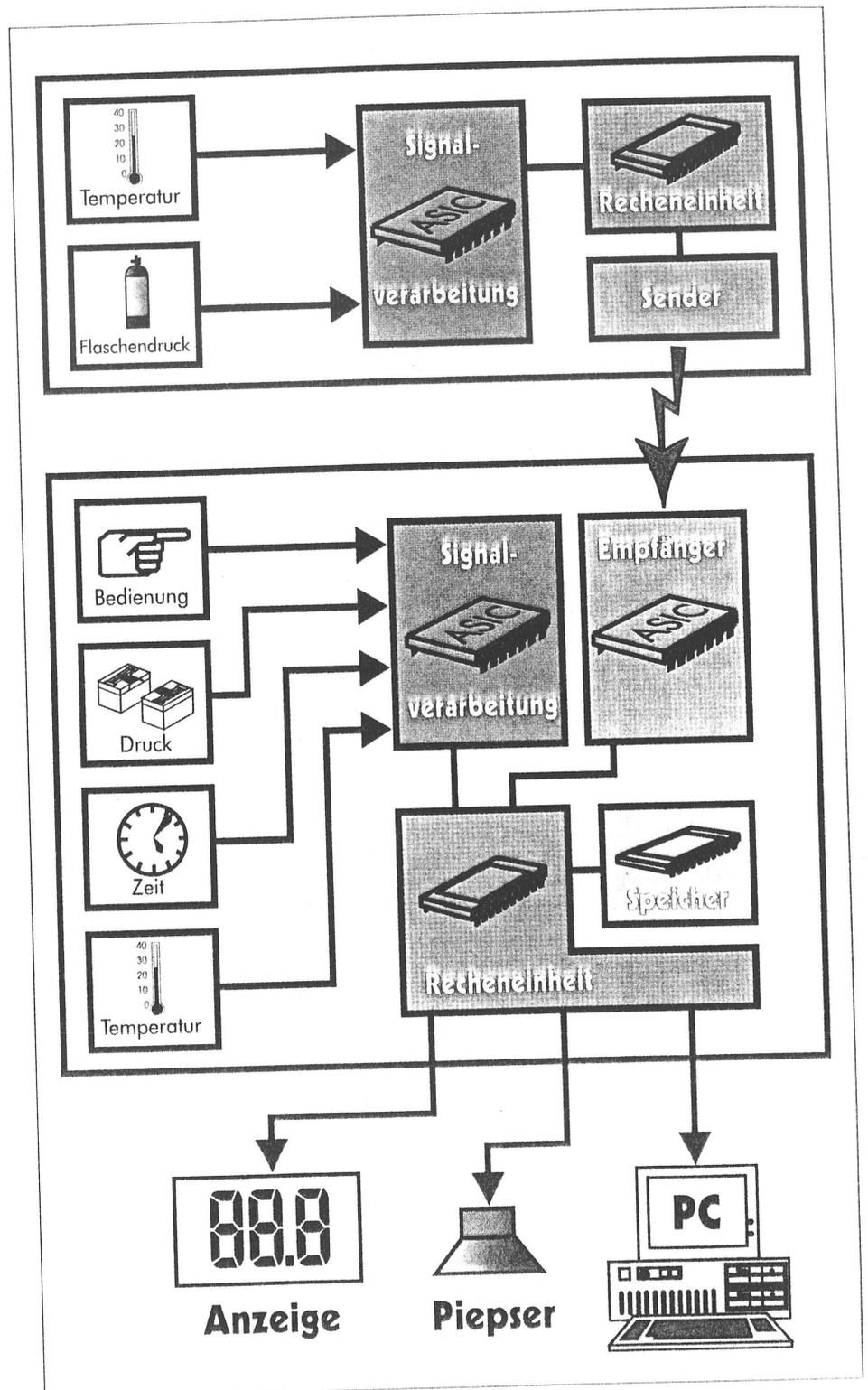
Das ZH-L8 ADT Rechenmodell im Tauchcomputer Aladin Air X

Anforderungen an die Hardware

Ein Computer, der in der Lage sein soll, die Möglichkeiten des neuen Rechenmodells zu berücksichtigen, muss gewisse Anforderungen erfüllen.

Kernstück ist ein moderner Single Chip Mikroprozessor mit einem grossen Programm- und Datenspeicher (Abb. 10). Das Speichervermögen dieses Chips muss wesentlich grösser sein als bisher, da bedeutend mehr zu rechnen und zu speichern ist.

Wasserdruck und Temperatur werden mit Sensoren gemessen und in einem ASIC (=kundenspezifische Integrierte Schaltung) verarbeitet. Die Auflösung des Drucksignals beträgt etwa 1cm Wassersäule. Damit kann die Aufstiegs geschwindigkeit schnell und genau ermittelt werden. Der Flaschendruck muss ebenfalls mit einer sehr hohen Auflösung gemessen werden, damit ein einzelner Atemzug erkennbar wird. Der Flaschendruck wird einerseits benötigt, um die Arbeitsleistung zu ermitteln. Andererseits kann damit dem Taucher eine verbleibende "Luftzeit" angegeben werden. Eine weitere Temperaturmessung ist hier notwendig um den von der Wassertemperatur abhängigen Flaschendruck auf eine konstante Temperatur zu kompensieren. Die Formel von Boyle-Mariotte ist für die hohen Flaschendrucke zu ungenau; es muss mit der realen Gasgleichung gerechnet werden.



Um die verbleibende "Luftzeit" korrekt angeben zu können, muss neben einer Reserve am Ende des Tauchgangs auch der Luftbedarf für den Aufstieg vorab berücksichtigt werden. Mit einer Änderung der Luftzeit ändert auch die Dekompression und damit der Luftbedarf für den zu erwartenden Aufstieg. Die korrekte Berechnung der Luftzeit für

einen Dekompressionstauchgang ist deshalb mit einem beträchtlichen Rechenaufwand verbunden.

Um die Abkühlung der Haut richtig berechnen zu können, muss die im Moment herrschende Wassertemperatur gemessen werden können. Für die Prognose der Dekompression ist auch die Wassertem-

peratur im Dekobereich wichtig, da sonst die Voraussage der Dekompression falsch sein kann. Dies bedingt eine sehr schnelle Temperaturmessung während des Abtauchens, was nur mit einem erheblichen Aufwand realisierbar ist.

Für die Analyse des Tauchganges (z.B. in der Ausbildung), können alle wichtigen Daten in einem Speicher festgehalten werden. Nach dem Tauchgang können die Informationen über ein Interface auf einen PC übertragen und dort weiter ausgewertet werden.

Praktische Auswirkungen des Rechenmodells ZH-L8 ADT beim Tauchen mit dem Aladin Air X

Einzeltauchgänge

In warmem Wasser und ohne Risikosituationen sind die Nullzeiten und Dekozeiten im Mittel etwa gleich wie bisher. Für tiefere Tauchgänge sind wegen der höheren Aufstiegs geschwindigkeit die Nullzeiten leicht länger und die Dekozeiten geringfügig kürzer. Für Tauchgänge in kaltem Wasser und bei Anstrengung während des Tauchganges können Nullzeiten und Dekompression abhängig vom Tauchprofil konservativer werden als bisher. Bei deutlicher Überschreitung der Aufstiegs geschwindigkeit und bei einer allfälligen Missachtung eines Dekostops kann die Nullzeit massiv kürzer, die Dekompression um Einiges länger und tiefer werden.

Die Entsättigungszeit und Flugverbotszeit fallen durch die Berücksichtigung des Rechts-links Shunts und der reduzierten Anstrengung an der Oberfläche generell länger aus. **Die Flugverbotszeit kann für kurze Tauchgänge mehrere Stunden dauern und kann für extrem lange Tauchgänge mehr als 24 Stunden erreichen.** Damit decken sich die Flugverbotszeiten relativ gut mit den Empfehlungen der UHMS (Undersea and Hyperbaric Medical Society) [16].

Repetivtauchgänge

Durch den Rechts-links Shunt in der Lunge verlangsamt die Entsättigung natürlich auch zwischen den Tauchgängen. Bei hohem Shunt können Blasen in den arteriellen Kreislauf eingeschwemmt werden. Dies kann lokal die Entsättigung der Gewebe und deren Übersättigungstoleranz beeinflussen. Die abgekühlte Haut sowie die reduzierte Arbeitsleistung an der Oberfläche verlangsamen weiter die Stickstoffabgabe in den Haut- und Muskelgeweben.

Der Einfluss dieser Effekte auf den Folgetauchgang kann nicht allgemein vorausgesagt werden. Er ist abhängig von der Vorgeschichte, vom aktuellen Tauchprofil und von den momentanen Randbedingungen wie Arbeit, Wassertemperatur und Tauchtechnik. Eine Kombination von ungünstigen Einflüssen wird die Nullzeit und Dekompression deutlich beeinflussen.

Die Möglichkeiten des neuen Rechenmodells

Mit dem ZH-L8 ADT ist ein Rechenmodell erstmals in der Lage, auf Risikosituationen zu reagieren. Viele dieser Risikofaktoren werden verständlich, wenn die Abläufe im Körper eines Tauchers besser nachvollzogen werden können. Die vielen Einflüsse auf die Dekompression des Tauchers machen das Modell sehr komplex. Berechnungen müssen direkt während dem Tauchgang durchgeführt werden womit das Modell vor allem für Tauchcomputer geeignet ist.

Es ist klar dass die herkömmlichen Computer mit der Einführung dieser neuen Geräte nicht wertlos werden. Taucher die öfters mit Risikosituationen konfrontiert werden, sind aber mit Tauchcomputern besser bedient, welche das ZH-L8 ADT Modell verwenden.

Falls der Tauchcomputer über einen "Tauchgang-Recorder" verfügt, kann ein Tauchgang nachträglich analysiert werden. Dies ermöglicht einerseits eine bessere Diagnose im Fall eines Tauchunfalles, ist aber vor allem für die Tauchausbildung von unschätzbarem Wert. Abb. 11 zeigt das Tauchprofil eines realen Tauchgangs. Das Tauchprofil und die Warnungen des Aladin Air X sind für den ganzen Tauchgang ersichtlich. Die Anzeige des Aladin Air X, momentane Einflussfaktoren wie Arbeitsleistung, Abkühlung der Haut und geschätztes Blasenvolumen im arteriellen Kreislauf, ungefährer Luftverbrauch sowie die Sättigungskonstellation, kann für jeden gewünschten Punkt des Tauchprofils abgelesen werden. Der Tauchgang kann in einem "elektronischen" Logbuch auf einem PC archiviert werden.

Aladin Air X wird zu noch sichererem Tauchen beitragen. Er kann auf Fehler des Tauchers reagieren, fördert aber ebenso eine risikoarme Tauchtechnik. Die Sicherheit kann verbessert werden - durch das Vermeiden von Risikosituationen und wo dies nicht möglich ist, durch Berücksichtigung dieser Situationen in einer angepassten Dekompressionsvorschrift.

Es ist die Aufgabe der Vereine und Tauchlehrer, das Verantwortungsbewusstsein des Tauchers in der Ausbildung zu fördern. Tauchcomputer können aber zusätzlich "intelligenter" werden und in vielen Situationen das Risiko vermindern.

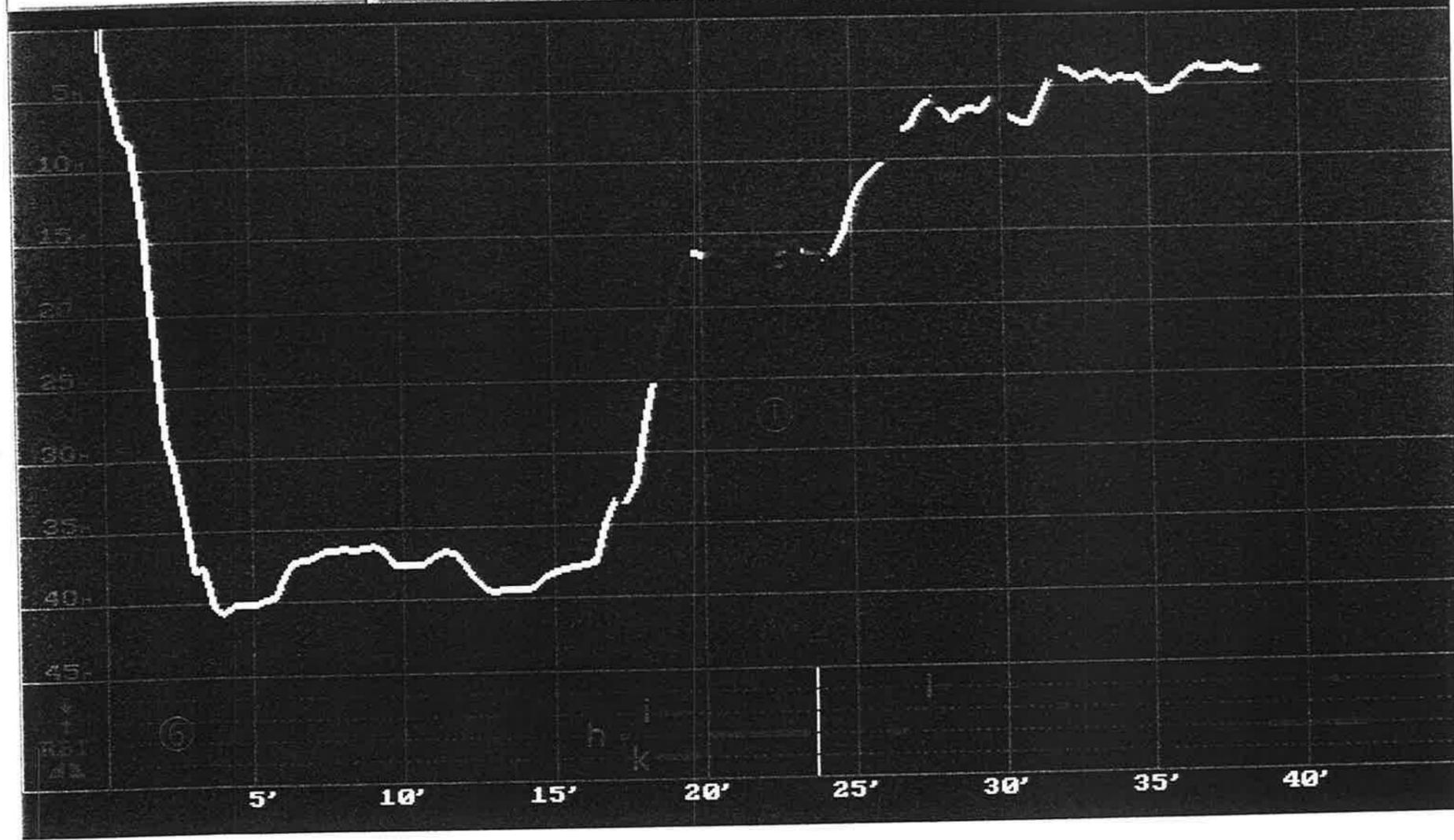
16.7 ② 30: 15: 40.6 DECISTOP 6H 5:

sehr hoch hoch hoch hoch
b c d

③ 30 40 10 50

④ 75% 50% 25% 0% ZMS Haut Husk Kno

⑤
 No: 20000
 Log: 01000
 Datum: 01.10.99
 Zeit: 08:45
 Ort: 50° 10' N 10° 00' E
 Wasser: 10.0 (min)
 Strömung: 19.5 1/min



Legende zu Abb. 11 (nebenstehende Seite):

- (1) Tauchgangprofil-Fenster (Tiefe / Zeit)
- (2) Tauchcomputer-Fenster (momentane Zeit, Tiefe, Nullzeit oder Dekompression, Gesamtaufstauchzeit)
- (3) Modellparameter-Fenster (Mikrogasblasen, Hauttemperatur, Anstrengung, geschätzter Luftverbrauch)
- (4) Gewebesättigungs-Fenster (Gewebesättigung in % der tol. Sättigung, Gewebe auf- oder entsättigend)
- (5) Fenster für allgemeine Tauchgang-Daten
- (6) Warnungen (Dekommissachtung, Aufstieg zu schnell, Luftzeit 0:, Zunahme des Luftverbrauchs)

Anzeigen für das Beispiel, bezogen auf momentane Position des Tauchers (23 Minuten Tauchzeit):

- a Tauchcomputer-Anzeigen (Tiefe 16.7m, Dekompression 6m / 5:, Gesamtaufstauchzeit 15:)
- b hohe geschätzte Mikrogasblasenanzahl im arteriellen Kreislauf und Geweben
- c Abkühlung der Haut normal
- d leicht erhöhte Anstrengung
- e momentaner Luftverbrauch ca. 22 l/min
- f Gewebe 1-3 entsättigen sich, Gewebe 4-8 sättigen sich noch auf
- g Gewebe 1 ist momentan Leitgewebe und ist zu ca. 65% des erlaubten Wertes gesättigt

Anzeigen für das Beispiel, bezogen auf den ganzen Tauchgang:

- h Luftzeit erreicht 0 Minuten
- i Aufstieg ist zu schnell
- k Luftverbrauch steigt stark an
- l Dekompressionsstufe 6m wird überschritten

UWATEC AG
CH-5705 Hallwil, Engenbühl 130
Telefon 064 - 54 29 40, Fax 064 - 54 22 80

UWATEC INSTRUMENTS DEUTSCHLAND GmbH
D-79736 Rickenbach-Hottingen, Murgtalstrasse 28
Telefon 077 65 - 10 43, Fax 077 65 - 85 48

Literatur

- [1] 1991 Report on Diving Accidents & Fatalities, Divers Alert Network, Durham (NC), USA
- [2] Marroni, A. (1992), Diving Habits and Diving Accidents in a Recreational Diving Population in Italy, Proceedings of the Joint Meeting on Diving and Hyperbaric Medicine (EUBS), Basel
- [3] BSAC NDC Diving Incidents Report 1992, BSAC (UK)
- [4] R. E. Moon, E. M. Camporesi, J. A. Kisslo. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. Lancet 1989/I S. 513-514
- [5] S. J. Cross, S. A. Evans, L. F. Thomson, H. S. Lee, K. Jennings, T. Shields. Right to Left Shunts in Neurological Decompression Sickness. XVIIIth Annual Meeting of EUBS 1992, Basel, Switzerland
- [6] Lanphier E.H. and Camporesi E.M. (1982), Respiration and Exercise in The Physiology and Medicine of Diving, 3rd edition, Ballière Tindall, London
- [7] Schibli R.A. and Bühlmann A.A. (1972), The influence of physical work upon decompression time after simulated oxi-helium dives. Helvetica Medica Acta Vol. 36, Nr. 4
- [8] Lanphier, E. H. (1954), "Oxygen Consumption in Underwater Swimming", US Navy Experimental Diving Unit (NEDU), Washington D.C., Formal Report 14-54
- [9] Bühlmann, A.A. & Froesch, E.R. (1989), Pathophysiologie, 5. edition, chapter 2.1.3., Springer Verlag Berlin.
- [10] Webb, P. (1982), Thermal Problems in: The Physiology and Medicine of Diving, 3rd edition, Ballière Tindall, London
- [11] Bühlmann A.A. (1993), Tauchmedizin, Springer-Verlag Berlin
- [12] Van Liew, H.D. (1991), Simulation of the dynamics of decompression sickness bubbles and the generation of new bubbles, Undersea Biomedical Research, Vol.18, No. 4
- [13] Vann, R.D. (1982), Decompression Theory and Applications, in The Pysiology and Medicine of Diving, 3rd edition, Baillière Tindall, London
- [14] Balldin, U. I. 1980, Venous gas bubbles while flying with cabin altitudes of airliners or general aviation aircraft 3 hours after diving. Aviat. Space Environ. Med. 51(7):649-652
- [15] Lewis, John E. 1991, Dive Computers and Multi-Level, Multi-Day Repetitive Diving, in Proceedings of Repetitive Diving Workshop, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina
- [16] Undersea and Hyperbaric Medical Society (1989), Flying after Diving Guidelines for Recreational Divers, Proceedings of the 39th UHMS Workshop, Bethesda.

THE CALCULATION MODEL FOR ALADIN DIVING COMPUTERS

SAFETY WHILE DIVING

SURVEY

The current rate of incidents during diving is very low. DAN (Divers Alert Network) estimates a rate of 0.07% of 1991 [1]. Diving is therefore safer than swimming for example (0.17%) or water skiing (0.24%). DAN Europe estimates the rate of incidents at 0.009% for the same year and 0.013% for the period 1989 to 1992 [2]. The BSAC (British Sub-Aqua Club) recorded one incident for around 30,000 dives [3].

Approximately half of all incidents are of a varying nature, such as mechanical injuries, barotraumas, circulation problems, etc. The other half is decompression sickness (DCS) and gas embolisms in the arterial circulation (AGE). We are naturally interested above all in the DCS incidents, which are analyzed in somewhat more detail below.

ANALYSIS OF DCS INCIDENTS

Dive computers follow the relevant profile very accurately and calculate from this the necessary decompression. Tables will normally give a comparatively longer decompression rule for the same profile. The reasons for this lie in the numerous simplifications made when using the tables. Many divers therefore believe that tables offer better protection against decompression incidents than computers.

Statistics, however, do not reveal any significantly higher risk when using the diving computer, although its decompression rule is normally somewhat shorter. Around half of all DCS cases reported are recorded in the statistics as "lying within the table rules"! It therefore appears that a generally more conservative decompression DOES NOT reduce the rate of incidents significantly.

There are various hypotheses for this finding:

- It seems rather likely to us that the more conservative decompression with diving tables is still not sufficient to clearly reduce the rate of incidents. In this case, therefore, a far longer decompression would be necessary in order to help sensitive divers. This would mean that unrealistically long decompression times would have to be accepted, although these would only make sense for a very small percentage of all divers!
- The hypothesis that part of the remaining DCS cases could have been caused by a right-left shunt in the heart (example PFO, see explanation below) appears somewhat more likely to us. Micro bubbles can enter the arterial from the venous system in this way. Investigations have shown that around 30% of all people live with a PFO of varying size [4][5]. In order to ensure avoidance of an incident, a decompression plan is necessary for these cases, which prevents the formation of micro gas bubbles. Doppler measurements indicate, however, that this demand can hardly be satisfied in practice when diving even with very slow ascents. The consequence would again be unrealistically long deco times and extremely slow ascent rates!

PFO:

Open foramen ovale. In the unborn child a connection exists between the right and left atrium of the heart. This opening (foramen ovale) normally closes following birth. In some 30% of adult persons, however, the foramen ovale remains partly open. There is a higher pressure in the left than in the right atrium. A type of valve action normally prevents the transfer of venous blood to the arterial side. Forced respiration, pressure equalization (Valsalva manoeuvre) or severe coughing can briefly increase the pressure in the right atrium.

Venous blood can then flow in the arterial circulation bypassing the lungs. If at this time micro gas bubbles are present in the heart, these enter the arterial blood and therefore also the tissues.

It seems most probable to us that certain risk situations are responsible for the great majority of decompression incidents. To obtain more exact information on this subject, we again consult the statistics. These list specific risk factors (see box below). The risk situations are roughly the same for users of tables and computers.

Modern diving computers and tables are not able to take account of these situations.

RISK SITUATIONS FOR DCS

- Non-limit diving, repetitive dives
- Yo-yo dives (several ascents)
- Rapid ascents
- Disregard of decompression stops
- Physical effort/work
- Diving in cold water
- Deep dives
- Flying after diving

If we better understand the behavior of the body in risk situations of this kind, it is possible to react to the changed physiology (e.g., caused by cold, physical effort, bubble production) and to adapt the decompression rule.

The revolutionary model ZH-L δ ADT (ZH=Zurich, L=linear model for the supersaturation tolerances, δ =number of tissues, ADP=adaptive) described below originated from the wide experience of Prof. Bühlmann in diving medicine and our know-how in the simulation of physiological processes.

The calculation model used in Aladin dive computers is adaptive. That is it can adapt to various factors including actual diver behaviour.

THE DECOMPRESSION MODEL ZH-L δ ADT

Introduction

Decompression models for both tables and computers have not been altered for many years. Adjustments of the coefficients have certainly resulted in far shorter zero times and longer deco stops in individual diving computers and tables. According to our preceding analysis of decompression incidents, however, a further reduction of the supersaturation tolerances does not bring any significant increase in safety. On the contrary, users of so-called "safer" diving computers often pay only scant attention to consistent observation of the decompression times. We therefore decided to look for fundamentally new solutions. Numerous simulations and actual dives were necessary to optimize the new model and confirm its correctness. We shall examine several important points more closely below.

Changes in the circulation during diving

The illustration shows the human circulation system in schematic form. The majority of decompression models applied so far in practice make use of a number of compartments (tissues) connected in parallel. Each of these compartments (de)saturates in exponential form. As shown in the illustration, the blood supply per kg tissue volume normally decreases with increasing tissue number.

The rate of gas absorption/emission therefore differs for the various compartments. This so-called half-life characterizes this saturation rate. The assumption of a constant half-life for saturation of the tissues is not correct in all cases. If the blood supply of a tissue changes, e.g., by work, influence of cold or owing to micro gas bubbles flushed in the saturation or desaturation of the relevant tissue will also change. This has not previously been taken into account by any calculation model. Some diving computers do however calculate with a slower rate of desaturation in the surface interval and increase the half-life in this situation.

The supersaturation tolerance of the tissues is a measure of the pressure relief acceptable by a tissue without the formation of gas bubbles. The supersaturation tolerance is dependent on the half-life of the tissue, from which it can be derived [11]. "Rapid" tissues (e.g., central nervous system) have a greater supersaturation tolerance than slow tissues (e.g., cartilage, bone). If the saturation rate of a tissue changes, therefore, the supersaturation tolerance will also change.

Behavior of the body while working

Many conventional tables were developed assuming a mean work output while diving. Bühlmann selected 50 watts as a basis. It has long been known, however, that the decompression time can be longer if the diver works under water [6][7].

For the working diver the muscular tissues are better supplied with blood, resulting in increased saturation of these tissues. Other tissues are not affected by increased performance, including the central nervous system. Normally a diver rests during the decompression phase and the supply of blood to the muscular tissue attains the normal value again. The decompression phase must be prolonged in order to desaturate the more highly saturated muscular tissue. The average work output is usually less on the surface than during the dive. Desaturation of the muscular tissues therefore takes longer. This also leads to a lower supersaturation tolerance and therefore to a significant increase of the time required before flying.

Behavior of the body exposed to cold

A diver will become cold at different rates in cold water depending on the temperature, time, insulation of this suit and work. The body minimizes heat loss by contraction of the blood vessels in the skin (vasoconstriction) so that the core temperature of 37°C is retained as long as possible. The reduced blood supply to the skin leads to a slower saturation/desaturation of the skin tissues and alters their supersaturation tolerance.

The greatest skin cooling will normally be reached at the end of a dive during the decompression phase. At this time skin tissues desaturate more slowly than normal. The enriched nitrogen there requires far longer in order to leave the body again.

Determination of working performance and skin temperature and influence of the calculation model.

The performance produced by a diver during a dive can be measured by his air consumption [8]. In order to permit determination of the air consumption in l/min. (ctf/min.) by measuring the air pressure in the compressed air diving unit, the volume of the diving unit must be known. This information would have to be entered in the diving computer by the user. In order to exclude errors, we have developed a new process and applied for the patent, which directly determines the performance of the diver by means of his respiratory characteristic.

The temperature of the skin cannot be measured reliably during the dive in a reasonable and acceptable way. It would be highly impractical if every diver had to attach temperature sensors to his body before diving. We have therefore measured the skin temperature at various points in a series of tests with different test persons. From these we developed a calculation model for cooling of the skin.

The method can of course only be an approximation. The possibility of reducing the risk of skin symptoms without a disadvantage of any kind, however, justifies this process in our opinion.

Estimation of skin temperature only applies to divers in wet suits. We know from our own experience, however, that diving in dry suits increases the risk of skin and muscle problems. The dry diver therefore likewise profits from a consideration of the cooling effect.

When performance and skin temperature have been determined, the blood supply proportions to the relevant tissues can be altered accordingly. The blood supply proportions of various tissues and their variation are well known [9][10]. Tissue half-lives and supersaturation tolerances are dependent on these proportions [11]. The calculation model is therefore able to adapt the half-lives and supersaturation tolerances of the muscle and skin tissues independently of performance and cooling.

EXAMPLES

Two examples are provided to illustrate the effect of performance and temperature.

Example 1. Shows an example of the effect of working under water. Physical effort will lead to longer decompression if muscle tissues determine the decompression. Since the muscles have a relatively long half-life, the effect of work is mainly apparent during long dives and repetitive diving.



Example 2. Shows an example of the influence of cold. With decreasing water temperature and increasing duration of the dive, the decompression can significantly increase compared with the same dive in warm water. If several stops are called for, only the upper levels are normally affected by them since skin tissues are only controlling tissue there for the decompression.



Formation of microgas bubbles

All calculation models previously used in diving computers only take account of nitrogen in solution. These models calculate with a "sharp" limit between the nitrogen pressure tolerated and insufficient decompression. This limit was determined by tests with the incidence of symptoms of decompression sickness. It has long been known, however, that nitrogen can form bubbles in the tissue and the blood without the appearance of symptoms. The position and quantity of the gas bubbles determine whether micro gas bubbles produce symptoms of a decompression sickness or a gas embolism. Micro gas bubbles can occur during a dive at three different places in the body:

Micro gas bubbles in venous blood occur during and after practically every dive. These micro gas bubbles can be measured by the Doppler method. They are normally filtered out in the lungs.

Micro gas bubbles in the arterial blood occur following too rapid an ascent (arterial gas embolism). These gas bubbles can be dangerous since they can reach the central nervous system directly. Once in the tissue these bubbles cause symptoms of decompression sickness.

Micro gas bubbles in the tissue occur during and after insufficient decompression. They cause the classical decompression sickness.

Calculation of bubble production

For a bubble to exist in the body of a diver it must withstand the ambient pressure, surface tension and mechanical and hydrostatic pressure of the relevant tissue. If, therefore, a bubble is to be produced, the pressure inside the bubble must be greater than the sum of all the surrounding pressures. The theory of this bubble development is extremely complex. Algorithms have been developed for the calculation of bubble formation [12][13], but these are so complicated that they cannot be implemented in a diving computer. We have now found a simplified method of predicting approximately the occurrence of micro bubbles in the blood. The algorithm is largely dependent on the nitrogen partial pressure, the ambient pressure and the blood pressure. The optimum rate of ascent can also be determined with the algorithm for formation of bubbles in the arterial circulation. This provides a relatively high speed at deeper depths, which should be limited to 20 m/min. (65 ft/min.) for practical reasons. Below the surface the rate of ascent is reduced to 7 m/min. (20 ft/min.) which also contributes toward a reduced production of bubbles in the venous circulation.

A test of the model taking account of known incidents with arterial gas embolism is possible to some extent for bubbles in the arterial circulation. Unfortunately, the data from those concerned must nearly always be relied on for determination of the relevant diving profile. Micro gas bubbles in the venous circulation can be demonstrated by means of ultrasonic Doppler measurement. We have compared our model with experiments [14] and investigations of Comex. Good agreement between model and experiment was found.

DAN Europe has begun a research project with our participation on the subject of bubble production in the venous circulation. It will be interesting to compare the results of this study with our model.

The influence of microbubbles in the venous circulation

Bubbles occur primarily in the venous circulation after surfacing and during the following three to four hours on the surface. They migrate to the lungs, where they collect in the capillaries and obstruct the exchange of gas. This effect is termed an intrapulmonary right-left shunt. The situation causes an alteration of the arterial

nitrogen pressure.

The shunt will increase as long as the supply of bubbles in the venous blood is higher than the breakdowns of bubbles in the lungs. It attains its maximum 10 to 30 minutes after surfacing.

The reduction of bubbles in the lungs is then greater than their production and the shunt decreases again. After two to four hours practically all bubbles have disappeared in the capillaries. During the desaturation phase the venous nitrogen pressure is greater than the inspirational. The arterial nitrogen pressure is therefore raised, which results in a slower desaturation. It is interesting, above all, that no decompression dives in depths greater than 30 meters (100 ft) -- taking full advantage of the no decompression time -- produce a relatively high shunt in a given time. Rapid tissues supply many micro gas bubbles in a given time with high pressure gradients. For dives with long decompression times, the rapid tissues are already well desaturated with the ambient pressure still relatively high. This causes a smaller number of micro gas bubbles per time after the dive -- the shunt becomes smaller!

The intrapulmonary shunt is particularly high if several dives are made in succession with brief intervals on the surface. Since the gas bubbles from the previous dive are not yet fully decomposed, the bubbles accumulate during each additional dive. The shunt becomes greater with each dive. With increasing number of bubbles in the pulmonary capillaries the probability of bubbles being flushed through the lungs into the arterial circulation also increases. Micro gas bubbles entered via the lungs behave like bubbles produced in the arterial circulation. They can cause symptoms of arterial gas embolism and decompression sickness.

Influence of micro gas bubbles in the arterial circulation and tissues.

Gas bubbles in the arterial circulation are dangerous, since they can be flushed into tissue with good blood supply, for example the spinal cord or brain. Micro gas bubbles can block capillaries in tissue and exert a local influence on the gas exchange. It is then irrelevant whether the bubbles are produced in the tissue or have been flushed from the arterial blood. The diffusion paths for the nitrogen molecules become longer and the damaged tissue behaves like a tissue with a longer half-life. In addition, however, the supersaturation tolerance becomes lower. This increases the probability that further bubbles are produced in the tissue. If the decompression rule is adapted to the new situation, the additional gas bubble formation can be prevented and a desaturation ensured corresponding to the changed situation.

If micro gas bubbles are calculated in the arterial blood and the tissues, the calculation model will delay the desaturation of the relevant tissue and reduce the supersaturation tolerance in order to give the remaining inert gas the necessary time for desaturation. In these situations this leads to significantly shorter no decompression times and any decompression stops may begin at lower levels and last longer.

EXAMPLES

It is known that several short, deep dives with brief intervals can be problematic[15]. Dives of this kind produce a considerable shunt. There is therefore an increased risk of bubbles being flushed into the arterial circulation.

1. A comparison between the ZH-L6 calculation model and the new ZH-L8ADT model shows the influence of considering the bubbles in the arterial circulation. We consider six successive dives to 30 meters (100 ft) of 16 minutes each with an interval of 75 minutes. The first dive is a no decompression dive.

For the first dive, the decompression rules differ only very slightly, while for the following dives the total ascent times differ by up to a factor of four.

2. The second example refers to a rescue exercise. A diving instructor performs two to three successive ascents with his students. Inexperienced students quickly attain a speed of 30 m/min (100 ft/min) in ascents of this kind.

The no decompression for the first ascent is identical, following the second ascent the decompression

rule of the ZH-L8ADT is clearly more conservative. After the second ascent it even indicates a decompression stop at three meters (10 ft). After the third ascent the model indicates a stop at 3m (10 ft)/7. The ZH-L6 model still does not call for a decompression stop for this situation. The desaturation time now lies at 43h compared to 8h, since the existence of micro gas bubbles in the tissues is now anticipated.

Most divers know that extreme situations of this kind must be avoided. Nevertheless, divers of this kind are made. In this case the new calculation model is able to adapt to the unusual situation and can possibly prevent damage.

THE ZHL8-ADT CALCULATION MODEL IN THE ALADIN AIR-X DIVING COMPUTER REQUIREMENTS OF THE HARDWARE

A computer intended to take account of the possibilities of the new calculation model must

comply with certain requirements. The main component is a modern single chip microprocessor with a large program and data memory. The storage capacity of this chip must be significantly larger than before, since there is substantially more to calculate and store.

Water pressure and temperature are measured with sensors and processed in an ASIC (customized integrated circuit). The resolution of the pressure signal is approximately 1 cm (0.4 inch) water column. The rate of ascent can therefore be determined quickly and accurately. The cylinder pressure must also be measured with a very high resolution, so that a single breath can be detected. The cylinder pressure is required on one hand to determine the work performed. On the other hand the diver can be given a remaining "air time" in this way. A further temperature measurement is necessary here in order to compensate the cylinder pressure dependent on the water temperature at a constant temperature. The formula of Boyle-Mariotte is too inaccurate for the high cylinder pressures; calculation must be made with the real gas equation. In order to permit correct indication of the remaining "air time," the air requirement for the ascent must be taken into account in advance, in addition to a reserve at the end of the dive. A change in air time also alters the decompression and therefore the air required for the expected ascent. Correct calculation of air time for a decompression dive is therefore associated with considerable calculation. It must be possible to measure the water temperature at the relevant time in order to calculate the cooling of the skin correctly. The water temperature is also important in the decompression zone for forecasting the decompression, since otherwise the prediction for the decompression can be wrong. This demands a very rapid temperature measurement during diving, which is only possible with considerable effort. All important data can be stored in a memory to analyze the dive (e.g., during training). Following the dive the information can be transferred to a PC via an interface for further evaluation.

PRACTICAL EFFECTS OF THE ZH-L8ADT CALCULATION MODEL WHEN DIVING WITH THE ALADIN AIR INDIVIDUAL DIVES

In warm water and without risk situations the no decompression and deco times are on average roughly the same as before. For deeper dives the no decompression times are slightly longer and the decompression times shorter owing to the greater rate of ascent. For dives in cold water and with physical effort during the dive, no decompression and decompression times can be more conservative than before dependent on the diving profile. If the rate of ascent is greatly exceeded and in the event of any disregard of a decompression stop, the no decompression time can be far shorter and the decompression clearly longer and deeper.

The desaturation time and no fly time are generally longer owing to consideration of the right-left shunt and reduced physical effort on the surface. The no fly time can last several hours with short dives and can be more than 24 hours following extremely long dives. The flying prohibition times therefore agree relatively well with the recommendations of UHMS (Undersea and Hyperbaric Medical Society).

REPETITIVE DIVES

The right-to-left shunt in the lungs naturally also slows down the desaturation between dives.

With high shunt, bubbles can be flushed into the arterial circulation. This can exert a local influence on desaturation of the tissues and their supersaturation tolerance. The cooled skin and reduced work at the surface further slow down nitrogen emission in the skin and muscle tissues. The influence of these effects on the following dive cannot be generally predicted. It depends on the prehistory, on the current diving profile and on the instantaneous boundary conditions, such as work, water temperature and diving technique. A combination of unfavorable influences will noticeably affect the no decompression and decompression time indications.

Potential of the Calculation Model

The ZH-L8ADT is the first calculation model able to respond to risk situations. Many of these risk factors become understandable when the processes in the body of a diver can be better simulated. The numerous influences on the decompression of the diver make the model complex. Calculations must be performed directly during the dive, so that the model is suitable above all for diving computers.

It is obvious that conventional computers are not made obsolete with the introduction of this new unit. Divers who are often faced with risk situations, however, are better served with diving computers using the ZH-L8ADT model. If the diving computer is provided with a "dive recorder," a dive can be analyzed later. This permits on one hand a better diagnosis in the event of a diving accident, but is above all of incalculable value for diving instruction. Fig. 11 shows the diving profile of an actual dive. The diving profile and the warnings by the Aladin Air-X can be seen for the entire dive. The indications given by the Aladin Air-X, current influencing factors, such as physical effort, cooling of the skin and estimated bubble volume in the arterial circulation, approximate air consumption and the saturation situation can be read for any desired point in the diving profile. The dive can be recorded in an "electronic" log book in a PC.

The Aladin Air-X will make a contribution to safer diving. It can react to errors made by the diver, but also promotes a low-risk diving technique. Safety can be improved by avoiding risk situations and where this is not possible by taking account of these situations in an adapted decompression rule.

It is the job of clubs and diving instructors to develop the sense of responsibility of the diver during training. Diving computers can, however, be "more intelligent" and reduce the risk in many situations.

LITERATURE

1. 1991 Report on Diving Accidents & Fatalities, Divers Alert Network, Durham (NC) USA
2. Marroni, A (1992), Diving Habits and Diving Accidents in a Recreational Diving Population in Italy, Proceedings of the Joint Meeting on Diving and Hyperbaric Medicine (EUBS), Basel
3. BSAC NDC Diving Incidents Report 1992 BSAC (UK)
4. R.E. Moon, E.M. Camporesi, J.A. Kisslo, Patent foramen ovale and decompression sickness in divers, *Lancet* 1989/I S. 513-514
5. S. J. Cross, S. A. Evans, L.F. Thomson, H.S. Lee, K. Jennings, T. Shields. Right to Left Shunts in Neurological Decompression Sickness. XVIIIth Annual Meeting of EUBS 1992, Basel, Switzerland
6. Lanphier E.H. and Camporesi E.J. (1982), *Respiration and Exercise in the Physiology and Medicine of Diving* 3rd Edition, Ballière Tindall, London
7. Schibli R.A. and Bühlmann, A.A. (1972), The Influence of Physical Work upon Decompression Time after Simulated Oxi-Helium Dives. *Helvetica Medica Acta* Vol 26, Nr. 4
8. Lanphier, E.H. (1954) Oxygen Consumption in Underground Swimming, US Navy Experimental Diving Unit (NEDU), Washington, D.C., Formal Report 14-54
9. Bühlmann, A.A. & Froesch, E.R. (1989) *Pathophysiologie*, 5. Edition, Chapter 2.1.3, Springer-Verlag Berlin
10. Webb, P. (1982) *Thermal Problems in: The Physiology and Medicine of Diving*, 3rd Edition, Ballière Tindall, London

11. Bühlmann, A.A. (1993) Tauchmedizin, Springer-Verlag, Berlin
12. Van Liew, H.D. (1991) Simulation of the Dynamics of Decompression Sickness Bubbles and the Generation of New Bubbles, Undersea Biomedical Research, Vol. 18, No. 4
13. Vann, R.D. (1982) Decompression Theory and Applications in the Physiology and Medicine of Diving, 3rd Edition, Ballière Tindall, London
14. Balldin, U.I. 1980 Venous Gas Bubbles while Flying with Cabin Altitudes of Airliners or General Aviation Aircraft Three Hours after Diving. Aviat. Space Environ. Med 51(7):649-652
15. Lewis, John E. 1991 Dive Computers and Multi-Level, Multi-Day Repetitive Diving, in Proceedings of Repetitive Diving Workshop, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina
16. Undersea and Hyperbaric Medical Society (1989) Flying after Diving Guidelines for Recreational Divers, Proceedings of the 39th UHMS Workshop, Bethesda

Which are the compartment half times of the decompression calculation model ZH-L8 ADT and which are the related tissues?

When do risk factors influence decompression?

How is the no flight time calculated?

What is the allowed ascent speed for the Aladin computers?

What happened, if an Aladin dive computer is diving at surface?

My buddy and me have both Aladin computers. We dived together and had big differences in no decompression time / decostops. What is the reason?

I have switched off the Alarms with DataTalk. Nevertheless, my Aladin still warns me in some cases with the buzzer. Why?

Why is the diver's effort not influenced by the tank size?

Why is it necessary to compensate the tank pressure for temperature changes?

Are Underwater Strobes a problem for wireless tank pressure transmission?

What is the maximum tank pressure for the air integrated Aladin's?

How do I adjust the gas mix for semiclosed rebreathers (SCR)?

How is the gas consumption calculated?

My data transfer to the PC is not working (DataTrak for DOS). What are possible reasons?

Why does the save dialogue box appear on leaving DataTrak for Windows, even if I didn't change anything?

Why do I need a MemoMouse for Windows for DataTrak for Windows?

How can I transfer dive data to the PC if the dive computer shows "SOS"?

I have downloaded my dive computer to DataTrak but the time displayed in DataTrak is not the time I did the dive.

ZH-L8 ADT Decompression Calculation Model

Which are the compartment half times of the decompression calculation model ZH-L8 ADT and which are the related tissues?

The nominal compartment half times are:

- Compartment 1: 5 minutes (kidney)
- Compartment 2: 10 minutes (stomach, bowels, liver, central nervous system)
- Compartment 3: 20 minutes (central nervous system, liver, stomach, bowels)
- Compartment 4: 40 minutes (skin)
- Compartment 5: 80 minutes (skin, muscles, heart)
- Compartment 6: 160 minutes (muscles)
- Compartment 7: 320 minutes (muscles, joints, bones, fat)
- Compartment 8: 640 minutes (fat, joints, bones, rest)

The compartments can adapt their compartment half times and their supersaturation coefficients depending on their perfusion rate (workload, skin cooling) and on the estimated amount of microbubbles in the tissues.

When do risk factors influence decompression?

The human body consists of hundreds of different types of tissues. Each tissue has its own saturation/desaturation speed and supersaturation tolerance. While doing a decompression (i.e. a pressure decrease), some of the tissues are close to form microbubbles (leading tissues), others are far away from this point. The indicated no decompression time or decompression stop(s) depends on the tissues that are close to form microbubbles.

A risk situation influences the decompression, if the leading tissues are affected by the risk situation or if a non leading tissue will become a leading tissue through the risk situation. For example, if the skin tissues are leading tissues and if you do a cold water dive, the decompression is influenced by the cold water.

The following guidelines can give you an idea, when a decompression influence is likely:

- Deep and relatively short dives will be influenced mainly by microbubble build-up. Fast ascents, yo-yo-diving and doing the deepest depths at the end of the dive will increase decompression stops and decrease no decompression time.

- The decompression of very long dives and repetitive dives is influenced, if the diver works hard (current) or if the water is cold. Skin or muscle tissues are usually the leading tissues for this type of dive. These tissues are affected by work or/and cold water.
- The decompression of repetitive dives can be affected by a surface interval that is too short (non limit diving). Microbubbles can accumulate in the lungs which will influence gas exchange. The more microbubbles are in the lungs the greater the chance to get an arterial gas embolism.

It's clear now, that it is very unlikely that the decompression of a short deep and single dive is influenced by cold water or work.

How is the no flight time calculated?

Air crafts with a pressurised cabin usually fly with a cabin pressure around 800 hPa (which is equal to an altitude of about 2'000m/6'500ft). Nevertheless, pressure can drop to 600 hPa until the oxygen masks are ejected. The ZH-L8 ADT model uses a worst case scenario of 550 hPa (4'850m/15'900ft) for the no flight time calculations. Furthermore, it assumes that the diver is at rest before and during his flight. This slows down desaturation and results in lower supersaturation tolerances for muscle tissues.

A sudden and complete loss of the cabin pressure to the ambient atmospheric pressure of 250 hPa (cruising altitude above 10'000m/33'000ft) is very unlikely and would force the pilot to reduce his altitude to may be 2'000m/6'500ft in a very short time. This situation has therefore not to be considered by the calculation model.

General Questions concerning Aladin Computers

What is the allowed ascent speed for the Aladin computers?

Aladin's have a variable ascent rate. Depending on the depth, the allowed speed is optimised for best comfort, low nitrogen saturation and low microbubble forming. The following table shows you the ascent speed in relation to depth:

depth [m]:	<6	<12	<18	<23	<27	<31	<35	<39	<44	<50	>50
speed [m/min]:	7	8	9	10	11	13	15	17	18	19	20
depth [ft]:	<20	<40	<60	<75	<88	<101	<115	<128	<144	<164	>164
speed [ft/min]:	23	26	30	33	36	43	49	56	59	62	66

What happened, if an Aladin dive computer is diving at surface?

Aladin dive computers monitor the ambient pressure all the time, even if the instruments is in sleep mode. Altitude changes can be recognised this way and the instrument is able to accurately calculate the tissue saturation according to the air pressure. The monitoring of ambient pressure is also used to switch on the instrument or to switch to dive mode, if the computer is submerged. In some very clear mountain lakes, the water conductivity is near to distilled water (very low conductance) and the water contacts would not function properly.

If the computer is diving at surface, the instrument was kept usually in an air-tight container and could not monitor air pressure changes. If the container is opened, the pressure can increase very fast - similar to a pressure increase in the water. In such a situation, the Aladin will assume that a dive starts and will switch to dive mode.

My buddy and me have both Aladin computers. We dived together and had big differences in no decompression time / decostops. What is the reason?

The following situations could have caused the difference:

- The "history" of the two divers is not identical. If the two divers did not dive identically before, the decompression information can be different.
- The ascent rate was not recognised by one of the divers. Microbubble formation would occur in this situation and the calculations would determine a more conservative decompression.
- A decompression stop was neglected by one of the divers. Microbubble formation would lead to a more conservative decompression.
- The two divers did not breathe in the same way. If one of the divers was stressed (novice) or did move harder than the other, the ZH-L8 ADT calculation model will influence the saturation/desaturation of the muscle tissues (only for air integrated computers).

I have switched off the Alarms with DataTalk. Nevertheless, my Aladin still warns me in some cases with the buzzer. Why?

If you switch off the buzzer, the alarms for ascent speed violation, decompression violation and RBT violation are not affected. These alarms are too important to switch off!

Aladin Air Integrated Computers

Why is the diver's effort not influenced by the tank size?

For a fixed air consumption, the decrease of the tank pressure depends on the tank size. Of course, effort has to be independent of the tank size. Therefore, a simple measurement of tank pressure is not sufficient for a reliable work load determination.

Aladin air integrated dive computers use a unique, sophisticated (and patented) work load determination that is not influenced by the tank size. The measurement system does not only track the pressure decrease (which is of course necessary for the RBT calculations), but the device can find out, how the diver is breathing. The diver alone is responsible for the way of breathing - and therefore the workload determination is not influenced by the tank size.

Why is it necessary to compensate the tank pressure for temperature changes?

As the temperature of a tank changes, a pressure gauge will show a pressure change in the tank. This effect is for example visible after filling a tank or if a warm tank is submerged in cold water. Most divers know this effect and may be they had to learn the Law of Guy-Lussac to calculate pressure changes for a given temperature change. As described earlier (Question: Why is the RBT not influenced by the tank size?), a normalised pressure consumption (NPC) is used for the RBT calculations.

If the measured pressure would not be compensated for temperature, the NPC could be influenced by the temperature and the RBT could be wrong. Also, the workload determination could be influenced by this temperature effect. For certain conditions, the uncompensated tank pressure can even increase while the diver is breathing. Such a situation can happen for example in a fresh water lake. During summertime, there are thermoclines with a temperature difference of 10°C (18°F) or more which can be the reason for a pressure increase!

As you can see, an accurate temperature compensation is essential. But the Law of Guy-Lussac is not accurate enough. Van-der-Waal's law (the universal gas equation) describes, how the compensation for temperature has to be done accurately. A reference temperature for the compensation is necessary and room temperature (20°C/68°F) was chosen for that. You can find a diagram for the pressure conversion to other temperatures in the instruction manual.

Are Underwater Strobes a problem for wireless tank pressure transmission?

Some flashlights can temporarily disturb the transmission of the tank pressure. These flashlights have a high emission of electromagnetic waves during capacitor charging. Usually, the problem is not severe, because the normal operation of the computer is not affected and loss of tank data is not permanent. The following models can (but must not) disturb the transmission: Nikon SB104, Sea & Sea YS50. We can give you the following advice:

- Make sure that the transmitter is mounted exactly according to the operating manual.
- Wear the wrist computer on the opposite wrist and adjust the transmitter accordingly (important!).

From our experience, one of these points will solve the problem.

What is the maximum tank pressure for the air integrated Aladin's?

The wireless computers (Aladin Air X, Aladin Air X Nitrox) are limited to a maximum tank pressure of 255 bar/3690 psi. If the tank pressure exceeds this maximum pressure, 255 bar/3690 psi will be displayed. For the console instrument (Aladin Air), there is no restriction to 255 bar/3690 psi. This computer can be used with 300 bar/4350 psi equipment.

Aladin Nitrox Computers

How do I adjust the gas mix for semiclosed rebreathers (SCR)?

A semiclosed Nitrox rebreather uses a constant gas flow with a premixed Nitrox. Depending on the diver's breathing rate, the oxygen content in the inhaled gas will be a little lower than in the premix. For a normal dive without exertion of the diver, the effective oxygen content in the breathing gas will be about 3-5% below the value in the premix. If the diver swims hard or if there is some other effort, the effective oxygen content in the breathing gas can be closer to air than to the premix. Therefore, it is hard to give a universal answer.

For a normal dive, the oxygen content can be set to 4/5 (80%) of the premix. For this case, you are on the safe side for the decompression calculations. Our suggestion is to set the pO₂ warning to 1.4 bar with DataTalk and to observe a maximum CNS% of 75% for optimal security. Avoid to make some effort for a time longer than 2-3 minutes!

DataTrak / DataTalk / Interface

How is the gas consumption calculated?

Gas consumption is calculated from the pressure difference between the start and end of a dive (temperature compensated), the dive

profile and the workload during the dive. To get a comparative number, the gas consumption is normalised to 1 bar ambient pressure and 37°C (98°F) body temperature. Because of different small deviations from the real dive (dive profile is only logged in 20s steps, workload is measured from the breathing pattern and more), the gas consumption is a good estimate, but not an exact number.

My data transfer to the PC is not working (DataTrak for DOS). What are possible reasons?

Use the following checklist to analyse the problem:

- You cannot use the mouse and transmission is not working: In this case, wrong setting in Options / Transfer are most likely the reason for the problem. Change the settings and exit and restart DataTrak.
- You can use the mouse, but there is no transmission possible: You might have a problem with your hardware. It could be a damaged or incomplete COM port or a problem with the BIOS version (for example Compaq Aero). Install a mouse on the COM port you would like to use for the DataTrak interface. If the mouse doesn't work on this COM port, the interface won't work either! Contact your hardware dealer in this case.
- The message "an error occurred during transmission" appears frequently after transmission of the dive computer data. It is possible that your system is too slow to handle the loaded software drivers and the transmission at the same time. Try to optimise your AUTOEXEC.BAT and CONFIG.SYS (for example do not install unnecessary drivers). If this doesn't help, use the /A parameter (alternate transfer mode) to start DataTrak. Using the parameter /A will disable all unnecessary software drivers for the time of the data transfer. Because the mouse driver is also disabled, it is only possible to cancel the transmission with a keystroke.

Why does the save dialog box appear on leaving DataTrak for Windows, even if I didn't change anything?

DataTrak automatically calculates the saturation of the tissues and the decompression information for each data point of the dive on the screen. The minimum no decompression time or the maximum decompression time respectively is stored in the logbook file. If you look up a dive for which this data was not previously calculated and stored, you will be asked to save the logbook file when you exit DataTrak, even if you didn't change anything during the DataTrak session.

MemoMouse

Why do I need a MemoMouse for Windows for DataTrak for Windows?

The MemoMouse for Windows has three functions beside its storage purpose:

- The data which is transmitted from your dive computer to the PC cannot be reliably read under the Windows Operating System. The System was originally designed for DOS. Our data protocol caused timing problems under Windows that could not be solved. The only way to get a reliable data transmission was to establish a new data protocol for the Windows operating system. The MemoMouse therefore acts as a protocol converter for Windows.
- DataTrak for DOS used a special Interface cable to read the data from the dive computer. Electronics had to be added to this cable. The MemoMouse for Windows includes these electronics.
- The MemoMouse for Windows is used as "hardware key" to protect our software from uncontrolled use. On the other hand, the software is freeware and updates are available free from our Internet site.

Incident procedures

How can I transfer dive data to the PC if the dive computer shows "SOS"?

During SOS mode, the contacts do not allow to operate your dive computer. To ensure data transmission in case of an emergency, the Aladin dive computers transmit their logbook and profile data approx. every minute without any manual operation. Just prepare DataTrak to receive data and plug in the Interface cable correctly into the Aladin's contacts. Within the next minute you should be able to see the data on your PC!

I have downloaded my dive computer to DataTrak but the time displayed in DataTrak is not the time I did the dive.

There are two possibilities for this occurrence:

1. The PC's sytem time is used as a reference to determine the start time of the dive. If the system time is not correct, the time of the dive will also be wrong. Solution: Adjust the PC sytem time.
2. The dive was made in another time zone. Solution: Enter the proper time zone adjustment using DataTrak.