1987

# * * * DIE MEDIZINISCHE ECKE * * *

## Tauchtabellen: Aus dem Blickwinkel des Sporttauchers

von Dr. Raymond E. Rodgers, *UJ* 1984

Die U.S. NAVY Tauchtabellen sind so alt, daß sie bereits existierten, bevor das Tauchtraining für nahezu jedermann zugänglich wurde und sind sicherlich nicht als der Weisheit letzter Schluß und außerhalb jeder Diskussion anzusehen. Vor langer Zeit, während der Entwicklung der Sicherheitsstandards, übernahm die Tauchindustrie die NAVY Tabellen. Diese Entwicklung war durchaus logisch, weil: 1) Die NAVY viel Erfahrung, Forschungsergebnisse und Ansehen hatte; 2) Die neue Industrie keine Forschungskapazitäten hatte und 3) die ersten zivilen Tauchlehrer und Tauchshopinhaber überwiegend Ex-NAVY-Taucher waren.

Bis zum heutigen Tag hat sich diesbezüglich wenig geändert. Die Tauchschüler werden in den NAVY Tabellen unterrichtet, die Ausbilder bestehen auf ihrer Anwendung und tolerieren keinerlei Abweichung. Unglücklicherweise sind die NAVY Tabellen nicht relevant für Sporttaucher. Dies heißt nicht, daß die Tabellen falsch sind; sie sind ganz einfach nicht übertragbar. Die NAVY war in ihrer Zielsetzung erfolgreich - der Entwicklung von Dekompressionstabellen. Der Fehler liegt darin, diese Tabellen für Nullzeittauchgänge beim Sporttauchen zu übernehmen. Dies resultiert nicht nur in einem Mißbrauch der NAVY Forschungen, sondern mißbraucht auch die Absicht dieser Tabellen. Die NAVY Tabellen sind Hilfsmittel, die einen speziellen Zweck verfolgen und korrekt angewendet werden sollten. Die NAVY Tabellen werden richtig genutzt von Tauchern während Dekotauchgängen; sie beabsichtigten niemals den Gebrauch durch Sporttaucher bei Nullzeittauchgängen.

Beweise für den Mißbrauch der NAVY Tabellen finden sich häufig. Viele Wiederholungstauchgänge müssen laut Tabelle abgebrochen werden - obwohl der Taucher unter Umständen noch genug Luft übrig hat. Trotzdem treten häufig Fälle von Dekompressionskrankheit auf, auch bei Beachtung der Tauchtabellen. Im Gegensatz dazu werden die Tabellen von vielen Tauchern ungestraft mißachtet. Solche Ungereimtheiten, normalerweise als "individuelle Abweichungen" oder "Unterschiede in der Physiologie" beiseite geschoben, schreien geradezu nach Erläuterung. Was gebraucht wird sind Tabellen, die Sicherheit nahezu immer garantieren (nichts ist perfekt) und gleichzeitig eine Grundzeitstrafe vermeiden, die keine wissenschaftliche Rechtfertigung hat.

Die gegenwärtige Forschung deutet darauf hin, daß die NAVY Tabellen für Einzeltauchgänge überaus großzügig (und damit potentiell gefährlich), für die meisten Wiederholungstauchgänge jedoch überaus einschränkend sein können.Basset hat diesen ersten Punkt durch die Verwendung niedrigerer Austauchverhältnisse (Unterschiede zwischen Druckentlastungen) angesprochen, welche auf Forschungstechnologien basieren, die 1955, als die Tabellen anfänglich entwickelt wurden, noch nicht existierten. Der zweite Punkt - die übermäßige Einschränkung bei Wiederholungstauchgängen - muß unter Berücksichtigung einiger grundlegender Untersuchungen bezüglich des Aufbaus der Tabellen betrachtet werden:

1. Die NAVY Arbeiten, auf denen die Tabellen basieren, beinhalten einen hartnäckigen, mathematischen Fehler. Dieser Fehler ist gering und möglicherweise unbedeutend, aber nachweisbar. Da ein Großteil der Berechnungen ohne die Hilfe von Computern erstellt wurden, waren menschliche Fehler zu erwarten.
2. Der NAVY Ansatz zur Entwicklung der Tabelle ist dahingehend irreführend, als er nicht mit der Zeit arbeitet, die jede Wiederholungsgruppe benötigt, um ihren maximalen Druck zu erreichen. Sie beschränkt sich statt dessen auf die sogenannte "120-Minuten-Halbsättigungszeit". Da die Wiederholungsgruppen willkürlich beschränkt wurden und eine ziemlich große Zeitspanne umfassen, treten viele Ungenauigkeiten und Anomalien auf.(Das klassische Beispiel sind Tauchprofile, bei denen der Zeitzuschlag die totale Grundzeit des vorherigen Tauchganges übersteigt.)

welches ?

Eine Neuberechnung der Tabellen ist durchaus möglich und nicht einmal schwierig, sie wäre aber lediglich Schönfärberei. Das Hauptproblem, die Kombination ungleicher Größen, wäre damit nicht beseitigt. Es ist falsch, den Zeitzuschlag, der auf einer bestimmten Halbsättigungszeit beruht, zu einer neuen Grundzeit zu addieren, die auf einer anderen Halbsättigungszeit beruht.

Dwyer, DesGranges und andere, legten den Tabellen das 120 Minuten Halbsättigungs-Gewebe zugrunde. Dies war für sie ein gültiger Ansatz, da sie mit langen, tiefen Beispielen arbeiteten, die aus Sättigungstauchgängen resultierten. Tatsächlich war ihre spezielle Definition der Nullzeitgrenzen eine "Hintertürberechnung" des Endpunktes der Dekompression.

Unglücklicherweise stellt das langsame 120-Minuten Gewebe, auf dem die Tabellen beruhen, nicht das kontrollierende Gewebe für jedes Tauchprofil eines Sporttauchers dar. Die Grenzen, die für Sporttaucher festgelegt sind, beruhen auf mittleren und schnellen Geweben. Die Lösung zur Vermeidung von übermäßigen Beschränkungen bei Wiederholungstauchgängen ist einfach - Berechne die Tabellen unter Verwendung des Orginalformats neu, aber lege dieser Neuberechnung Gewebe zugrunde, die den Tauchgang tatsächlich kontrollieren.

Die NAVY beschäftigte sich lange mit Gewebe-Halbsättigungszeiten in einer geometrischen Progression von 5, 10, 20, 40, 80 und 120 Minuten. Die letzte Zahl sollte eigentlich 160 sein, dieser Sprung wurde jedoch für zu groß befunden.) Die Untersuchungen des Autors wurden mittels Computeranalyse der 30-, 60- und 100-Minuten Gewebe vorge-nommen. Die Folgerungen daraus waren: Sogar das 100-Minuten Gewebe war unbedeutend im Zusammenhang mit Sporttauchen; das 30-Minuten Gewebe war sehr wichtig; und das 60-Minuten Gewebe war der weiteren Betrachtung wert.

Der Idealfall wäre, jede Kombination von Tauchgängen mit jeder Art von Geweben zu kalkulieren. Dies würde die größtmögliche Sicher-heit und die längsten Grundzeiten garantieren. Diese Methode ist jedoch ohne einen Tauchcomputer, wie dem kürzlich auf dem Markt vorgestellten, undurchführbar. Bis jetzt bevorzugen viele Taucher, trotz der Fortschritte bei Computeranwendungen, immer noch den Gebrauch der preiswerteren Tabellen für ihre Sicherheit bei Wiederholungstauchgängen. Aus diesem Grund wäre es von entscheidendem Vorteil, realistischere Tabellen für den Sporttaucher zu entwickeln. Alle Tabellen beinhalten Kompromisse und sind nicht perfekt, die beste Tabelle wäre jedoch eine, die größtmögliche Grundzeiten in Verbindung mit maximaler Sicherheit erlaubt.

Man könnte sicherlich behaupten, daß das einzig wichtige Gewebe jenes ist, das Sättigung erreicht hat, und daß kein Gewebe untersucht werden muß, wenn es keine Beschränkungen verursacht. Man könnte ebenfalls behaupten, daß eine Wiederholungstauchtabelle, die auf einem vorgegebenen Gewebe basiert, auch für alle schnelleren Gewebe sicher ist (insoweit die Nullzeitgrenzen für Einzeltauchgänge sicher sind). Die einstweiligen Schlußfolgerungen müssen wie folgt gezogen werden:

1. Die Entwicklung von Tabellen für Wiederholungstauchgänge muß auf dem langsamsten Gewebe basieren, das für den Tauchgang maßgebend ist.
2. Tauchtabellen dienen ausschließlich der Bequemlichkeit. Es ist möglich, jedoch unpraktisch, jeden Tauchgang ohne die Hilfe eines Computers zu berechnen.
3. Im Interesse der Sicherheit ist ein einfacher Standard nötig. Tabellen sind daher von wesentlicher Bedeutung, obwohl sie weniger genau sind als Computerberechnungen.
4. Die Tabellen müssen sicher sein und realistisch sondieren. Sollte ein Irrtum auftreten, so muß dieser auf der sicheren Seite sein, es besteht jedoch kein Grund zur Verwendung vom unrealistischen Kriterien.
5. Unter korrekter Beachtung der für einen Tauchgang maßgeblichen Gewebe, kann man sichere Tabellen entwickeln, die die Grundzeit effektiv verlängern und gleichzeitig die Sicherheit erhöhen.

Die Computeranalyse des Autors hat gezeigt, daß für nahezu alle Situationen das 40-Minuten Gewebe (oder ein schnelleres) maßgeblich ist für Dekrompressionsüberlegungen; für einige wenige Profile ist jedoch das 60-Minuten Gewebe entscheidend. Die Sicherheit verlangt die Verwendung des langsamsten Gewebes, welches maßgebend sein könnte. Deshalb müssen neue Tabellen auf dem sichereren 60-Minuten Gewebe basieren.

Wie können nun Tabellen entwickelt werden, die sowohl die Grundzeit als auch die Sicherheit erhöhen? Zum ersten könnten neue Nullzeitgrenzen festgelegt werden. Insbesondere die bereits früher in dieser Rubrik befürworteten von Bassett (zweites Quartal 1982). Die Annahme dieser Grenzen würde keinerlei Beschränkungen nach sich ziehen, denn in den meisten Fällen ist der Luftverbrauch des Tauchers der begrenzende Faktor und nicht die Nullzeitgrenze. Die restlichen Überarbeitungen der Tabellen, die auf den in diesem Artikel vorgestellten Konzepten beruhen, würden auf nichts anderes hinauslaufen als auf eine "Neuzuweisung der Grundzeiten" bei gleichzeitiger Herabsetzung der Grenzen, wo es nur wenig ausmacht, und einer Erweiterung der Grenzen dort, wo es notwendig ist.

Alles hier beschriebene ist sicherlich Gegenstand weiterer Diskussion. Tatsächlich gibt es Leute, die in keiner Weise mit dem Modell von Haldane übereinstimmen. Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit sind die in diesem Artikel beschriebenen Konzepte genauso gültig wie alle in den NAVY Untersuchungsberichten beschriebenen, da die Forschungen des Autors auf der NAVY Methodologie basieren. Sollten deshalb die in diesem Artikel enthaltenen Konzepte ungültig sein, dann ist das gesamte Haldanesche Modell ungültig. Die Schlußfolgerung ist demnach, nicht das Konzept zu verwerfen, sondern es zu verbessern.

# * * * KOLUMNE DES HERAUSGEBERS * * *

## Anmerkungen zu Dekompression, DSAT-Forschung und Doppler

von Drew Richardson, Training Director, PADI, *UJ* 4/88
Herausgeber des Undersea Journal

Dekompression ist von höchst komplexer Natur. Je mehr Wissenschaftler darüber erfahren, desto mehr vermeiden sie präzise Erklärungen. Viele Variablen sind zu berücksichtigen: der Taucher selbst, der Ablauf der Tauchgänge und die Auslegung der Tauchtabellen. Aus diesem Grund ist die Untersuchung der Dekompression, wie so oft in der Medizin, eine Mischung aus Kunst und Wissenschaft.

Die vielen Variablen machen die Bewertung von Tabellen zu einem Hauptproblem. Im Rahmen des mathematischen Modells der Tabelle wird Dekompressions-Krankheit zu einem statistischen Phänomen. Folglich ist es unmöglich, eine Tabelle (oder Tauchcomputer) zu erstellen, die für 100% der Taucher zu jeder Zeit 100%-ig sicher ist. Dies wird in wissenschaftlichen Kreisen weitgehend anerkannt, ist bei den Sporttauchern jedoch nicht so weit bekannt. Ich habe gehört, wie Dr. Powell (und andere) erklärten, daß man, um der Dekompressions-Krankheit zu entgehen, entweder niemals tauchen oder niemals wieder auftauchen dürfe. Es ist offensichtlich, daß keine der Alternativen praktikabel ist und dies ebensowenig ein Verfahren zum Testen der Tauchtabellen ist, bei dem Grenzen festgelegt werden, die für alle gültig sind. Männer, Frauen und Kinder müßten nicht nur einmal, sondern täglich getestet werden, um tägliche Änderungen ihrer Physiologie nachzuweisen. Aus diesem Grund kann die von den Tabellenherstellern verwandte Zahl von Testtauchgängen nie vollkommen ausreichend sein.

Da Menschen für Dekompressions-Krankheiten unterschiedlich empfänglich sind, kann keine Tabelle oder kein Computer garantieren, daß keine Dekompressions-Krankheit auftreten wird, selbst wenn innerhalb der Grenzen der Tabellen oder des Computers getaucht wird. Tauchlehrer und Profis sollten bei Tauchern und Tauchschülern auf diesen Punkt hinweisen. Ungeachtet, wie gut sie entwickelt oder getestet wurden, sind Tabellen und Computer nur mathematische Modelle mit Annäherungswerten dafür, wie übermäßiger Stickstoff vom Körper absorbiert und abgebaut wird. Da wir zur Zeit wenig drüber wissen, wie und warum sich Blasen im Körper bilden, tun Taucher gut daran, sich unterhalb der Grenzen der Tabelle oder des Computers zu halten. Als Tauchlehrer müssen wir alle unser Augenmerk erneut auf diese Tatsachen lenken und das öffentliche Bewußtsein vergrößern. Viele Taucher (und Lehrer) haben Tabellen und Computer als absolut angesehen und versuchen, routinemäßig bis an ihre Grenzen zu gehen. Dies ist nicht ratsam und setzt den Taucher vergrößertem persönlichem Risiko aus. Es ist an der Zeit, daß jeder von uns eine Kampagne zur Information der Taucher startet, vorsichtig zu tauchen. Schließlich soll Sporttauchen eine Freizeitbetätigung sein, die entspannt.

* * * * *

Da Menschen für Dekompressions-Krankheiten unterschiedlich empfänglich sind, kann keine Tabelle oder kein Computer garantieren, daß keine Dekompressions-Krankheit auftreten wird, selbst wenn innerhalb der Grenzen der Tabellen oder des Computers getaucht wird.

* * * * *

Angesichts der Komplexität der Entwicklung von Tabellen und der Wissenschaft der Dekompression fragen sich viele, warum PADI und DSAT sich überhaupt die Mühe gemacht haben, den Recreational Dive Planner für Sporttaucher zu entwickeln. Einfach ausgedrückt, ist PADI der Ansicht, daß Tauchlehrer, Gerätehersteller und Ärzte sich die Verantwortung teilen sollten, Sporttauchern (von denen es im Vergleich zu den Tausenden von Tauchern der NAVY Millionen gibt) die besten Tabellen im Hinblick auf Nützlichkeit, Sicherheit, neue Technologie und verfügbare Mittel an die Hand zu geben. Sie sollten so ausgelegt sein, daß sie die Art der Tauchgänge wiederspiegeln - d.h. Nullzeittauchgang, Wiederholungstauchgänge - die Sporttaucher bereits ausführen. Wir sind der Ansicht, dies mit dem Recreational Dive Planner erreicht zu haben.

Wir hätten, wie alle anderen, einen weit weniger riskanten oder passiven Ansatz zur Lösung dieses Problems wählen können, entschieden uns jedoch dafür, das große Risiko finanzieller Art und der Verantwortlichkeit einzugehen, eine Forschungsstudie zu finanzieren und uns aktiv um eine bessere Lösung des Problems der Tauchtabellen zu bemühen. Größtenteils taten wir dies aus einem moralischen Prinzip heraus und aus Anerkennung unserer Verantwortung für den Sporttaucher: es gab keine Garantien und das Projekt hätte jederzeit scheitern können. Hinzu kam, daß sich aus einer Risiko-Nutzen-Perspektive kein besonderer finanzieller Vorteil daraus ergab, einfach neue Zahlen auf ein Stück Plastik zu drucken - PADI hatte ja bereits die Tauchtabelle, die weltweit am meisten verkauft wurde: PADIs Version der US-NAVY Tauchtabellen. Darüber hinaus wurde durch die neuen Tabellen die enorme Aufgabe geschaffen, das Material der Sporttauchkurse zu überarbeiten. Trotz all dieser gegenteiligen Faktoren entschlossen sich PADI und DSAT in der Hoffnung, eine Tauchtabelle zu erstellen, die besser für den Sporttaucher geeignet ist, diese Studie fortzusetzen.

Die Daten, die sich aus den Tests für den Recreational Dive Planner ergeben, zeigen, daß wir einen Ansatz für Tauchtabellen gefunden hatten, der besser als der von uns verwandte militärische Ansatz war. Dies war keine Überraschung, denn die Testdaten des Instituts für angewandte Physiologie und Medizin kamen nicht aus heiterem Himmel, sondern waren das Ergebnis einer logischen Erweiterung von Daten aus früheren Tauchtabellen.

Es sollte betont werden, daß die DSAT Studie ein Entwicklungsprojekt war und keine Erforschung der Grenzen der Dekompression. Die Parameter der US-NAVY Tauchtabellen wurden als Grundlage genommen und überarbeitet, um sie unter Verwendung der von Dr. Spencer veröffentlichten Untersuchung vorsichtiger zu machen und dienten dann als Ausgangspunkt für die Tests. Die Untersuchung war nicht darum bemüht, den Grat zwischen Auftreten von Dekompressions-Krankheit und nicht herauszufinden. Mit ihr sollten mit einer ausgewählten Population (von männlichen und weiblichen Sporttauchern im entsprechenden Altersbereich dieser Sportart) Tests angestellt werden, die - bei erfolgreicher Durchführung der Tests - zur Entwicklung von Tabellen für Sporttaucher eingesezt werden konnten. Selbst innerhalb der durch Geld, Technologie und Forschung gesetzten Grenzen wurde dies sehr gut erreicht.

Entscheidend für die Forschungsarbeiten für den Recreational Dive Planner war der Einsatz des Doppler Ultraschall-Messgerätes , mit dem Blasen festgestellt werden können, die sich im Blutkreislauf bewegen. Manchmal lese ich Leitartikel, in denen die Grenzen der DopplerMethode kritisiert werden. Es stimmt, daß mit Doppler-Detektoren nur Blasen, die sich bewegen und nicht die tatsächlichen stationären Blasen im Gewebe festgestellt werden. Doppler bietet jedoch die beste Systemtechnik, die sich zur Zeit für Dekompressionsforschung eignet. Testen von Tabellen mit Doppler-Detektoren ist von Wert, wenn die Tauchgänge, wie beim Sporttauchen und in der Untersuchung des IAPM, relativ kurz sind. Darüber hinaus ist die Feststellung von Bedeutung, daß der Grad der mit Doppler festgestellten Blasen *UND* das Fehlen von Symptomen der Dekompressions-Krankheit als Testkriterien verwandt wurden.

Doppler-Detektoren wurden beim Testen für den Recreational Dive Planner eingesetzt, weil:

1. sie eine gewisse Bewertung der Bildung von Blasen bei nicht vorhandenden Symptomen von Dekompressions-Krankheit zulassen.
2. sie rückwirkend eingesetzt werden können, um eine grobe Schätzung der Möglichkeit des Auftretens der Dekompressions-Krankheit vorzunehmen.
3. sie von unschätzbarem Wert sind, um von Testpersonen akzeptiert zu werden. Sie stellen das einzige Verfahren zur Feststellung der Gültigkeit eines Tauchprofils dar, ohne die Testperson so weit zu bringen, daß sie der Dekompressions-Krankheit ausgesetzt wird.

Jahrelange Entwicklungsstudien von Tabellen zeigten, daß bei der Reduzierung von mit Doppler feststellbaren Blasen auf ein Minimum oder deren Vermeidung statistisch gesehen das Risiko der Dekompressions-Krankheit sehr gering ist. Ein Doppler-Detektor hat wenig Wert bei der Voraussage der Dekompressions-Krankheit bei einem Taucher und einem bestimmten Tauchgang. Bei Verwendung in einer Reihe von streng kontrollierten Tests wird er jedoch zu einem nützlichen Vorhersagegerät für die *Wahrscheinlichkeit* der Dekompressions-Krankheit.

Unabhängig davon war bei den Tests für den Recreational Dive Planner der Hauptindikator ein biologischer Indikator: Auftreten der Dekompressions-Krankheit *JA* oder *NEIN*. Die Untersuchung verzeichnete keinen einzigen Fall von Dekompressions-Krankheit bei insgesamt 743 Tauchgängen, bei denen die zulässigen Höchstwerte für Stickstoff 90-95% der US-NAVY Werte in theroretischen 40- oder 80-Minuten Geweben ("Kompartimenten") betrugen. Das Vorkommen von mit Doppler festgestellten Blasen (Grad 1 und 2) betrug 1,5%; das Vorkommen nach tiefen Kniebeugen (Grad 1, 2 oder 3) betrug 4,4% (33 von 743 Tauchgängen). Dopplerwerte bei ruhenden Personen waren fast ausschließlich 0. Diese außergewöhnlichen Ergebnisse ebneten den Weg zur Einführung des Recreational Dive Planner, PADI's "Tauchgang-Planer für Sporttaucher".

## Gehen wir heute abend einen trinken?

Taucher im Urlaub, die am Abend viel trinken und am nächsten Morgen mit einem Kater tauchen, machen die Natur der Dekompression komplizierter und erhöhen das Risiko der Dekompressions-Krankheit. Diese Angewohnheit ist von einer Reihe von physiologischen Gesichtspunkten aus sehr riskant. Auf der ganzen Welt gibt es keine Dekompressionsmodelle, die schlechtes Beurteilungsvermögen und Unwissen ausgleichen können. Lassen Sie uns alle dazu beitragen und das Auftreten dieser rücksichtslosen Angewohnheit zu verhindern.

Da die Tabellen auf vernünftigen Konzepten der Wahrscheinlichkeit auf der Grundlage von gesunden Menschen basieren und es von Tag zu Tag zu individuellen Abweichungen kommt, ist es töricht, bis an die von Tabellen gesetzten Grenzen zu gehen. Trinken Sie nicht, wenn Sie tauchen und tauchen Sie nicht, wenn Sie einen Kater haben. Wenn Sie dies tun, versetzen Sie sich in eine unvorhersehbare Lage, wo Sie ganz auf sich allein gestellt sind.

# Haldanes Erneuerung

von Dr. Raymond E. Rogers, *UJ* 3/88

[Bildunterschrift: Bei den neuen Tabellen wurde das für den Sporttaucher überarbeitete Konzept von J.S. Haldane verwandt.]

Wenn Sie es sich vorgenommen haben, eine neue Mausefalle zu bauen, ist es keine schlechte Idee, sich zuerst die Mausefallen anzusehen, die es gibt, und wenn Sie festgestellt haben, was funktioniert und was nicht, haben Sie eine bessere Vorstellung davon, wo Sie beginnen müssen.

Bei der Entwicklung der Mathematik, die hinter dem Recreational Dive Planner steckt, habe ich die gleiche Philosophie angewandt. Mir wurde klar, daß ein neuer Ansatz für Tauchtabellen erforderlich war, um die Bedürfnisse von Sporttauchern besser erfüllen zu können, und ich begriff, daß die Wissenschaft eine Menge darüber gelernt hat, wie der Körper gelösten Stickstoff absorbiert, toleriert und abbaut. Durch die Prüfung von früheren Ansätzen für die Mathematik von Tauchtabellen und der vorhandenden Forschung war ich in der Lage, zahlreiche Fallen zu vermeiden, die bis heute Tauchtabellen von den Bedürfnissen der Sporttaucher ferngehalten hatten.

Der Ausgangspunkt der Theorie von Tauchtabellen geht auf J.S. Haldane zurück, der 1907 die ersten Tauchtabellen veröffentlichte. Seitdem wurden Tauchtabellen erforscht und für militärisches, Berufs- und Sporttauchen eingesetzt. Aus dieser Erfahrung und Logik haben sich verschiedene, allgemein anerkannte Punkte entwickelt:

1. Ein Taucher, der Druck ausgesetzt ist, absorbiert und baut Stickstoff aus seinen Geweben ab. Die Menge des absorbierten und abgebauten Stickstoffs ist unterschiedlich und hängt von der Stärke des Drucks und davon ab, wie lange der Taucher dem Druck ausgesetzt ist.

2. Ein Taucher kann ohne schädliche Wirkungen (Dekompressions-Krankheit) eine gewisse Menge von übermäßigem Stickstoff tolerieren, d.h. einen N2-Druck im Gewebe, der höher ist als der Umgebungsdruck.

3. Die Menge von übermäßigem Stickstoff, die toleriert werden kann, ist eine Spanne und kein fester Wert und ist von Organ zu Organ und von Taucher zu Taucher unterschiedlich.

4. Praktisch ausgedrückt können Gewebedrücke (übermäßiger Stickstoff) nicht direkt am Menschen gemessen, sondern nur abgeleitet bzw. gefolgert werden.

5. Um Tauchen ohne Dekompressions-Krankheit zu ermöglichen, ist die Vorhersage nützlich, wieviel Gewebedruck die Gewebe des Tauchers aushalten können.

6. Die übliche Methode zur Vorhersage des maximal zulässigen Gewebedrucks ist die Verwendung eines mathematisches Modells - Tauchtabellen.

7. Historisch gesehen wiesen Tauchtabellen oft zu große oder zu geringe Einschränkungen auf oder beides.

8. Beim Sporttauchen ist kein Modell zu rechtfertigen, das - außer vielleicht den seltenen Fällen von extrem anfälligen Tauchern - Dekompressions-Krankheit riskiert oder toleriert.

Bei der Anwendung dieser Gesichtspunkte auf die Mathematik, die hinter dem Recreational Dive Planner steckt, beschloß ich, daß alle Berechnungen eher vorsichtig ausgeführt werden sollten. Da es keinen genauen mathematischen Wert gibt, der den höchstzulässigen Gewebedruck darstellt, den ein Taucher aushalten kann, wird ein Grenzwert innerhalb des Druckbereiches festgelegt, der bei gemessenen Versuchstauchgängen als tolerierbar festgestellt wurde. Bei der Entscheidung für eine Begrenzung im vorsichtigen Bereich werden manche Taucher, die übermäßigen Stickstoff gut vertragen, in ihren Tauchzeiten

etwas eingeschränkt. Dies wird jedoch durch den Wunsch gerechtfertigt, allen Tauchern Schutz zu bieten. Aus diesem Grund muß das mathematische Modell auf der Beobachtung der Taucher im Versuch beruhen, die am wenigsten tolerant gegenüber Stickstoff sind.

Nach Prüfung der bestehenden mathematischen Modelle und der Ergebnisse der Versuchstauchgänge formulierte ich die folgenden Hypothesen:

1. Bei linear ansteigendem Druck erfolgt eine exponentielle Abnahme der maximalen Grundzeit (Nullzeitgrenze). Mit anderen Worten, die zulässige Zeit nimmt viel schneller ab, als die Tiefe zunimmt.
2. Das Verhältnis zwischen Zeit und Druck kann in Form einer gleichmäßigen Kurve dargestellt werden.
3. Wenn auf der Kurve genügend Punkte bestimmt werden können, ist es möglich, die ganze Kurve zuverlässig zu bestimmen.
4. Jedes auf der Kurve festgestellte Zeit-Druck-Verhältnis (Nullzeitgrenze) hat die gleiche Gültigkeit wie die Punkte, die zur Darstellung der Kurve verwandt wurden.
5. Wenn ein Punkt auf der Kurve beispielweise durch neue Versuchsdaten verändert wird, muß sich ein signifikanter Teil der gesamten Kurve ändern.
6. Zur Bestimmung der Kurve ist eine relativ begrenzte Zahl von Tauchgängen erforderlich.
7. Alle Werte, die nicht mit der Kurve übereinstimmen, bedeuten, daß die Werte, die Kurve oder beide falsch sind.

Die meisten Forscher im Bereich von Tauchtabellen sind sich einig, daß Tiefe und Zeit in einem exponentiellen Verhältnis variieren - in der Tat wird oft eine einfache Gleichung, $D = CT^{-k}$, zur Bestimmung der Nullzeitgrenzen benutzt. Nichts an dieser Gleichung steht zu etwas in Beziehung, das vom menschlichen Körper bekannt ist; sie wurde abgeleitet, da sie die Feststellungen der Forscher bei Testtauchgängen wiederzugeben schien. Die Gleichung wird von vielen Wissenschaftlern bei der Berechnung von Tauchtabellen erfolgreich angewandt.

Die einfache Beziehung zwischen Zeit und Tiefe, die von dieser Gleichung dargestellt wird, faszinierte mich. Ich überlegte für lange Zeit, ob diese Gleichung aus purem Zufall mit den Nullzeitgrenzen übereinstimmte oder die Wirklichkeit darstellte. Wie aus meiner Hypothese hervorgeht, kam ich zu dem Schluß, daß die Gleichung die wirkliche, physische Funktion der Dekompression darstellt und daß ihre Nützlichkeit nicht voll erkannt wurde, da sie bei extrem flachen und extrem großen Tiefen offensichtliche Fehler zur Folge hat.

Wenn $D = CT^{-k}$ verwandt wird, um Nullzeitgrenzen in extremen Tiefen zu berechnen, werden die Grenzen kürzer, bis sie zu Bruchteilen von Minuten werden - trotzdem kann man in einer Tiefe von vielen Hundert Fuß immer noch Nullzeitgrenzen berechnen. Das andere Extrem zeigt, daß die Grenzen mit geringeren Tiefen länger werden und trotzdem festgestellt wurde, daß eine unbeschränkte Nullzeitgrenze nur in einer Tiefe eines Bruchteils von einem Fuß festgestellt wird. Dies würde bedeuten, daß man, wenn man lange genug in einer halb mit Wasser gefüllten Badewanne liegt, beim Aufstehen von der Dekompressions-Krankheit befallen wird!

Sowohl die flachen als auch die tiefen Grenzen sind lächerlich; da die Gleichung jedoch in dem nützlichen Bereich von 50 - 130 Fuß stimmt, wurden die Probleme an den Extremen von vielen Forschern weitgehend ignoriert. Ein typischer Taucher kann nicht die absurd langen Maximalzeiten in sehr flachem Wasser aushalten, und sehr tief zu tauchen, würde sich nicht lohnen, wenn er durch die sehr kurzen Nullzeitgrenzen eingeschränkt wäre. Da diese gedankliche Berichtigung der Gleichung leicht vorgenommen werden konnte, wurde ihr wahres Potential zur Entwicklung von Tauchtabellen übersehen, und viele Forscher, die sich mit Tauchtabellen befaßten, haben die Gleichung nicht ernst genommen.

Ich entschloß mich zur Modifizierung der Gleichung, um Versagen an den Extremen auszuschließen. Damit sie in sehr geringen Tiefen angewandt werden kann, mußte einfach nur ein Faktor für geringe Tiefen mit eingerechnet werden, bei dem Testtauchgänge anzeigen, daß ein Taucher unbegrenzt lange Zeit ohne

Dekompression aushalten kann. Verfügbare Daten geben an, daß die geringste Tiefe solcher Art 22 Fuß beträgt; aus Gründen der Vorsicht wählte ich 20 Fuß (6 m).
Die Feststellung des anderen Extrems war schwieriger und weniger wichtig, doch aus Gründen der Vollständigkeit führte ich auch dies aus. Es schien klar zu sein, daß es eine Tiefe geben muß, ab der es zu Dekompression kommt.

Der erste Schritt lag in der - zumindest mathematischen - Definition von "GRUNDZEIT". Obwohl die Grundzeit traditionell vom Beginn des Tauchgangs bis zum Beginn des endgültigen Aufstiegs gemessen wurde, definierte ich sie als Beginn des Abstiegs bis zum Erreichen der Oberfläche. Dies war notwendig, da sich der Körper nicht an Definitionen hält; für ihn ist es wichtig, ob er unter Druck steht, und das schließt das Auftauchen ein. (Da es schwerfallen würde, alle Taucher dazu zu bringen, die Definition der Grundzeit zu ändern, verwandte ich meine Definition zur Ausführung der Berechnungen und wandelte sie dann für die endgültige Fassung der Tabellen wieder in die herkömmliche Definition um.)
Obwohl Sporttaucher niemals tiefer als 130 Fuß (40 Meter) tauchen sollten, ist es gemäß der Zahlen des Recreational Dive Planner theoretisch möglich, einen Nullzeittauchgang bis zu 262 Fuß (80 m) durchzuführen. Die Grundzeit würde 4,36 Minuten betragen, obwohl tatsächlich keine Zeit in der Tiefe von 262 Fuß verbracht würde. Ein Tauchgang von weniger als 262 Fuß würde einige Zeit in der Tiefe (gleich wie kurz) gestatten, und ein tieferer Tauchgang wäre allein aufgrund des beim Tauchen und Auftauchen absorbierten Stickstoffes ein Dekotauchgang.

Mit Hilfe der Modifikation der Gleichung und unter Verwendung von Daten aus Testtauchgängen war ich in der Lage, eine KURVE zu erstellen, die im Bereich von 50 - 130 Fuß den bisherigen Kurven ähnlich war, jedoch auch in extrem großen und geringen Tiefen stimmte. Wichtig ist, daß die Möglichkeit besteht, die modifizierte Gleichung in einen Computer einzugeben, um für fast jede Tiefe und nahezu jeden Grad von Genauigkeit realistische Nullzeitgrenzen zu generieren. Normalerweise scheinen Schritte von 5 Fuß und einer Minute angebracht zu sein.
Mit Hilfe meines Computers erstellte ich zahlreiche Kurven und stellte die (mathematische) Wirkung der Veränderung einer Variablen in der Gleichung fest. Ich fand heraus, daß jede Veränderung die gesamte Kurve beeinflußte. Die Nullzeitgrenze für eine Tiefe kann sich nicht ändern, ohne daß sich alle anderen ebenfalls ändern. Dies zeigte mir, daß die Nullzeitgrenzen keine separaten Einheiten sind, sondern mit den Komponenten des mathematischen Ganzen aufs engste verbunden sind.
Mit diesem Wissen war ich in der Lage, die Gleichung darauf anzuwenden, was uns aus früheren Testtauchgängen über Nullzeitgrenzen bekannt ist. Dadurch stellte ich eine Gruppe von Nullzeitgrenzen zusammen, die selbst bevor sie in offenem Wasser getestet wurden, als höchst zuverlässig angesehen wurden.

Bei der Entwicklung von Tauchtabellen ist es erforderlich, das Verhalten von verschiedenen *THEORETISCHEN* Geweben auf der Grundlage dessen zu berechnen, wie schnell die theoretischen Gewebe Stickstoff absorbieren und freisetzen können. Diese theoretischen Gewebe werden manchmal als "Gewebe-KOMPARTIMENTE" oder einfach als "Kompartimente" bezeichnet und werden dadurch definiert, wieviel Zeit der Gewebedruck benötigt, bis das Gewebe zu 50% mit Stickstoff gesättigt ist; ein "20-Minuten-Gewebe" würde z.B. 20 Minuten brauchen, um 50% des Unterschiedes zwischen dem anfänglichen Druck im Gewebe und dem Umgebungsdruck zu absorbieren. Mit meinen Modifizierungen der Gleichung war es möglich, den MAXIMAL zulässigen Druck im Gewebe ("M-WERT" genannt) für jedes theoretische Gewebe viel einfacher und logischer zu berechnen, als mit den bisherigen traditionellen Methoden.

Umfangreiche Analysen zeigen, daß die nützlichsten Gewebearten zur Berechnung von Tauchtabellen für Sporttaucher von den 5-, 10-, 20-, 30-, 40-, 60-, 80- und 120-Minuten-Geweben gebildet werden. Man kann sogar noch langsamere Gewebe als das 120-Minuten-Gewebe berechnen, was vielleicht technisch "überlegen", praktisch jedoch von fraglichem Wert ist. Es kann sein, daß einige Gewebe, die langsamer als das 120-Minuten-Gewebe sind, in seltenen Fällen den Tauchgang "kontrollieren"; für dieses Phänomen wurden jedoch in den Tauchtabellen besondere Vorkehrungen getroffen.
Nachdem die Nullzeitgrenzen und Gewebearten und ihre "M-Werte" festgelegt worden waren, mußte ich bestimmen, welche Gewebeart als "Kontrollgewebe" für den "Kredit" (d.h. Stickstoff-Abbau) während der Oberflächenpause beim Sporttauchen maßgeblich ist. Zahlreiche Computerprofile zeigten, daß die meisten Situationen von einem 40-Minuten-Gewebe, in einigen Fällen jedoch von einem 60-Minuten-Gewebe kontrolliert wurden. Aus Gründen der Vorsicht wählte ich daher das 60-Minuten-Gewebe zur Bestimmung des "Kredits" während der Oberflächenpause.

Die letzte Phase bei der Aktualisierung von Haldanes Theorie bestand in der Berücksichtigung von Tauchgängen auf unterschiedlichen Tiefenstufen, "MULTILEVEL"-Tauchen genannt. Dieses Verfahren war komplexer; die Computeranalyse von allen ersten Tiefen und anschließenden geringeren Tiefen zeigten, daß die geringste zulässige Zeit in der zweiten Tiefe auf das Erreichen der Nullzeitgrenze der ersten Tiefe folgte. Dies vereinfachte die restlichen Komplikationen, da es nur noch notwendig war, lediglich von der Nullzeitgrenze der vorhergehenden Tiefe an zu rechnen.

Die Berechnung von Multilevel-Tauchgängen (ein Tauchgang mit verschiedenen Tiefenstufen) dreht sich um die Tatsache, daß diese Tauchgänge von "schnelleren" Gewebe-Kompartimenten als gewöhnlich kontrolliert werden und daher besondere Nullzeit-Grenzwerte ("ML") für solche Multilevel-Tauchgänge in die "Wheel-Version" des Recreational Dive Planners einzubeziehen waren. (Die Tabellen-Version des RDP hat keine Grenzwerte für Multilevel-Tauchgänge und kann daher zu diesem Zweck nicht eingesetzt werden). Die Multilevel-Grenzwerte sind "konservativer" als die normalen Nullzeit-Grenzwerte und darauf ausgelegt, daß die "M-Werte" der Gewebe-Kompartimente gleich oder unterhalb der "M-Werte" bei normalen Tauchgängen mit nur einer Tiefe gehalten werden.

Durch die "Erneuerung" von Haldanes Theorie und der Überarbeitung der Gleichung $D = CT^{-k}$ der anderen Forscher ergab sich ein neuer Ansatz zur Berechnung von Tauchtabellen, der besonders auf die Bedürfnisse der Sporttaucher eingeht.
Dieser neue Ansatz ist die Beschreibung der "Ganzkörper-Reaktion" auf die Absorption von Stickstoff und beschreibt, was im Körper insgesamt vonstatten geht. Er gestattet dem Forscher, den physiologischen Wald zu sehen, ohne durch Bäume von individuellen Nullzeitgrenzen, "M-Werten" und Gewebe-Kompartimenten abgelenkt zu werden. Es scheint, daß die praktische Forschung oft durch zu große Konzentration auf einzelne Zahlen verwässert wurde, so daß die Beziehung der Zahlen verlorengeht. Ich mache mich dafür stark, daß die durch hyperbarische Forschung ermittelten Werte eine enge Beziehung zueinander haben, daß die Beziehung festgestellt und als aussagekräftige Vorhersage von Nullzeitgrenzen verwandt werden kann. Obwohl diese Ansicht die Grundlage aller Tauchtabellen bildet, wurde sie im Falle des Recreational Dive Planner durch Validierung im Labor und im Freiwasser bestätigt.

# Fragen und Antworten zum Recreational Dive Planner, zu DSAT und zur Tauchtabellenforschung

von Drew Richardson, Training Director, PADI,
mit Beiträgen von Dr. Michael Powell und Dr. Raymond Rogers, *UJ* 3/88

**F: Entsteht eine zusätzliche Haftung für mich, wenn ich nach dem Recreational Dive Planner unterrichte?**

A: Wir können Ihre Besorgnis verstehen - in gewisser Hinsicht wurde ein neues Feld erschlossen. Bedenken Sie jedoch verschiedene Tatsachen. PADI hat sich erst nach äußerst sorgfältiger Prüfung der Arbeiten, die zum Recreational Dive Planner führten, zu seinem Vertrieb entschlossen. PADI wird sich gegen jeden Anspruch heftig verteidigen, daß diese Tabellen ungeeignet sind. Die durch den Vertreter von PADI erhältliche Berufshaftpflichtversicherung bietet Deckung für Sie als Lehrer nach dem Recreational Dive Planner ("Wheel"- oder Tabellen-Version). Die Forschungsdaten führen zu dem Schluß, daß die Tabellen ein sicheres Hilfsmittel für Sporttaucher darstellen.
Die US-NAVY Tabellen sehen sich zur Zeit, als für den Sporttaucher ungeeignet, gerichtlichen Angriffen ausgesetzt. Es stehen noch mehr derartige Situationen an. Mit anderen Worten, der "Standard" wird bereits auf verschiedene Art angegriffen.

**F: Muß ich als PADI-Lehrer mit der "Wheel"-Version unterrichten?**

A: Um es sehr klar auszudrücken. PADI verlangt und wird von niemandem verlangen, die "Wheel"-Version einzusetzen. Wir werden unser Standardlehrsystem 1989 voll auf die neuen Tabellen umstellen. Jedes Mitglied, das das "Wheel" jedoch nicht einsetzen möchte, hat die Möglichkeit, nach der Tabellen-Version des Recreational Dive Planner zu unterrichten.

**F: Warum hat DSAT nicht einfach die US-NAVY Tabellen überarbeitet?**

A: Dies war Dr. Rogers Absicht im frühen Stadium der Forschung. Als er die Forschung nach Daten zur Bestimmung dessen begann, wie die NAVY ihre Zahlen ableitet, stellte er - wie eine ganze Reihe anderer auch - fest, daß die NAVY Tabellen für Sporttaucher nicht ideal waren. Seiner Meinung nach hatte die NAVY zu viele Zahlen zu weit aufgerundet, und die Zeitintervalle in der Oberflächenpausentabelle schienen größer als notwendig zu sein.
Zu diesem Zeitpunkt kam er zu dem Schluß, daß ein paar Korrekturen keine wirkliche Abhilfe der Situation darstellten. Die NAVY Tabellen basierten auf einem theoretischen Gewebe-Kompartiment von 120 Minuten (2 Stunden). Ein solch langsames Gewebe war notwendig, um eine sichere Tabelle für Dekotauchgänge zu erstellen. Aufgrund der Begrenzung durch Zeit, Tiefe und Luftversorgung ist es für Sporttaucher nahezu unmöglich, tief und lange genug zu tauchen, um jemals an die Druckgrenze eines Körpergewebes zu stoßen, das den Druck derart langsam ändert.
Folglich sollte zur Entwicklung einer Tabelle besonders für die Sporttaucher ein viel schnelleres Gewebe gewählt werden. Dr. Rogers sah eine Oberflächenpausentabelle vor, die mehr mit der Realität des Sporttauchens und den vorsichtigeren Nullzeitgrenzen übereinstimmte.
Da es Tausende von Militär- und Berufstauchern, jedoch Millionen von Sporttauchern gibt, widmete sich Dr. Rogers der Entwicklung von Grund auf neuer Tabellen speziell für die Bedürfnisse der Sporttaucher.

**F: Stimmt mit den US-NAVY Tabellen etwas nicht?**

A: Absolut nicht. Die NAVY leistete mit Entwicklung und Tests von Tabellen, die unter Verwendung der in den 50er Jahren zur Verfügung stehenden Technologie für ihre Bedürfnisse ausgezeichnete Arbeit. Sie hatte weder die Absicht, noch die Verpflichtung oder Voraussicht zur Berücksichtigung der Bedürfnisse von Sporttauchern. Als Sporttaucher übernahmen wir das einzige System, das unserer Industrie zur Verfügung stand. Seit den 50er Jahren hat sich die Zahl der einigen Tausend militärischen Taucher nicht sehr vergrößert und ihre Bedürfnisse sind immer noch weitgehend dieselben. Die Zahl der Sporttaucher ist jedoch auf Millionen

gewachsen und ihre Bedürfnisse sind sehr unterschiedlich. Obwohl die NAVY Tabellen von Sporttauchern bei Millionen Tauchgängen sicher eingesetzt wurden, schien die Entwicklung von geeigneteren Tabellen möglich.

**F: Warum erstellt die NAVY nicht eine neue Tauchtabelle für Sporttaucher?**
A: Die US-NAVY ist ein militärisches Gebilde. Sporttauchen liegt vollkommen außerhalb des professionellen Interesses und Bedürfnisses der NAVY.

**F: Wenn die Wissenschaftler im hyperbarischen Bereich seit Jahren um Mittel für Forschung und Studien baten, warum wurden dann nicht eher neue Tabellen entwickelt?**
A: Die Antwort liegt in der Tatsache, daß es sich bei der Sporttaucherindustrie um eine kleine Industrie handelt. Dies setzt sich um in fehlende Gelder für Forschung und Entwicklung in dieser Größenordnung. Die Gründung von DSAT und des darauf folgenden Projekts sind völlig neu. Sie stellen ein hoch komplexes, privates Programm dar; zum ersten Mal hat eine private Ausbildungsorganisation innerhalb der Gemeinschaft der Sporttaucher physiologische Grundlagenforschung und biologische Forschung finanziert.

**F: Welche Art von Dekompressionsstops sind vorgesehen, um der Situation zu "entkommen", daß ein Taucher seinen Aufenthalt in einer bestimmten Tiefe zu sehr ausdehnt?**
A: Laut Definition ist Sporttauchen Nullzeittauchen. Beide Versionen des Recreational Dive Planner verwenden Nullzeittabellen und bieten keine Vorkehrungen für Dekotauchen.
Für den Fall, daß zufällig eine Nullzeitgrenze um weniger als 5 Minuten überschritten wird, muß der Taucher sofort mit einer Geschwindigkeit von 18 Meter in der Minute auf eine Tiefe von 5 Meter auftauchen und sich dort 8 Minuten aufhalten, bevor er an die Oberfläche kommt. Denken Sie daran, daß dies ein Verfahren für Notfälle ist. Daher muß der Taucher nach dem Auftauchen mindestens 6 Stunden auf alle Tauchgänge verzichten, damit der Körper übermäßigen Stickstoff abbaut. Wenn eine Nullzeitgrenze um mehr als 5 Minuten überschritten wird, wird ein Dekompressions-Stop von mindestens 15 Minuten (sofern es die Luftversorgung gestattet) in einer Tiefe von 5 Meter dringend gefordert. Nach dem Auftauchen muß der Taucher mindestens 24 Stunden dem Wasser fernbleiben, bevor er einen neuen Tauchgang unternimmt. Vergessen Sie nicht, daß der Recreational Dive Planner ausschließlich für Nullzeittauchgänge mit Preßluft ausgelegt ist. Weder die "Wheel"- noch die Tabellen-Version sind für Situationen zu verwenden, in denen es zu Dekompression kommen kann oder in denen ein anderes Gas als Luft eingeatmet wird.

**F: Muß bei Verwendung des Recreational Dive Planers die für einen Sicherheits-Stop verwandte Zeit zur Grundzeit des Tauchganges hinzugezählt werden?**
A: Nein. Da Grundzeit als Gesamtzeit in Minuten vom Beginn des Tauchgangs bis zum Beginn des endgültigen Aufstiegs zur Oberfläche bzw. zum Sicherheits-Stop definiert ist, muß die auf einen Sicherheits-Stop verwandte Zeit der Grundzeit nicht hinzugezählt werden.

**F: Wurde bei der Entwicklung der Tabelle nur ein Gewebe berücksichtigt?**
A: Nein. Die Reaktion des ganzen Körpers kann nicht mit einer einzigen Gewebeart beschrieben werden. Aus diesem Grund verwendete Dr. Rogers 14 verschiedene Gewebearten im gesamten Modell. Alle 14 Gewebe wurden bei der Entwicklung der Tests, der Bewertung nach den Vorschriften für das Fliegen nach dem Tauchen, bei der Entwicklung von Vorschriften für mehrere Tauchgänge in geringerer Tiefe berechnet und werden, wenn dieses Stadium abgeschlossen ist, bei der Bewertung von Bergseetauchgängen berechnet.

**F: Wurden viele Tests ausgeführt?**
A: Bei dieser Untersuchung wurden Hunderte von Tauchgängen (ca. 500) ausgeführt - bei jedem Test mindestens bis zur Nullzeitgrenze der Tabelle (und fast immer darüber hinaus). Diese umfangreiche Untersuchung hatte ein Auftreten von Dekompression gleich Null zusammen mit einer feststellbaren venösen Gasphase, die sich Null annäherte, zur Folge.

**F: Welche Prinzipien wurden zur Auswahl der bei den Tests verwendeten Tauchprofile angewandt?**
A: Obwohl auf die Auswahl der Profile jahrelange Überlegungen verwandt wurden, handelte es sich um die folgenden Hauptparameter:
1) Jede Tauchsituation mußte mindestens bis zur Zeitgrenze für diese Tiefe gehen, gleich ob bei einem Einzel- oder einem MultilevelTauchgang.
2) Wo dies möglich war, wurden Tauchzeiten und Oberflächenpausen gewählt, um im Vergleich zu den US-NAVY Tabellen ein größtmögliches Differential zu bieten.
3) Zur Maximierung der möglichen Kombinationen, die für das Sporttauchen typisch sind, wurde bei der Auswahl der ersten und folgenden Tiefen ein breites Spektrum von Tiefen verwandt.
4) Jedes dieser theoretischen Gewebe, das typische Tauchgänge im Sporttauchen kontrolliert, mußte mindestens einmal, gewöhnlich jedoch wiederholt, seinen Maximalwert ("M-Wert") erreichen.

**F: Ist der "M-Wert"-Ansatz für das Testen von Tabellen empirisch?**
A: Ja, das ist richtig. Es gibt zur Zeit keine Rechenmodelle, die die Berechnung von Dekompressions-Tabellen allein von Grundprinzipien her ermöglichen. Somit sind alle Tabellen im Grunde (auf einer Datenbasis) von bereits vorhandenen Dekompressionsdaten abgeleitet. Bei der Haldane-Methode oder jedem anderen Dekompressions-Algorithmus werden passende Grundkonstanten verwandt. In diesem Fall werden "M-Werte" eingesetzt, um eine Tabelle zu erstellen, bei der festgestellt wird, daß sie bei den Testpersonen nicht zu Symptomen der Dekompressionskrankheit führt.
Das Konzept von tolerierbarer Übersättigung mit Inertgas beim Tauchen wird Haldane zugeschrieben, obwohl wir uns einig sind, daß es keinen Beweis dafür gibt, daß es sich um ein korrektes Konzept handelt. Es gibt viele Nachweise dafür, daß das Konzept von "stillen" Blasen richtig ist und daß Übersättigung nicht immer auftritt. Somit sind Dekompressionstabellen, ob sie den Ansatz mit "M-Werten" oder einen anderen verwenden, letztlich empirisch abgeleitet.

**F: Wenn Dopplergeräte nur Blasen in Bewegung und nicht jene im Gewebe feststellen, warum werden sie immer noch eingesetzt?**
A: Es ist richtig, daß Dopplergeräte nur in Bewegung befindliche Blasen feststellen und nicht diejenigen Gasphasen, die "upstream" sind und für Dekompressions-Krankheit mit Schmerzen verantwortlich sind. Diese separate Gasphase ist wahrscheinlich "extravasal", d.h. außerhalb der (Blut-)Gefäße, und befindet sich in den Sehnen und Bändern. Die einzige vernunftmäßige Erklärung für die Verwendung von Doppler-Detektoren lag in früheren Untersuchungen, die angaben, daß Dekompressionstabellen, die beim Testen zu einer großen Zahl von Blasen führten, letztendlich zu einer nicht akzeptablen Zahl von Fällen von Dekompressions-Krankheit bei den Testpersonen führten. Testen von Tabellen mit Dopplergeräten zur Überwachung der Dekompression aufgrund von Übersättigung hat sich als nicht sehr erfolgreich erwiesen. Dopplergeräte sind nützlich, der Hauptindikator ist jedoch immer noch biologisch das Auftreten oder Nicht-Auftreten der "Caissonkrankheit". Wir hatten keinen einzigen Fall von Dekompressions-Krankheit, und der Blasenanteil war sehr gering.

**F: War die Zahl der gestesteten Taucher und Tauchprofile angemessen?**
A: Es handelt sich wahrscheinlich um die größte und teuerste Reihe, die jemals mit wiederholten Nullzeit-tauchgängen durchgeführt wurde. Wir müssen selbstverständlich einräumen, daß keine Zahl von Testtauchgängen jemals ausreichend ist. Es muß eine praktikable Obergrenze gesetzt werden. Wo diese "Obergrenze" liegt, darüber ist man sich jedoch nicht einig. Die wissentschaftliche Prüfungsgruppe war sich darüber einig, daß die Zahl zum Nachweis der Eignung der Tabellen für drei Tauchgänge täglich angemessen war.

**F: Wurden Multilevel-Tauchgänge getestet?**
A: Es gab zahlreiche Versuche von Multilevel- und Wiederholungsmultileveltauchgängen in der Kammer. Es ist sehr schwierig, aufgrund der Tauchtätigkeit und Beschränkungen einer 80-Kubikfuß-Flasche in offenem kalten Wasser richtiges Multilevel-Tauchen zu erreichen. Obwohl es stimmt, daß einige Sporttaucher 80er

Doppelflaschen verwenden, ist dies in den Vereinigten Staaten nicht die Regel. Die Tests in den hyperbarischen Kammern waren angemessen, um bei dieser Art von Tauchgängen die Gasabbaueigenschaften zu testen. Kammertauchgänge werden im wesentlichen von der Oberfläche versorgt und wurden darüber hinaus mit längeren Grundzeiten ausgeführt, als diese nach den Rogers-Tabellen zulässig sind.

**F: Wie viele Tauchprofile wurden tatsächlich getestet?**
A: Von den 22 uns von Dr. Rogers vorgelegten Tauchprofile wurden schließlich 14 für Kammertests ausgewählt. Bei diesen 14 wurden jeweils mindestens 15 Tauchgänge ausgeführt. Wenn die Zeit es gestattete, wurden für einige in der Tat mehr Tauchgänge durchgeführt. Wir testeten alle 22 Tabellen und, aus Gründen der Vollständigkeit, wurde die Zahl der mit allen Profilen durchgeführten Tauchgänge aufgezeichnet.
Für Tauchgänge in offenem Wasser stellte sich keine der ursprünglich vorgeschlagenen 22 Profile als verwendungsfähig heraus. Die Taucher konnten mit konventioneller Sporttauchausrüstung (80-Kubikfuß-Flasche) in nördlichen Gewässern nicht diese ausgiebigen Grundzeiten tauchen. Daher wurden drei zusätzliche Profile berechnet und zu den 14 in der hyperbarischen Kammer hinzugefügt. Die angewandten Grundzeiten und Tiefen waren für Sporttaucher angemessen. Diese drei zusätzlichen Profile wurden dann in der Kammer und im offenen Wasser gestestet.

**F: In der Vergangenheit war es so, daß sich ein Taucher, der kurzfristig auftaucht, etwa um seine Richtung festzustellen, aufgrund einer Oberflächenpause (OFP) von weniger als zehn Minuten immer noch im gleichen Tauchgang befindet. Wenn jetzt eine OFP von nur drei Minuten Wiederholungsgruppen (WG) verändern kann, und laut Definition wird jede Zeit an der Oberfläche als Oberflächenpause angesehen, handelt es sich beim erneuten Abstieg um einen neuen Tauchgang?**
A: Kurzfristiges Auftauchen zur Prüfung der Richtung oder aus einem anderen Grund, das zu einem ungeplanten kurzen Aufenthalt an der Oberfläche führt, sollte, wie dies immer der Fall war, als Teil desselben Tauchganges angesehen werden.
Praktisch gesagt, wenn ein Taucher wieder auf die gleiche Tiefe abtaucht, würde sehr wahrscheinlich die zur Berechnung erforderliche Zeit die sich ergebende Grundzeitverlängerung überschreiten. Kurz gesagt, es ist nicht praktikabel, für ein solch kurzes Auftauchen eine Korrektur vorzunehmen.
Wenn diese Art des Auftauchens jeden Tag vorkäme, hätte dies jedoch wahrscheinlich eine signifikantere Wirkung. In dem von Ihnen gegebenen Beispiel werden wir dies offiziell als ununterbrochenen Tauchgang ansehen, obwohl der Taucher wahrscheinlich ein wenig Gas an der Oberfläche abgibt.

**F: Warum werden Sicherheits-Stops empfohlen, und welches sind die Richtlinien, nach denen das Einlegen von Sicherheits-Stops vorgeschrieben ist?**
A: Sicherheits-Stops sind aus vielerlei Gründen empfohlen, wenn nach dem Recreational Dive Planner (RDP) oder jeder für diesen Zweck erstellten Tabelle getaucht wird. Sicherheits-Stops geben eine Sicherheitsspanne, wenn der Taucher seine Tiefe falsch berechnet hat oder sein Tiefenmesser nicht richtig anzeigt. Darüber hinaus verlangsamen sie den Aufstieg an die Oberfläche, da der Taucher an eine Unterbrechung denkt, bevor er auftaucht. Dadurch wird die Möglichkeit des zu schnellen Auftauchens auf ein Minimum beschränkt.
Die Recreational Dive Planner sind nur für Nullzeitauchgänge gedacht. Es gibt jedoch Fälle, in denen eine besondere Verzögerung beim Auftauchen, "Sicherheits-Stop" genannt, angemessen ist.
Ein Sicherheits-Stop bedeutet, vor dem Auftauchen 3 Minuten in einer Tiefe von 5 Meter zu verbringen. Dieser zusätzliche Aufenthalt in 5 Meter hilft dem Körper beim langsamen Abbau von übermäßigem Stickstoff. Wann sollte ein Sicherheits-Stop eingelegt werden? Die Richtlinie ist einfach. Sie machen am Ende eines jeden Tauchgangs einen Sicherheits-Stop. Es wird jedoch VERLANGT, einen solchen Stop einzulegen:
1) nach einem Tauchgang von 30 Meter oder tiefer.
2) immer, wenn der Taucher in eine der 3 letzten Wiederholungsgruppen VOR Erreichen einer Nullzeitgrenze gelangt (NZG/NDL oder ML).
3) wenn bei einem Tauchgang bis an die Grenzen des RDP gegangen wurde.

**F: Wurden die Untersuchungsergebnisse und Daten veröffentlicht?**
A: Ja. PADI möchte, daß jeder, der Interesse an den Daten hat, so viel Informationen erhält, wie er nötig hat. PADI ist der Ansicht, daß die Sicherheit eines Tauchers kein Bereich ist, in dem Konkurrenz zu betreiben ist. Wenn alle in dieser Hinsicht zusammenarbeiten können, steht es jedem Unternehmen frei, das Wissen am besten zu vermarkten. Bis heute wurden die Informationen durch die folgenden formalen Kanäle verteilt.
1) PADI veranstaltete im Oktober 1987 eine Industrieinformation und lud alle Hersteller von Tauchartikeln, leitenden Angestellten und Ingenieure zu einem Vortrag von Dr. Michael Powell über die Ergebnisse seiner Forschung ein, die zu den neuen Tabellen führte.
2) PADI verschickte mehr als 800 Exemplare des Artikels "Planen von Sporttauchgängen - die nächste Generation", der einen groben Vorbericht über die IAPM Untersuchung enthielt, an Forscher und Forschungseinrichtungen im hyberbarischen Bereich in der ganzen Welt.
3) Wir verschickten die gleichen Informationen weltweit an alle unsere 5 Star Instructor Development Centers und Kursdirektoren.
4) Wir verschickten eine herausgegebene Version dieser Veröffentlichung an alle unsere Master Instruktoren.
5) Wir haben alle Daten bezüglich der Tabellen allen anderen Ausbildungsorganisationen zur Prüfung übersandt und die Möglichkeit angeboten, die neue Tabelle kostenlos und ohne Lizenzgebühr zu benutzen.
6) Dr. Powell und Dr. Rogers hielten für alle, die an Hintergrundinformationen zu diesem Projekt interessiert waren, sechs verschiedene Vorträge während der DEMA.
7) Dr. Powell und Dr. Rogers befinden sich zur Zeit auf einer internationalen Vortragsreise für Wissenschaftler.

**F: Haben Gerätehersteller oder Tauchlehrer-Verbände ein Interesse an der Übernahme der Ergebnisse von DSAT bekundet?**
A: Einige Hersteller von tauchfähigen Computern sind an der Aufnahme der Ergebnisse in ihre Instrumente interessiert und mindestens eine der anderen Trainingseinrichtungen hat Interesse daran bekundet.

**F: Was ist das nächste Projekt von DSAT?**
A: Diese Tabellen wurden für drei Tauchgänge täglich getestet. DSAT formuliert in enger Zusammenarbeit mit der Wissenschaft eine Untersuchung, mit der die kürzlich abgeschlossenene Forschung ausgeweitet würde. Mit der Untersuchung würde in einer Feriensituation (in der ein Taucher mehrere Tage hintereinander täglich mehrmals taucht) die Wirkung der Verwendung des Algorithmus untersucht, auf dem der Recreational Dive Planner aufbaut. Obwohl der Prozentsatz der Taucher, die dies ausführen, vielleicht gering ist, ist die Frage nichtsdestoweniger für alle Benutzer von Tabellen, Computern und Recreational Dive Planern weltweit von Bedeutung. Aus diesem Grund wird zur Zeit eine gemeinsame Untersuchung zusammengestellt, mit der in naher Zukunft begonnen werden sollte.

**F: Welche Vorkehrungen wurden für die Planung von Tauchgängen in kaltem Wasser oder unter anstrengenden Bedingungen getroffen?**
A: Bei der Planung eines Tauchganges in kaltem Wasser oder Bedingungen, die vielleicht anstrengend sein können, ist der Tauchgang in der Annahme zu planen, daß die Tiefe 4 Meter mehr beträgt, als sie tatsächlich ist. Man sollte bedenken, daß der Teil der Tests im Staat Washington, bei Seattle, bei Wassertemperaturen von durchschnittlich 54°F/12,2°C ausgeführt wurde.

**F: Kann der Recreational Dive Planner mit Standard-Umrechnungsverfahren in größeren Höhen verwendet werden?**
A: Zur Zeit nicht. Unsere wissenschaftlicher Abteilung untersucht im Augenblick den Aspekt der Höhe und somit bleibt die Frage bislang unbeantwortet. Bis wir eine endgültige Erklärung abgeben, verwenden Sie bitte weiterhin das Umrechnungsverfahren, das Sie bei den vorhandenen PADI Tabellen einsetzen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist der Recreational Dive Planner nicht im größerer Höhe als 300 Meter oder nach Umrechnung zu verwenden.

**F: Welches sind einige der allgemeinen Regeln für die Verwendung des Recreational Dive Planer?**

**A: Hier ein paar der wichtigsten Regeln, die in den dem Recreational Dive Planner beigefügten Anweisungen abgedruckt sind:**

**1) Jeder mit 10,5 Meter oder weniger geplante Tauchgang ist für 10,5 Meter zu planen.**

**2) Verwenden Sie bei allen Tauchgängen die angegebene genaue oder nächstgrößere Tiefe.**

**3) Verwenden Sie bei allen Tauchgängen die angegebene genaue oder nächst größere Zeit.**

**4) Bemühen Sie sich bewußt, bei allen Tauchgängen langsam aufzutauchen. Auf keinen Fall schneller als mit 18 Meter in der Minute auftauchen.**

**5) Seien Sie, wie bei allen Tauchtabellen, vorsichtig und vermeiden Sie die in den Recreational Dive Planern angegebenen Höchstgrenzen.**

**6) Wenn Sie einen Tauchgang in kaltem Wasser oder unter Bedingungen planen, die vielleicht anstrengend sind, planen Sie den Tauchgang in der Annahme, daß die Tiefe 4 Meter mehr beträgt als sie tatsächlich ist.**

**7) Planen Sie Wiederholungstauchgänge so, daß jeder nachfolgende Tauchgang in geringerer Tiefe stattfindet.**

**8) Planen Sie Multilevel-Tauchgänge so, daß jede nachfolgende Tiefe in Übereinstimmung mit den Vorschriften der "Wheel"-Version in geringerer Tiefe stattfindet.**

**9) Begrenzen Sie Ihre Höchsttiefe auf Ihre Ausbildungsstufe und ihre Erfahrung (Open Water Diver - 18 Meter, Taucher mit mehr Training und Erfahrung 30 Meter, kein Tauchgang tiefer als 40 Meter).**

**F: Wieviel weiß man über Dekompression?**

**A: Dekompression ist, wie so oft in der Medizin, eine Mischung aus Kunst und Wissenschaft. Viele Variablen sind zu berücksichtigen: der Taucher selbst, der Ablauf der Tauchgänge und die Auslegung der Tauchtabellen. Diese Faktoren machen die Bewertung von Tabellen zu einem größeren Problem, das die Medizin erst 1987 identifizierte. Es ist unmöglich, eine Tabelle zu erstellen, die für 100% der Taucher zu jeder Zeit 100%-ig sicher ist. Leider ist es unmöglich, das Risiko der Dekompression vollkommen auszuschließen. Um dies zu tun, dürften wir nie tauchen oder nie wieder auftauchen. Es ist offensichtlich, daß keine der Alternativen praktikabel ist. Um ein Testprogramm zu entwickeln, das Grenzen für jedermann festlegt, müßte jeder getestet werden. Männer, Frauen und Kinder müßten täglich getestet werden. Das wäre natürlich kein Test mehr. Was "sicher" ist, bedeutet "Was ist ein annehmbares Risiko für Dekompressions-Krankheit?" Folglich haben wir alle es mit Wahrscheinlichkeiten zu tun. Die Anzahl der von denjenigen, die Tabellen entwickeln, eingesetzten Tauchgänge kann nie perfekt sein. Da sich Menschen in ihrer Anfälligkeit für Dekompressions-Krankheit unterscheiden, kann keine Dekompressionstabelle garantieren, daß keine Dekompressions-Krankheit auftritt, obwohl der Taucher innerhalb der Grenzen der Tabelle taucht.**

**F: Was war der Hauptnutzen der DSAT Untersuchung?**

**A: Es bestand der offensichtliche Bedarf für eine bessere Tauchtabelle für Sporttaucher. Die bei IAPM getesteten Daten erschienen nicht aus heiterem Himmel, sondern waren die logische Erweiterung von früheren Informationen. Vieles, das vorher fraglich war, wurde in der DSAT Untersuchung bewiesen.**

**F: Warum haben Sporttaucher unterschiedliche Bedürfnisse?**

**A: Weil wir Wiederholungs-Tauchgänge ausführen. Zu Zeiten Haldanes wurde die Tabelle nicht mit Berücksichtigung von Wiederholungs-Tauchgängen entwickelt. Damals war wirklich ein Tauchgang am Tag die Regel. Die Taucher wurden von der Oberfläche aus versorgt und blieben lang genug unten, um ihre Aufgabe zu erfüllen, es sei denn, sie begannen vorher zu frieren oder zu ermüden. In diesen Fällen schickten Berufs- oder militärische Taucher oft jemand anderes nach unten, um den Tauchgang zu beenden. Bei Sporttauchern sind jedoch Luftversorgung und Grundzeit für Nullzeittauchgänge begrenzt und daher sind Wiederholungstauchgänge die Regel.**

**F: Warum hatte die NAVY das 120-Minuten-Gewebe als Kontrollgewebe gewählt?**

**A: Um die Erfordernisse einer Vielzahl von Entsättigungskurven zu vermeiden, identifizierte die NAVY eine dieser Kurven als diejenige, die alle Dekompressions-Tauchgänge abdeckte. Obwohl sie für geringere Tiefen**

einschränkend war, erfüllt das 120-Minuten-Gewebe die Erfordernisse für alle Profile der NAVY. Selbst wenn sie nicht maßgeschneidert und in Bezug zur Zeit einschränkend war, paßte sie auf alles. Wenn ein weiterer Tauchgang erforderlich war, konnte leicht ein zweiter Taucher bestimmt werden.

**F: Warum hat die Tauchtabelle der NAVY eine Oberflächenpausen-Tabelle für 12 Stunden, der Recreational Dive Planner eine Oberflächenpausen-Tabelle für 6 Stunden.**
A: Weil die NAVY Tabelle auf einer Gasentsättigungskurve des 120-Minuten-Gewebes und der Recreational Dive Planner auf einer Gasentsättigungskurve des 60-Minuten-Gewebes basiert. Haldane hat uns gelehrt, daß jedes Gewebe in 6 Halbsättigungszeiten volle Sättigung erreicht (die tatsächliche Sättigung beträgt 98,4%).
120-Minuten-Gewebe [= 2 Std.] x 6 Halbsättigungszeiten = 12 Stunden.
60-Minuten-Gewebe [= 1 Std] x 6 Halbsättigungszeiten = 6 Stunden.

**F: Wie werden Grundzeiten festgelegt?**
A: Im allgemeinen berechnet derjenige, der die Tabelle entwickelt, ein akzeptables Zeitlimit, um Dekompressions-Krankheit zu vermeiden. Wie bereits festgestellt, besagt die Wahrscheinlichkeit bei jeder Tabelle mit einer großen Anzahl von Testpersonen, daß Nullzeit-Taucher die Caissonkrankheit nicht bekommen. Diejenigen, die Tabellen entwickeln, bemühen sich, ein akzeptables, realistisches Limit mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit von Dekompressions-Krankheit zu finden. Beim Testen der DSAT Tabelle kam es nicht zu Caissonkrankheiten; und Dopplertests zeigten extrem niedrige Blasenwerte (Grad 0-2) - viel geringer als die Werte, die normalerweise mit dem Auftreten der Caissonkrankheit in Verbindung gebracht werden. ["Grad"-Einteilung gem. Spencer, 1974]

**F: Welche Testprotokolle wurden in den Kammern benutzt und wie lang waren die Kammertauchgänge?**
A: Die Länge der in den Kammern ausgeführten Testtauchgänge war viel größer als das, was ein Taucher mit Sporttaucherausrüstung aufgrund der Luftbegrenzungen in Wirklichkeit ausführen könnte. Diese langen Kammertauchgänge waren möglich, da in der Kammer unbegrenzte Luftzufuhr bestand. Einige Grundzeiten überschritten zwei Stunden, wobei der Taucher während des Tauchganges abwechselnd zwei Minuten ruderte und drei Minuten ruhte.
Selbst die Grundzeiten waren weit größer als das, was eine normale Flasche und der Luftverbrauch zulassen würden; sie wurden trotzdem getestet. Die Ergebnisse waren bemerkenswert. Kein Vorkommen von Dekompressions-Krankheit und geringe bis keine (mit Doppler) feststellbaren Blasen.

**F: Erwartet PADI, daß die Taucher sich an die Richlinien zur Verwendung des RDP halten?**
A: Absolut. Es ist an der Zeit, als Philosophie neu zu formulieren, woran wir Jahre geglaubt haben. Das ist: Plane Deinen Tauchgang und tauche nach Deinem Plan. Der Recreational Dive Planner wurde "Tauchgang-PLANER" genannt, um die Bedeutung des Nachdenkens über das, was beabsichtigt ist - vor, während und nach einem Tauchgang - zu betonen. Mit der Gebrauchsanweisung wurden viele Beschränkungen auferlegt. Es ist für die Taucher sehr wichtig, sich an die Gebrauchsanweisung zu halten. Alte und schlechte Gewohnheiten müssen korrigiert und geändert werden.

**F: Wo liegt die Bedeutung der Sicherheits-Stop Empfehlung?**
A: PADI rät bei jedem Tauchgang zu einem kurzen Sicherheits-Stop in 5 Meter Tiefe. Es ist nicht notwendig, dies zur Grundzeit hinzuzuzählen. Sicherheits-Stops sind auch erforderlich (3 Minuten) nach einem Tauchgang auf 30 Meter oder mehr und immer dann, wenn Sie innerhalb der letzten drei Wiederholungsgruppen VOR Erreichen einer Nullzeitgrenze auftauchen. Dies bedeutet dadurch einen zusätzlichen Vorteil, daß der Prozentsatz des absorbierten Gases in den schnelleren Geweben innerhalb von 3 Minuten sehr schnell absinkt. Aus diesem Grund wird für Fehler bei der Auftauchgeschwindigkeit eines Tauchers vorgesorgt, es wird dazu führen, daß Taucher langsamer Auftauchen, da sie wissen, daß sie vor dem endgültigen Auftauchen einen Stop einlegen, und es wird helfen, wenn der Taucher seine Tiefe falsch beurteilt oder einen ungenauen Tiefenmesser verwendet hat und insgesamt die Möglichkeit zu mehr Sicherheit bieten.

**F: Sind die Wiederholungsgruppen und deren alphabetische Bezeichnungen zwischen den Tabellen austauschbar (d.h. zwischen Recreational Dive Planner und US-NAVY Tabelle)?**
A: Nein. Machen Sie nie den Versuch, Wiederholungsgruppen und alphabetische Gruppenbezeichnungen zwischen Tauchtabellen zu tauschen.

**F: Ist es O.K., bis an die Grenzen der Tabellen zu gehen?**
A: Nein. Wir empfehlen Ihnen nicht, bis an die Grenzen des Recreational Dive Planers oder einer anderen Tabelle zu gehen. Ungeachtet wie umfangreich Tabellen getestet wurden, sind es doch nur mathematische Modelle. Da wir Menschen biologische Systeme sind, sind wir individuellen und täglichen physiologischen Schwankungen unterworfen. Aus diesem Grund ist es klug, wo immer möglich, bei der Planung und Ausführung von Sporttauchgängen Sicherheitsfaktoren vorzusehen.

**F: Ist es bei Anwendung des Recreational Dive Planner sicher, mehrere Tage lang mehrfache Wiederholungstauchgänge durchzuführen?**
A: Da zur Zeit wenig über die physiologische Wirkung von Wiederholungstauchgängen über mehrere Tage bekannt ist, wird Tauchern ungeachtet der Tabellen, die sie benutzen, dringend geraten, weniger Tauchgänge durchzuführen und am Ende einer Serie von Tauchgängen über mehrere Tage weniger zu tauchen. Bei der Benutzung des Recreational Dive Planner sind die besonderen Regeln für mehrfache Wiederholungstauchgänge einzuhalten:
Wenn Sie drei oder mehr Tauchgänge an einem Tag planen: a)Wenn, vom ersten Tauchgang an gerechnet, Ihre Wiederholungsgruppe nach einem Tauchgang W oder X ist, beträgt die Oberflächenpause zwischen allen darauffolgenden Tauchgängen mindestens 1 Stunde.
b)Wenn Ihre Wiederholungsgruppe nach einem Tauchgang Y oder Z ist, beträgt die Oberflächenpause zwischen allen darauffolgenden Tauchgängen mindestens 3 Stunden.

# Der Recreational Dive Planner: Es gibt ihn in zwei Versionen

PADI *Undersea Journal* 1/88

Vor drei Jahrzehnten stellte die US-NAVY für ihre Tauchtabellen Forschungen an und gründete Ihre Untersuchungen auf die Bedürfnisse ihrer Taucher, die damals vorherrschenden Theorien und Tests mit Tauchern. Seitdem wurden diese Tauchtabellen und die Vielzahl der von ihnen abgeleiteten Versionen von Sporttauchern zur Planung ihrer Tauchgänge verwendet.

* * * * * *

**Denken Sie daran - Tabellen für Sporttaucher würden sich erheblich von den US-NAVY Tabellen unterscheiden.**

* * * * * *

Obwohl Sporttaucher die US-NAVY Tauchtabellen jahrelang sicher benutzt haben, waren die US-NAVY Tauchtabellen eben doch nach den Bedürfnissen der Taucher der US-NAVY - und nicht nach denen der Sporttaucher - erstellt worden. Wenn Sie darüber nachdenken, würden sich Tauchtabellen für Sporttaucher sehr von den US-NAVY Tauchtabellen unterscheiden. Tauchtabellen für Sporttaucher:

1. wären einfacher zu benutzen und leichter zu unterrichten als herkömmliche Tauchtabellen.
2. würden vorsichtigere Werte von im Blut absorbiertem Stickstoff aufweisen.
4. Tauchprofile für Multilevel-Tauchgänge zulassen, die durch Anrechnung von langsamerer Stickstoffabsorption in geringeren Tiefen die Tauchzeit erhöhen würden.
5. wären nach dem neuesten Stand der Einrichtungen, Verfahren und Testgeräte der hyperbarischen Forschung erforscht.

So wie der Zweischlauchautomat vom Einschlauchautomat verdrängt wurde, ist es jetzt an der Zeit, daß die US-NAVY Tabellen, soweit die Sporttaucher betroffen sind, durch die nächste Generation ersetzt werden ...

## Einführung des "Wheel"

[Bildunterschrift: Mit der "Wheel"-Version des Recreational Dive Planner können Sie leicht Tauchgänge mit einer einzigen Tiefe, Wiederholungstauchgänge und jetzt auch Multilevel-Tauchgänge planen. Im unteren Ausschnitt abgebildet ist die 2. Seite.]

Sie sieht anders aus weil sie anders ist - nicht nur eine aufgewärmte US-NAVY Tauchtabelle. Das "Wheel" ist die leicht zu benutzende Version für Multilevel-Tauchgänge des Recreational Dive Planner von DSAT (Diving Science & Technology, einer Konzerngesellschaft von International PADI, Inc.), die erste Tauchtabelle, die speziell für die Verwendung durch Sporttaucher erforscht und entwickelt wurde, die einfache Tauchgänge, Wiederholungstauchgänge und Multilevel-Tauchgänge durchführen. Bei dem US-NAVY werden neue Gewebe-Halbsättigungszeiten und ein revolutionäres, leicht handzuhabendes Format eingesetzt.

## Wie das "Wheel" arbeitet

o Neue Gewebe-Halbsättigungszeiten. Das "Wheel" basiert auf anderen Stickstoffabsorptionszeiten als die US-NAVY Tauchtabellen, Werte, die dem Sporttauchen angemessener sind. Dieser neue Ansatz, der durch umfangreiche Tests mit Dopplerüberwachung in einer hyperbarischen Kammer und in offenem Wasser geprüft wurde, hilft bei der Ausdehnung der Zeit von Wiederholungstauchgängen und macht Multilevel-Tauchgänge möglich und ist dabei vorsichtiger als die US-NAVY Tauchtabellen.

o Neues Format: Durch das revolutionäre Design des "Wheel" werden Tauchprofile mit einer Genauigkeit verfolgt, die in tabellarischen Formaten niemals möglich gewesen wären. Der muschelförmige Verlauf der Tiefenkurven ermöglicht die Berechnung in Schritten von fünf Fuß bis zu einer Tiefe von 100 Fuß, die Tauchzeit wird in Minuten eingestellt. Durch größere Präzision werden unnötige Zeitbeschränkungen auf ein Minimum reduziert, die durch bei herkömmlichen Tauchtabellen erforderliches übermäßiges Aufrunden verursacht werden.

Das Format des "Wheel" ist leichter zu unterrichten, einfacher zu benutzen und leichter zu lernen. Durch seine Anordnung wird der Zeitzuschlag automatisch berücksichtigt und schließt somit die Konfusion aus, die sich üblicherweise bei der Berechnung von Wiederholungstauchgängen ergibt. Dies bedeutet, daß Tauchlehrer feststellen werden, daß die Schüler das "Wheel" schneller beherrschen als herkömmliche Formate und weniger Fehler machen.

* * * * * *

## Das "Wheel" macht Multilevel-Tauchgänge möglich.

* * * * * *

Das "Wheel" macht Multilevel-Tauchgänge möglich. Wenn er Das "Wheel" benutzt, kann der Taucher Tauchgänge für aufeinanderfolgende geringere Tiefen planen und erhält eine Anrechnung für langsamere Stickstoffaufnahme beim Auftauchen. Multilevel-Tauchgänge, die mit dem "Wheel" geplant werden, sind nicht auf die Nullzeitgrenze der größten Tiefe beschränkt, wie dies bei herkömmlichen Formaten erforderlich war.

## Einführung des Recreational Dive Planner (Tabellen-Version)

DSAT hat auch den Recreational Dive Planner in einer Tabellen-Version entwickelt. Auf jene zugeschnitten, die vielleicht die herkömmliche Tabellenanordnung bevorzugen, hat das Format, außer daß die Ergebnisse neuer Forschung, neue Gewebe-Halbsättigungswerte und kürzere Oberflächenpausen benützt werden, identische Funktion und ähnliches Design wie die bisherigen PADI Tauchtabellen (die auf den US-NAVY Tauchtabellen beruhten). Die Tabellen-Version des Recreational Dive Planner bietet die bekannten Tiefenschritte von 2, 3 bzw. 5 Metern und die neuen, kürzeren Oberflächenpausen, kann jedoch nicht für Multilevel-Tauchgänge eingesetzt werden.

# Der Recreational Dive Planner: Geschichte & Entwicklung

von Drew Richardson, Training Director, PADI

Der Recreational Dive Planner ist das Ergebnis dreijähriger Forschung, Tests, Entwicklung und Zusammenarbeit der Wissenschaftler vom Institut für Angewandte Physiologie und Medizin (IAPM), Dr. Raymond E. Rogers, der die ursprüngliche Hypothese aufstellte und die Tauchtabelle entworfen hat; von Diving Science & Technology Corporation (DSAT), einer Konzerngesellschaft von International PADI, Inc; Dr. Michael Powell, in Zusammenarbeit mit SeaUs; Dr. Richard Vann von den H.G. Hall Laboratories der Duke University; in Zusammenarbeit mit Divers Alert Network (DAN) als Prüfer und Berater; sowie Karl Huggins, dem Berater beim Design der Tauchtabelle.

## Das Grundprinzip des Recreational Dive Planner

Die US-NAVY Tauchtabellen sind die Tauchtabellen, die von Sporttauchern in den USA, wenn nicht sogar weltweit am meisten benutzt werden. Statistiken des Divers Alert Network zeigen, daß die Sporttaucher in den USA die US-NAVY Tauchtabellen sicher verwenden. Warum also neue Tauchtabellen?

## Maßgeschneiderte Tauchtabelle gegenüber Massenware

Schon seit Jahren werden die Nachteile der US-NAVY Tauchtabellen für die spezifischen Bedürfnisse der Sporttaucher diskutiert. Die Geschichte der US-NAVY Tauchtabellen zeigt, daß sie in den 50er Jahren entwickelt wurden, um die Einführung der Tauchgeräte wiederzugeben und die alten US-NAVY Tauchtabellen zu verbessern, die erstmals 1937 veröffentlicht worden waren. In den Tauchtabellen von 1937 waren keine Regeln für Wiederholungstauchgänge vorgesehen.

Die US-NAVY Tauchtabellen waren ursprünglich für Dekotauchgänge von Militär- und Berufstauchern entwickelt worden, die von der Oberfläche aus versorgt wurden, d.h. die sich bei einem einzelnen Tauchgang solange in einer bestimmten Tiefe aufhalten konnten, bis ihre spezifische Aufgabe erledigt war. Diese Tauchtabellen waren und sind noch heute reine Dekompressionstabellen und nicht Nullzeittabellen für Sporttaucher.
Mit den sich ändernden militärischen Bedürfnissen wurde es schließlich erforderlich, Tauchtabellen zu entwickeln, die Tauchern bei militärischen Einsätzen Wiederholungstauchgänge ermöglichen und Gasabgabe beim Aufenthalt an der Oberfläche berücksichtigten. In den von der US-NAVY entwickelten Dekompressionstabellen wurde die "Oberflächenpausentabelle" so ausgelegt, daß Wiederholungstauchgänge möglich wurden. Da die ursprünglichen Tauchtabellen für Dekotauchen bei einem langen Einzeltauchgang vorgesehen waren, kam die Berücksichtigung der Möglichkeit von Wiederholungstauchgängen erst später: die Tauchtabellen wurden entsprechend modifiziert.
Tauchprofile von Sporttauchern unterscheiden sich von Tauchprofilen von Berufstauchern. Sporttaucher unterliegen der Einschränkung durch die Luftmenge, die sie mitführen können und sind somit in ihrer Unterwasserzeit begrenzt. Da der Sporttaucher regelmäßig an die Oberfläche kommen muß, um seine Luftzufuhr wieder zu ergänzen, liegt es in der Natur von Sporttauchern, Wiederholungstauchgänge auszuführen. Auch bewegen sich Sporttaucher am Grund und wechseln oft die Tiefe. An diesen Punkten unterscheidet sich das Verhalten von militärischen und Sporttauchern. Folglich erlegen die US-NAVY Tauchtabellen, die primär für Einzeltauchgänge in einer Tiefe vorgesehen waren, Sporttauchern oft unnötige Einschränkungen auf. Um auf die Verhaltensunterschiede von Sporttauchern einzugehen, wurde beim Recreational Dive Planner ein grundlegend neuer Ansatz für eine Nullzeittauchtabelle eingesetzt.

## Eingaben von Wissenschaftlern im hyperbarischen Bereich für Forschungsarbeiten

In den letzten Jahren hat man begonnen, sich mit allgemeiner Übereinstimmung bei medizinischen Tagungen von den US-NAVY Tauchtabellen zu entfernen, die seit dem Ende der 50er Jahre die Norm für alle Taucher waren. Beispiele dazu finden sich in Veröffentlichungen von beachtenswerten Physiologen und Forschern aus dem Bereich der hyperbarischen Forschung.
Anfang der 70er Jahre [1971, 1972, 1974] entdeckte Dr. Merill Spencer von IAPM unter Verwendung von Doppler Ultraschall-Technologie, daß es bei Tauchern, die Tauchgänge gemäß den US-NAVY Tauchtabellen ausführten, zu venöser Gasembolie kam, bekannt als "stille Blasen". Diese kleinen Blasen führten selbst in großer Anzahl beim Taucher nicht zu Symptomen der Dekompressionskrankheit. Aus diesem Grund werden venöse Gasembolien manchmal als ASYMPTOMATISCHE Dekompressions-Krankheit bezeichnet.
Dr. Andrew Pilmanis, vom Catalina Marine Science Center der University of Southern California, der ebenfalls die Dopplertechnologie einsetzte, veröffentlichte Forschungsergebnisse zu venösen Gasembolien, die bei Nullzeitgrenzen der US-NAVY festgestellt wurden.
Die Entdeckung der Bildung von Blasen bei Dekotauchgängen heizte die wissenschaftlichen Diskussionen und Reaktion bezüglich der Angemessenheit der US-NAVY Tauchtabellen für Zwecke der Sporttaucher an.
In einem Versuch zur Verringerung des Auftretens von venösen Gasembolien nach Dekotauchgängen mit Verwendung der US-NAVY Tauchtabellen empfahl Dr. Bruce Basset von Underwater Biology Incorporated 1982 vorsichtigere Nullzeitgrenzen. Diese Grenzen stellen im wesentlichen kürzere Grundzeiten für jede Tiefe dar.
Als Antwort auf die Beunruhigung in medizinischen Kreisen im Zusammenhang mit venöser Gasembolie schrieb Divers Alert Network bei der Duke University in Raleigh/Durham, North Carolina.
"Es wird zur Zeit auf breiter Ebene erörtert, ob die US-NAVY Tauchtabellen für sicheres Sporttauchen geeignet sind. Häufig wird die Besorgnis ausgedrückt, daß einige Profile zu lang sind und ein höheres Risiko für die Caissonkrankheit bilden und daß andere Profile die Tauchzeit unfair bestrafen und daher unnötig vorsichtig sind."
Karl Huggins, von der University of Michigan und mit der Entwicklung von Tauchtabellen befaßt, bat die Sporttauchindustrie, das Thema der Benutzung der US-NAVY Tauchtabellen anzusprechen:
"...Auch bin ich der Ansicht, daß wir die Prüfbehörden ermutigen sollten, mit Tauchphysiologen, Dekompressionsexperten und der Undersea [and Hyperbaric] Medical Society zusammenzuarbeiten, um

Tauchtabellen zu entwickeln, die auf Sporttaucher und nicht auf militärische oder Berufstaucher ausgelegt sind, anstatt herumzusitzen und darauf zu warten, daß neue Tauchtabellen auftauchen."
Genau das wurde mit dem Recreational Dive Planner erreicht.

## Die Hypothese

Die Menge der Gasaufnahme in einem Gewebe wird als Gas-Partialdruck ausgedrückt. Der Körper setzt sich aus zahlreichen Geweben zusammen, die aufgrund einer Vielzahl von Variablen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit Stickstoff absorbieren (Gasaufnahme) und abgeben (Gasabgabe).
Theoretisch müßten optimale Tauchtabellen die Feststellung von Gaspartialdrücken in jedem einzelnen Gewebe bei der Gasaufnahme während des Tauchganges und der Gasabgabe während der Oberflächenpause zulassen. Die Planung des nächsten Tauchganges und die Notwendigkeit zur Dekompression würde auf der Grundlage der Gasaufnahme im sogenannten "KONTROLLGEWEBE" erfolgen, dem Gewebe, das seinem maximalen sicheren Wert für Gasgehalt am nächsten gekommen ist. Dies wird von vielen der kleinen und beliebten Tauchcomputer ausgeführt.

Bei der Berechnung von Gewebegasdrücken wird das Konzept der HALBSÄTTIGUNGSZEIT eingeführt. Halbsättigungszeit ist die erforderliche Zeit, damit der Gasdruck in einem Gewebe bis auf die Hälfte des Gasdrucks außerhalb des Gewebes ansteigen oder abnehmen kann.
Zur Vereinfachung ist die Oberflächenpausen-Tabelle der US-NAVY auf der Basis eines Kontrollgewebes berechnet, das eine Halbsättigungszeit von 120 Minuten hat. Dadurch werden alle Tauchsituationen, einschließlich der schwersten Dekotauchgänge, die bei den Bedürfnissen der US-NAVY angetroffen werden, abgedeckt. Die Entscheidung der US-NAVY für eine Gewebe-Halbsättigungszeit von 120 Minuten war für militärisches Tauchen angebracht, jedoch für die Verwendung durch Sporttaucher unrealistisch. Für den Sporttaucher drückt sich dies in Wiederholungstauchgängen aus, die unnötig vorsichtig sind.
Da er den Nachteil für den Sporttaucher erkannte und in der Bemühung, auf die Bitten der Wissenschaftler zu antworten, begann Dr. Raymond Rogers mit der Suche nach einem passenderen Kontrollgewebe für Sporttaucherprofile. In den frühen 80er Jahren setzte Dr. Rogers umfangreiche Computeranalysen ein, um festzustellen, daß ein Gewebe mit einer Halbsättigungszeit von 40 Minuten fast alle Tauchprofile abdeckt, die von einem Sporttaucher ausgeführt würden. Er stellte jedoch fest, daß ein geringer Prozentsatz von Profilen, hauptsächlich mit einer Reihe von langen Tauchgängen in geringer Tiefe, ein langsameres Gewebe als das 40-Minuten-Gewebe erforderte. Da die Sicherheit des Tauchers an erster Stelle stand, wurde als Grundlage des Recreational Dive Planner ein Gewebe mit einer Halbsättigungszeit von 60 Minuten gewählt. Das 60-Minuten-Gewebe deckt, bei nur geringfügig kürzeren Grundzeiten als das 40-Minuten-Gewebe, alle Profile ab.
Ein mit "60 Minuten" bezeichnetes theoretisches Gewebe-Kompartioment war für viele Forscher, die die herkömmlichen Halbsättigungszeiten von 5, 10, 20, 40, 80 und 120 Minuten verwandten, ein neues Konzept. Da es sich bei Halbsättigungszeiten um mathematische Konzepte handelt und sie sich nicht auf ein bestimmtes Gewebe beziehen, besteht kein Grund zur Verwendung der traditionellen Zahlen. Bei der Beurteilung der Berechnungen von Tiefen und Tauchzeiten für Sporttaucher stellte sich heraus, daß eine Gewebe-Halbsättigungszeit von 60 Minuten näher bei den theoretischen Bedürfnissen der Sporttaucher lag als andere Halbsättigungszeiten. Offen blieb die Beantwortung der Frage, wie sicher es wäre, mit dem 60-Minuten-Gewebe als Kontrollgewebe Wiederholungstauchgänge auszuführen.

## Die Tests

Die Tests des Recreational Dive Planner setzten sich aus Tests in der hyperbarischen Kammer und im Freiwasser zusammen. Unter Verwendung der Forschung und Hypothese von Dr. Rogers leitete Dr. Michael Powell, Leiter der hyperbarischen Forschung am Institut für Angewandte Physiologie und Medizin (IAPM) die Tests für speziell für den Sporttaucher entwickelte Tauchprofile ab: Multilevel-Tauchgänge und Wiederholungs-Multilevel-Tauchgänge. Die Forschung mußte die Arbeit von Dr. Rogers bestätigen oder widerlegen.

Als Zielsetzung wurden bei den Tests beim IAPM die Körper der Testpersonen eine bestimmte Zeit Stickstoff unter Druck ausgesetzt und der Grad der Übersättigung vorhergesagt, der beim Auftauchen sicher toleriert würde. Bei der Untersuchung wurde eine große Gruppe von freiwilligen Tauchern eingesetzt, die in der hyperbarischen Kammer und Freiwasser spezifische Tauchprofile einhielten. Ein Ultraschall-Dopplerdurchfluß-messer war aufgrund seiner Fähigkeit zur Feststellung der ersten im Körper auftretenden stillen Blasen das Hauptwerkzeug, das bei der Bewertung der Testprofile eingesetzt wurde. Durch Reduzierung der stillen Blasen auf ein Minimum wird auch das Auftreten der Dekompressionskrankheit auf ein Minimum reduziert. Eine Überlegung bei den Tests war, maximale Gasaufnahmen bei den Tauchern zu erreichen, weit größer als die Gasaufnahmen, die im Wasser bei Tauchern vorkommen, die Tauchgeräte verwenden. Sporttaucher mit begrenztem Luftvorrat waren nicht in der Lage, nahe an eine vergleichbare Menge der Absorption von Stickstoff heranzukommen, die bei den Kammertests erreicht wurde. Zur Maximierung der Gasaufnahme der Gewebe führten die Testpersonen Übungen auf Rudergeräten aus und zur Steigerung des Blutkreislaufs wurde die Temperatur gesteuert.

## Testbeschreibung

An den hyperbarischen Kammertests nahmen 79 männliche und 73 weibliche Taucher teil. Aus Tabelle 1 geht hervor, daß diese Gruppe die Gemeinde der Sporttaucher in Bezug auf Alter, Verteilung der Geschlechter und Prozentsatz von Körperfett wiederspiegelt. Für diese Untersuchung wurde ausdrücklich nicht der Versuch unternommen, junge sportliche Männer als Testpersonen einzusetzen, sondern ein vollständiges Spektrum der Gemeinde der Sporttaucher. Die Testtaucher wurden aus dem Kreis der Sporttaucher im Gebiet des Puget Sound ausgewählt.

Die Tauchgänge wurden zwischen 9 und 21 Uhr zu unterschiedlichen Zeiten in einer Kammer von 4,5 Fuß (Durchmesser) mal 15 Fuß (Länge) und mit Verwendung von Druckluft durchgeführt. Die Kammertemperatur wurde zwischen 75 und 77 Grad (Fahrenheit) gehalten, der Kohlendioxidgehalt überstieg nie die Konzentration, die 0,5 % in Höhe des Meeresspiegels entspricht. Der Puls wurde durch Übungen auf einem Rudergerät mit einem Zyklus einer Unterbrechung von 2 Minuten bei Tauchgängen bis zu 30 Minuten und drei Minuten bei Tauchgängen von mehr als 30 Minuten erhöht. Rudergeschwindigkeit und Federwiderstand der Rudergeräte wurden fest eingestellt, so daß das Arbeitspensum in Meereshöhe 1,2 Liter Sauerstoff in der Minute erreichte. Auftauchen und Tauchen geschah mit 18 Meter in der Minute.

Nach der Dekompression verließen die Taucher die Kammer und wurden ca. 15 - 20 Minuten später mit Dopplergeräten auf das Vorhandensein von Gasblasen untersucht. Die festgestellten Blasen wurden entsprechend der zum ersten Mal von Dr. Spencer [Spencer und Johanson, 1974] verwendeten "Grad"-Skala eingeteilt (Siehe Tabelle 2.)

Aus zahlreichen von Powell 1982 berichteten früheren Untersuchungen, bei denen Ratten, sowie Untersuchungen von Powell und Johanson 1985, bei denen Testpersonen eingesetzt wurden, scheint das Auftreten der Dekompressionskrankheit sehr selten zu werden, wenn keine Blasen festgestellt werden, die größer als Grad 1 sind. Dies wurde von Dr. Richard Vann an der Duke University (North Carolina) bei mehr als 800 Tauchern festgestellt.

Dies ist für die Bewertung von Wiederholungstauchgängen und Profilen für Sporttaucher von Bedeutung. In einer Reihe von mehr als 300 Tauchgängen, wie bei den Tests für den Recreational Dive Planner, würden keine Fälle von Dekompressionskrankheit zu erwarten sein. Um den "Sicherheitsgrad" zu bestimmen, ist ein objektives Maß erforderlich und die Feststellung mit Doppler bietet dem Forscher dieses Maß dadurch, daß ihm die Feststellung gestattet wird, wie nahe eine Testperson an die Schwelle herankommt, bei der es wahrscheinlich zur Dekompressionskrankheit kommt, ohne tatsächlich Symptome zu entwickeln. Die Anwendung des Doppler-Detektors hat nicht nur praktische, sondern auch medizinisch-rechtliche Gründe.

Zusätzlich zu den Kammertauchgängen wurde im Puget Sund (bei Seattle) eine Reihe von Tauchgängen im Freiwasser ausgeführt. Die Taucher trugen nach ihren Präferenzen entweder Naß- oder Trockenanzüge. Wenn man berücksichtigt, daß die Temperaturen im Puget Sund im Sommer durchschnittlich 12,2 Grad Celsius betrugen, waren die Tauchprofile anstrengend. Nach dem Auftauchen wurden die Testpersonen auf dem Boot oder an Land mit Doppler untersucht. Alle Dopplerwerte wurden aufgezeichnet und später im Labor analysiert. In Fällen, in denen es fraglich war, ob Blasen festgestellt wurden, wurden diese als Blasen

unterstellt. Somit kann in manchen Fällen Grad 1 in Wirklichkeit Grad 0 bedeuten. Anatomische Beschränkungen schlossen manchmal die Optimierung eines Dopplersignals aus; wenn Zweifel bestanden, wurde angenommen, daß Blasen festgestellt worden waren.

## Testergebnisse

In keinem Test, weder in der hyperbarischen Kammer oder in offenem Wasser, wurden Fälle von Dekompressionskrankheit festgestellt. Gelegentliches Hautjucken bei den Kammer-Testpersonen wurde festgestellt (bei Kammertauchgängen nichts ungewöhnliches) und bei einer für dieses Problem anfälligen Testperson traten zwei Fälle von Migräne auf.

Mit Doppler feststellbare Blasen wurden bei 4% der Profile festgestellt. Bei Testpersonen, die während der Dekompression Kniebeugen machten, wurden in 12% der Profile Blasen festgestellt. Der mittels Doppler festgestellte "Spencer-Grad" der Blasen bei ruhenden Testpersonen war fast ausschließlich Grad 1. Der Grad im Anschluß an Übungen war meist 1 und 2, eine Testperson zeigte Grad 3. Einige dieser Blasen-Grade konnten von etwas anderem als Blasen im Blut hervorgerufen sein, wie jedoch bereits erwähnt, wurde im Zweifelsfall für Gasblasen und eine höhere Stufe entschieden.

## Diskussion

Die Ergebnisse dieser Tests besagen, daß es sicher ist, Wiederholungstauchgänge anzustellen, bei denen das 60-Minuten-Gewebe das Kontrollgewebe ist und daß diese Tauchgänge eine minimale Gasphase (Blasen) zur Folge haben.

Bei den Tests wurden die wissenschaftlichen Arbeiten, die den Hintergrund der neuen Generation von Tauchtabellen, des Recreational Dive Planner, bilden, klar bestätigt ("validiert").

## Neue Tauchtabellen / neue Vorteile

Da die Tauchtabellen der DSAT als Basis für ein Wiederholungssystem, das in eine größere Anzahl von Wiederholungsgruppen eingeteilt ist, ein viel schnelleres Kontrollgewebe einsetzen, erfolgen Anrechnungen für Oberflächenpausen viel schneller. Bei Benutzung dieser Tabellen kann der Taucher in nur 4 bis 5 Minuten die Wiederholungsgruppen wechseln. Beispielsweise wechselt der Taucher im Anschluß an eine Oberflächenpause von 30 Minuten nach einem typischen Tauchgang 5 bis 8 Wiederholungsgruppen. Dies wird besonders dramatisch, wenn mehr als zwei Tauchgänge ausgeführt werden. Tauchgänge, die von den US-NAVY Tauchtabellen vollkommen verboten waren, können bei Verwendung der DSAT Tabellen angemessen lange Grundzeiten haben. Die scheinbaren Gegensätze entstammen der Verwendung einer Halbsättigungszeit von 60 Minuten im Vergleich zu einer Halbsättigungszeit von 120 Minuten.

Zusammenfassend:

1. Die DSAT Tauchtabellen wurden für Sporttaucher entwickelt und verwenden vorsichtige Grenzen zur Reduzierung der Bildung von Stickstoffblasen auf ein Minimum oder zu deren Vermeidung selbst bei Werten, die keine Dekompressionskrankheit verursachen.
2. Die DSAT Tauchtabellen wurden umfangreichen Tests mit Material unterzogen, das nicht zur Verfügung stand, als die US-NAVY Tauchtabellen entwickelt wurden.
3. Die DSAT Tauchtabellen basieren auf einem theoretischen Gewebe, das viel schneller als jenes ist, das als Basis für die US-NAVY Tauchtabellen verwandt wurde, und führt somit zu realistischen Anrechnungen für Oberflächenpauseen und längere Wiederholungstauchgänge.

## Daten der Testpersonen

**Durchschnittsalter**
männlich 32,7 (von 22-52 Jahren)
weiblich 31,3 (von 23-44 Jahren)
**Körperfett (Körpermassenindex, Gewicht/Größe)**
männlich 21,1%
weiblich 27,4%
**Durchschnittliche Taucherfahrung**
9,7 Jahre (von 1-38 Jahren)

- Tabelle 1 -

## Grad der mit Doppler festgestellten Blasen
["Grad"-Einteilung gem. Spencer, 1974]

| Grad | Beschreibung | Bedeutung |
|---|---|---|
| 0 | keine Blasen | SICHER |
| 1 | weniger als 1 Blase je Herzschlag | SICHER |
| 2 | 1-5 Blasen je Herzschlag | SICHER |
| 3 | 10-20 Blasen je Herzschlag | LEICHT UNSICHER |
| 4 | mehr Blasen als gezählt werden können | UNSICHER |

- Tabelle 2 -

# * * NEUE ZIELE DER HYPERBARISCHEN FORSCHUNG * *

## Wissenschaftler testen neue Tauchtabellen für Sporttaucher

von Dr. Michael Powell, *UJ* 4/87

Anm. des Hrsg.: Das Institut für Angewandte Physiologie und Medizin (IAPM) führt zur Zeit eine von Diving Science & Technology Corp., einer Konzerngesellschaft von International PADI, Inc. in Auftrag gegebene Untersuchung von Tauchprofilen durch. In diesem Artikel erörtert Dr. Powell die verschiedenen Faktoren und Herausforderungen, die zu berücksichtigen sind, wenn eine Studie dieser Größenordnung entworfen und durchgeführt wird.

[Bildunterschrift:
Dr. Powell (rechts) und seine Mitarbeiterin, Vivian Kizer, am Bedienungspult der Tauchkammer.]

Tauchtabellen sind so zu entwickeln, daß sie das Gleichgewicht zwischen der maximalen Grundzeit und der geringsten Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Gasphase (Blasen) bei Sporttauchern beibehalten. Während die US Navy Tauchtabellen von manchen Sporttaucher mit Stolz und Respekt behandelt und von anderen verachtet werden, sind sie nichtsdestoweniger die Tauchtabellen, die von Sporttauchern in den USA, wenn nicht sogar weltweit, am meisten eingesetzt werden.

### Einige Nachteile der US Navy Tauchtabellen für Sporttaucher

Wie den meisten Tauchprofis bekannt ist, haben die US Navy Tauchtabellen einige Nachteile für Sporttaucher. Zum ersten sind es echte Dekompressionstabellen; ihr hauptsächlicher Verwendungszweck ist für Taucher bestimmt, die von der Oberfläche versorgt werden und in einer bestimmten Tiefe bleiben können, bis die Aufgabe erfüllt ist oder zumindest bis zu einem Punkt, wo die Umweltbedingungen, wie beispielsweise Kälte, zum Abbruch des Tauchganges führen.
Zum zweiten hat die Aufgabenstellung beim militärischen oder berufsmäßigen Tauchen gewöhnlich die Erledigung einer bestimmten Arbeit in einer bestimmten Tiefe zum Ziel. Sporttaucher hingegen bewegen sich auf dem Grund und wechseln sehr häufig die Tiefe, d.h. sie führen Tauchgänge mit unterschiedlicher Tiefe aus. Da der Sporttaucher auftauchen muß, um seine Luftversorgung wieder zu ergänzen, liegt es in der Natur des Sporttauchens, daß Wiederholungstauchgänge ausgeführt werden. An diesem Punkt von Multilevel Tauchgängen und Wiederholungstauchgängen unterscheiden sich der Sporttaucher und der US Navy Taucher. Folglich hat der Sporttaucher einen geringeren Nutzen von den US Navy Tauchtabellen. Aus diesen Gründen wurde die Forschung bei IAMP auf das Testen von Tauchprofilen gerichtet, die spezifisch für den Sporttaucher entwickelt worden waren, d.h. Tauchgänge mit unterschiedlichen Tiefen und Wiederholungstauchgänge.

### Testen der Blasenbildung

Während realistisch gesehen die einzige Möglichkeit der Reduzierung der Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Gasphase darin liegt, eine Grundzeit von Null zu haben, ist man in der wirklichen Welt gewöhnlich nicht so vorsichtig. In der Praxis hat der Taucher, der über genügend vorsichtige Tauchtabellen verfügt und diese richtig anwendet, die Dekompressionskrankheit nur in sehr geringem Maße zu befürchten.
Obwohl diese Tauchtabellen gewöhnlich auf einer Theorie und einem Algorithmus basieren, kann nichts mit tatsächlichen empirischen Testmethoden verglichen werden, d.h. Testen mit wirklichen Versuchen. Aus diesem Grund sollten empirische Versuche in der Kammer und im Wasser den endgültigen Test für jede Tauchtabelle darstellen. Empirismus gibt die endgültige Beurteilung - und das Doppler-Ulraschallgerät das Hauptwerkzeug zur Durchführung dieser Tests. Dopplermethoden werden zur Feststellung des frühen Auftretens von stillen Blasen eingesetzt, d.h. der Gasphase, die in zu geringer Menge vorhanden ist, als daß sie physiologische Störungen hervorruft. In während der letzten zehn Jahre durchgeführten Untersuchungen

wurde statistisch nachgewiesen, daß solche Profile, die im Anschluß an die Dekompression (Aufstieg aus der Tiefe) wenige stille Blasen hervorrufen, auch diejenigen Profile sind, die letztlich eine minimale Wahrscheinlichkeit oder Auftreten von Dekompressionskrankheit hervorrufen, wenn sie bei Versuchen eingesetzt werden.
Ultraschallmethoden sind direkt, sensibel und objektiv, doch werden mit ihnen nur die zirkulierenden Blasen festgestellt und nicht die Gasphase, die sich in den Sehen und Bändern der Gelenke bildet. Die stationäre Gasphase in diesen Geweben ist für Gliederschmerzen verantwortlich (Caissonkrankheit). Dadurch wurde die DopplerMethode zur Feststellung von Blasen auf Laborsituationen wie zum Beispiel zum Testen von Tabellen beschränkt und ihre weitere Verwendung als individualisierter Dekompressionsmesser in Echtzeit herabgesetzt.
Testen von Tauchtabellen ist relativ unkompliziert. Im wesentlichen setzen wir bei unseren Tests den Körper des Tauchers eine bestimmte Zeit lang Inertgas aus und gehen dann bis auf einen Wert der Übersättigung hinauf, der als sicher vorrausgesagt wird. Wir möchten beim Testen so weit wie möglich die Faktoren nachahmen, die in der Umgebung der Trockenkammer einen Anstieg der Gewebegasbelastung bewirken. Wenn ein Profil getestet wird, möchten wir ein Maximum an Gasaufnahmen bei den Tauchgängen in den Kammertests ausführen, mehr als im Wasser möglich sind. In einigen Fällen erfolgt dies bei manchen Profilen automatisch, da Taucher in der Kammer keiner Begrenzung der Luftversorgung unterliegen. Ein Sporttaucher wäre aus dem einfachen Grund der Beschränkungen von Zeit und Tiefe, die aufgrund der beschränkten Luftversorgung bestehen, nie in der Lage, seine Gewebe mit vergleichbaren Mengen von Gas zu sättigen. Beispielsweise würde ein 24stündiger Kammertauchgang in einer Tiefe von 35 Fuß keine besondere Schwierigkeit darstellen, wohingegen die Ausführung eines solchen Versuchs im Freiwasser praktisch unmöglich wäre.
Auch andere Faktoren zur Maximierung der Gasaufnahme des Gewebes bei Kammertauchgängen wurden von uns eingeführt. Den langen Grundzeiten fügten wir zusätzlich Übungen auf Rudergeräten hinzu. Die Testpersonen sitzen mit ausgestreckten Beinen auf dem Boden und die Temperatur in der Kammer wird bei 75 bis 77 Grad Fahrenheit gehalten. Diese Faktoren tragen zu verstärkter Blutzirkulation zu den Extremitäten bei und maximieren die Gasaufnahme. Sowohl Tauchgänge auf einer Ebene als auch in unterschiedlichen Tiefen wurden von den Tauchern absolviert; alle Tauchgänge waren ihrer Natur nach Wiederholungstauchgänge.
In dem zur Entwicklung der US Navy Tauchtabellen verwandten Algorithmus wurden Vorkehrungen zur Berechnung der Gasaufnahme in einem Gewebe getroffen, dessen Halbsättigungszeit 120 Minuten beträgt. Dies war das von der US Navy zur Berechnung der Tabelle der Oberflächenpausen verwendete Gewebe. Das 120-Minuten-Gewebe kann weiterhin Gas aufnehmen, wenn der Taucher von der Oberfläche aus versorgt wird. Beispielsweise wäre ein 120-Minuten-Gewebe nach einem Tauchgang von 42 Minuten in 140 Fuß, 65 Minuten in 100 Fuß oder 168 Minuten in 50 Fuß Tiefe an der Sättigungsgrenze angelangt; dies liegt nicht außerhalb der Möglichkeiten eines von der Oberfläche aus versorgten Tauchers, sicherlich jedoch außerhalb des Bereiches für jeden Taucher mit Tauchgeräten.
Das längste Gewebe, das beim Sporttauchen bis in die Nähe seines Höchstwertes aufgeladen wird, ist das 60-Minuten-Gewebe, und dieses Gewebe wurde bei den zur Zeit geprüften Tauchtabellen zur Berechnung der Tabellen für Gasabgabe und Oberflächenpausen verwandt. Dies führt zu einer besseren Annäherung an die echte Situation, die vom Sporttaucher angetroffen wird und zu einer Tabelle, die den teureren, nichstdestoweniger beliebten Dekompressionscomputern sehr nahekommt, die von Tauchern mitgeführt werden.
Im Anschluß an das Verlassen der Kammer wurden die Taucher mit einem Doppler-Ultraschallgerät untersucht. Durch Anbringen einer Sonde außen auf der Haut über der Lungenarterie können Gasblasen aus allen Körpergeweben festgestellt werden, während sie dieses Gefäß, das zwischen Herz und Lunge liegt, durchfließen.
In unserer Reihe von Tauchgängen wählten wir bewußt ältere Personen aus. Unser Durchschnittsalter liegt bei ca. 33 Jahren und fast ein Drittel unserer Testpersonen sind Frauen. Einige der Testtaucher waren in guter körperlicher Konstitution, andere hingegen können recht euphemistisch als eher gesetzt beschrieben werden. Feststellbare Gasblasen können als extrem selten beschrieben werden. Mit Ausnahme von

Hautjucken, das oft bei Tauchgängen in der Kammer auftritt, wurde kein Fall von Dekompressionskrankheit festgestellt.
Die Ergebnisse dieser Tauchversuche zeigen, daß Tauchtabellen für Wiederholungstauchgänge für Sporttaucher, die auf der Basis der Gasabgabe des 60-Minuten-Gewebes berechnet wurden, praxisgerecht angelegt sind. Die Feststellung eines solch minimalen Vorkommens der Entstehung einer Gasphase im Anschluß an Dekompressionen deutet darauf hin, daß die identischen Gleichungen für Gasaufnahme und Abgabe zur Berechnung des ersten und der folgenden Tauchgänge eingesetzt werden können. Dies ist von äußerster Wichtigkeit. Ein feststellbares Vorkommen der Entstehung einer Gasphase bei den folgende Tauchgängen würde bedeuten, daß die Halbsättigungszeiten der Gewebe für Multilevel-Tauchgänge und Wiederholungstauchgänge einer Modifizierung bedürfen. Praktisch ausgedrückt, würde dies bedeuten, daß für den zweiten, dritten, vierten Tauchgang, usw., verschiedene Tabellen benützt oder die Tabellen für die Oberflächenpausen modifiziert werden müßten, um langsamere Gasabgabe der Gewebe einzubeziehen. Schließlich würde man vielleicht zu den Navy Tauchtabellen mit der Gasabgabe des 120-Minuten-Gewebes zurückkehren. Die Verringerung der Tendenz zur Enstehung von Gasphasen wurde durch Modifikation der zulässigen Werte für die Übersättigung des Gewebes erreicht. Dieses Zugeständnis machte im Vergleich zu den US Navy Tauchtabellen eine Reduzierung der Grundzeiten erforderlich.
Es wäre nicht richtig zu sagen, daß die Taucher in der Gegend von Seattle in der Nähe des IAPM ungeduldig auf die Gelegenheit warteten, Testpersonen zu werden; das ist nicht jedermanns Stärke. Denjenigen jedoch, die sich jedoch für die Teilnahme an den Tests zur Verfügung stellten, wurde die Chance geboten, aus erster Hand zu sehen, wie Wissenschaftler bei der Entwicklung von Tauchtabellen vorgehen; sie hatten die Möglichkeit, die Erfahrung von Tauchgängen in der Kammer zu machen, die Gelegenheit zu sehen, wie Blasen mit Doppler festgestellt werden und die Möglickeit, die Genauigkeit ihrer Tiefenmesser prüfen zu lassen. Für viele war dies die erste Erfahrung einer Stickstoffnarkose, da viele Taucher noch nie in Tiefen bis zu 130 Fuß getaucht waren.

## Profil der Testpersonen

1. Taucher: männlich: 48 (69%)
   weiblich: 22 (31%)
2. Alter: männlich 32,7 (von 22-52 Jahren)
   weiblich 31,3 (von 23-44 Jahren)
3. Körperfett (Körpermassenindex, Gewicht/Größe)
   männlich: 21,1%
   weiblich: 27,4%
4. Durchschnittliche Taucherfahrung
   9,7 Jahre (von 1-38 Jahren)

Dieses großangelegte Forschungsprojekt ist der erste Versuch dieser Art zur Entwicklung von Tauchtabellen, die spezifisch auf die Bedürfnisse der Sporttaucher zugeschnitten sind. Er ist das Ergebnis des Zusammenspiels von vielen Einzelpersonen, einschließlich derer, die die Tabelle entwerfen, der Wissenschaftler, die die Forschungsprotokolle für die Versuche erstellten, der Bediener der Kammer und anderer Techniker und last but not least der Taucher selbst.

Anm. d. Hrg.: Die hier beschriebenen Tests und Tauchtabelle sind das Ergebnis von mehr als dreijähriger Forschung, Tests, Entwicklung und Zusammenarbeit der Wissenschaftler IAPM: Dr. Raymond E. Rogers, der die ursprüngliche Tauchtabelle entworfen hat; Karl Huggins, dem Berater beim Design der Tauchtabelle; Diving Science & Technology Corporation (DSAT), einer Konzerngesellschaft von International PADI, Inc; Dr. Michael Powell, in Zusammenarbeit mit SeUs; Dr. Richard Vann von Divers Alert Network (DAN) als Prüfer und Berater. Dr. Michael Powell ist Direktor der Abteilung für hyperbarische Physiologie und Biophysik am Institut für Angewandte Physiologie und Medizin in Seattle. Er ist auch Mitglied des internationalen Beraterausschusses von PADI.

# Doppler-Blasendetektoren: Aufbau und Funktion

[Bildunterschrift:
Dr. Powell (rechts) untersucht eine Testperson nach dem Verlassen der hyperbarischen Kammer (links) mit einem Ultraschall-DopplerDurchflußmesser]

In Tauchzeitschriften für Profis und Sporttaucher werden häufig "Doppler-Detektoren" oder "Ultraschall-Detektoren" erwähnt. Obwohl Taucher vom Doppler-Detektor gehört haben und wissen, daß mit ihm Blasen im Blutkreislauf festgestellt werden, wissen nur wenige, wie er funktioniert, wie es ist, wenn man auf Blasen getestet wird oder was Doppler bedeutet.

Die Bezeichnung Doppler geht auf den Physiker und Astronom Christian Johann Doppler (1803-1853) zurück, der entdeckte, daß sich die Frequenz einer Schallwelle ändert, wenn sich die Quelle bewegt oder die Welle von einem Gegenstand reflektiert wird, der sich bewegt. Diesen Effekt, als Doppler-Effekt bekannt, bemerkt man beispielsweise an der sich ändernden Tonhöhe des Pfeifsignals eines fahrenden Zuges. Der Doppler-Effekt ist der Schlüssel des Doppler-Detektors.

Der Doppler-Detektor funktioniert dadurch, daß ein Sender Hochfrequenzschallwellen - Ultraschall - in das weiche Herzgewebe aussendet. Die Ultraschallwelle durchläuft das Herzgewebe mit geringfügiger oder keiner Veränderung, solange es nicht auf Blasen trifft, die die Welle reflektieren. Da sich die Blasen durch das Herz bewegen, bewirkt der Dopplereffekt, daß die reflektierten Wellen eine andere Frequenz als die Normalwelle haben. Die das Herz durchlaufenden Ultraschallwellen werden von einem Transducer aufgenommen und in elektronische Signale und dann in mit dem Gehör wahrnehmbare Töne umgewandelt. Ultraschallwellen, die eine andere Frequenz haben - d.h. die von den Blasen reflektierten Wellen - als die ursprünglichen Wellen erzeugen einen Ton, der sich vom Ton der ursprünglichen Wellen unterscheidet.

Obwohl die Wellen durch moderne Elektroniksysteme bewertet werden können, sind sich die Wissenschaftler darüber einig, daß zur Zeit das Ohr die beste Analyse von Blasensignalen bietet. Ein ausgebildeter Bediener kann die leisen Töne von kleineren Blasen viel exakter unterscheiden als verfügbare elektronische Instrumente, die oft die von sehr kleinen Blasen erzeugten leiseren Signal nicht wahrnehmen.

Da Doppler-Detektoren nur wenig mehr als einen Sender zur Erzeugung der Schallwellen und den Transducer zu deren Aufnahme benötigen, ist das eigentliche Instrument sehr kompakt - kleiner als ein Kühlschrank durchschnittlicher Größe. Sender und Transducer, angeschlossen an ihre Stromversorgung und Empfangselektronik für die Signale, werden nach einem Tauchgang von Hand über die Brust einer Testperson gehalten. Die Untersuchung nimmt gewöhnlich nur vier oder fünf Minuten in Anspruch und die Testperson spürt nichts.

Der Doppler-Detektor war ein großer Fortschritt bei der Untersuchung der Dekompressionsphysiologie. Der Doppler-Detektor bewirkte die Entdeckung der "STILLEN" Blasen, bei denen es sich um Blasen im Blutkreislauf handelt, die so klein sind, daß sie keine Symptome von Dekompressionskrankheit verursachen. Hyperbarische Physiologen haben festgestellt, daß Tauchprofile, die zu einer Menge von stillen Blasen führen, auch ein größeres Vorkommen der Dekompressionskrankheit zur Folge haben. Durch die Feststellung der stillen Blasen kann der Doppler-Detektor Tauchprofile in diesem vor-symptomatischen Stadium ohne Risiko für die Testpersonen bewerten.

# * * NEUE ZIELE DER HYPERBARISCHEN FORSCHUNG * *

## Dekompressions-Krankheit: Die Enthüllung eines Mysteriums

von Dr. Michael Powell, *UJ* 4/87

Das Reich der See mit ihren endlosen Strömungen und vielfachen Lebensformen ist zweiffellos faszinierend; nicht mehr jedoch als die Welt innerhalb des Tauchers selbst, ein Königreich, das nicht mehr als ein paar Kubikfuß groß ist. Hier fließen die Ströme durch Myriaden von kleinen Kanälen und Gefässen, das Wasser plätschert nicht an offenen Ufern, sondern gegen die Wände von Trillionen unserer Zellen. Trotz der Ähnlichkeiten müssen jedoch einige Anpassungen vorgenommen werden, wenn sich der Mensch als Taucher in den Ozean begibt.

Jedem Taucher ist klar, daß er am Ende des Tauchganges langsam auftauchen und vermeiden muß, die Nullzeitgrenzen zu überschreiten. Bei allem Tauchen gibt es wahrscheinlich kein größeres Rätsel als die Dekompression.

[Anm. d. Hrsg.: Dekompression bezieht sich hier einfach auf das Auftauchen aus der Tiefe, nicht den Notfall, den wir bei der Ausbildung der Taucher diskutieren].

Es ist ein physiologisches Puzzle, mit dessen Teilen seit fast 150 Jahren gespielt wurde und dessen Bild noch nicht ganz vollständig ist.

Triger beschrieb 1841 als erster die Gelenkschmerzen von Arbeitern, die in Gruben Druckluft ausgesetzt waren, die unter Druck gesetzt wurden, um Überschwemmungen zu verhindern. Pol und Watelle prägten 1854 den Satz "Du zahlst, wenn du gehst", um diese ungewöhnliche Krankheit zu beschrieben, von der manchmal Arbeiter befallen wurden, die unter Druckluft arbeiteten. In dieser Zeit wurde die Dekompressions-Krankheit vielen unterschiedlichen Faktoren zugeschrieben - wie beispielsweise dem Druck des Blutes aus den Extremitäten in den Rumpf, zu sauerstoffhaltigem Blut oder Rheuma aufgrund der kalten und feuchten Arbeitsbedingungen. Für Pol und Watelle war es beinahe so, als ob sich jemand in einer von der Pest heimgesuchten Stadt die Krankheit erst beim Verlassen der Stadtgrenzen zuzieht und kurioser noch, die Symptome verschwinden würden, wenn die Stadt wieder betreten wird.

Somit war die Dekompressions-Krankheit von Anfang an stets eine Krankheit, die von Geheimnissen umgeben war. Der erste, der Blasen im Anschluß an die Dekompression feststellte, war Robert Boyle, der bei der Durchführung von Versuchen mit der gerade erfundenen Vakuumpumpe eine Gasblase bemerkte, die sich nach einem Aufstieg in große Höhe im Auge einer Schlange bildete. Erst die Forschung von Paul Bert am Ende des 19. Jahrhunderts ermöglichte, die Ursachen der Krankheit auf das Entstehen dieser Gasblasen zurückzuführen.

### Ein kleiner Sturm

Taucher haben die unglückliche Neigung zur Ausbildung der Gasphase (Blase), die in reinen Flüssigkeiten nicht festgestellt wird. Im Labor kann reines Wasser mit Stickstoff oder Helium komprimiert und dann unmittelbar von fast 200 Atmosphären ohne Entstehung einer Gasphase dekomprimiert werden. Theoretisch liegt die Zugfestigkeit oder die Tendenz, Reißen oder Brechen zu widerstehen, in reinem Wasser bei einer Größenordnung von 1.000 Atmosphären. Wenn ein Tiefseetaucher nur aus reinem Wasser bestünde, könnte er mit vollkommener Leichtigkeit einen direkten Aufstieg von sechs Meilen ausführen, ohne daß Dekompression erforderlich wäre.

Ein Kernproblem bei hyperbarischer (oder Hochdruck-) Physiologie ist der Versuch, den Unterschied zwischen den sechs Meilen und der tatsächlichen Tiefe von ca. 33 Fuß zu erklären, von der aus ein Taucher gewöhnlich ohne Anzeichen und Symptome von Dekompressions-Krankheit auftauchen kann. Um diese beträchtliche Abweichung mindestens von Theorie und Versuch zu erklären, haben Wissenschaftler das Konzept der "heterogenen Nukleierung" [heterogen=gleichförmig, nucleus=Kern, "Blase"] angeführt.

Einfacher ausgedrückt bedeutet dies, daß es etwas gibt, das vor der Dekompression vorhanden ist, auf dem die Gasphase wachsen kann. Ein Konzept, das in den letzten Jahren immer mehr akzeptiert wurde ist, daß es vorgeformte Mikro-Gasbläschen oder winzige Gas-"Samen" in den Zellen oder im Kreislaufsystem gibt. Bei der Dekompression diffundiert gelöstes Gas in diese bereits bestehenden "Samen" und bewirkt deren Ausdehnung. Diese Ausdehnung verursacht, wenn sie in den Sehnen und Bändern erfolgt, die Gelenkschmerzen, die gewöhnlich mit "Caissonkrankheit" bezeichnet werden.
Diese "mikro-nukleine" Betrachtungsweise, die außerordentlich hilfreich für die Erklärung vieler Erscheinungsformen der Dekompression ist, ist eine Variante des Konzeptes, das zuerst J.B.S. Haldane, dem Urahn der Haldaneschen Methode der Dekompression, zugeschrieben wird. Er stellte die These auf, daß das im Gewebe eines Tauchers gelöste Gas selbst bei der Dekompression in diesem gelösten Zustand bleibt, vorausgesetzt, daß die Tiefe, aus der der Taucher auftaucht, innerhalb bestimmter Grenzen bleibt. Er beschrieb dies als Verhältnis zwischen der Grundtiefe und den Dekompressionsstops. Insofern war er ein Vetreter der Theorie der heterogenen Nukleierung, in der spontan eine Gasphase entsteht, wenn eine bestimmte Übersättigung überschritten wird. Es wurde argumentiert, daß die Gewebe des Tauchers während des verlangsamten Aufstiegs mit Stickstoff übersättigt werden, das Gas jedoch im wesentlichen für eine unbegrenzte Dauer in gelöstem Zustand bleiben kann, ohne Blasen zu bilden. Dieses höchst umstrittene, jedoch häufig angewandte Konzept wurde "meta-stabiler Zustand" genannt und bedeutet, daß es sich um einen Zustand handelt, der, wenn er nicht gestört wird, eine sehr lange Zeit stabil ist. Die festgelegte Obergrenze der Übersättigung wird mit "meta-stabiler Grenze" bezeichnet. Da sie sich unterhalb dieser Grenze befinden, werden vorsichtig geöffnete Flaschen mit kohlesäurehaltigen Getränken nicht sprudeln, wenn sie ruhig und ohne Schütteln abgestellt werden.
Wir haben weder ein klares Verständnis noch eine feste theoretische Beschreibung für den Mechanismus, durch den die Gas-Mikronukleine entstehen. Dies kann durch Tribo-Nukleierung, d.h. Aneinanderreiben von zwei Flächen (wie beispielsweise Gelenken) hervorgerufen werden oder das Ergebnis von durch Muskelbewegung erzeugten negativen Drücken sein. Wo immer der Ursprung der Mikro-"Bläschen" zu finden sein mag, wir haben es noch nicht verstanden, ihre Anzahl zu quantifizieren, und selbst eine leichte Frage wie: "Ändert sich ihre Zahl von Tag zu Tag?", kann nicht beantwortet werden. Mit diesen bereits vorhandenen Nukleinen können einige der Unterschiede erklärt werden, die man zwischen Tauchern feststellt.

Der Zusammenhang zwischen Entstehung der Gasphase, Gas-Mikronuklei und Übersättigung kann mit folgendem Experiment leicht veranschaulicht werden. Wenn man etwas kohlesäurehaltige Flüssigkeit in ein Glas gießt, stellen wir eine beträchtliche Entwicklung von Gas fest, die den Schüttvorgang begleitet. Nach einiger Zeit jedoch wird kein Gas mehr gebildet und die Flüssigkeit wird wieder ruhig und still. Wenn wir nun einige Salz-, Zuckerkristalle oder Sandkörner hineingeben, bewirkt dies die sofortige Bildung von Gas auf den Oberflächen dieser kleinen hinzugefügten Partikel. Das Sprudeln setzt sich einen Augenblick lang fort und die Flüssigkeit beruhigt sich wieder. Aber selbst dann kann durch Hinzugabe einer Prise Salz oder Zucker noch mehr gelöste Kohlensäure zum Sprudeln gebracht werden. Dies kann mehrere Male wiederholt werden, bis die Flüssigkeit auf einen Zustand reduziert wurde, in dem sie nicht mehr mit Kohlensäure gesättigt ist. Wenn somit die Übersättigung der *EINZIGE* Faktor wäre, der die Entstehung der Gasphase steuert, müßte jede kohlensäurehaltige Flüssigkeit Aufsprudeln und nach kurzer Zeit "schal" werden. Die Tatsache, daß sie übersättigt bleiben und durch Hinzugabe von Oberflächen mit ihren Mikro-Gasnukleinen wiederholt zum Sprudeln gebracht werden kann, ist der Nachweis dafür, daß an der Entstehung der Gasphase mehr beteiligt ist als nur die gesamte Menge, oder genauer gesagt, der Druck des Gases, das in der Flüssigkeit gelöst ist.

Dies gilt in gewissem Maße für die Entstehung der Gasphase in den Geweben des Tauchers und im Hinblick auf die Entwicklung und Berechnung von Dekompressionstabellen wird die Frage der Gasnukleine, wenn überhaupt, nur sehr allgemein berücksichtigt.
Diejenigen, die Tauchtabellen entwickeln, werden mit dem Problem dadurch fertig, daß sie nur einen Mindestgrad von Übersättigung zulassen, der wiederholt von der großen Mehrheit der Taucher toleriert wird. Die kritische Frage bei der Entwicklung von Dekompressionstabellen ist die genaue Bestimmung dieses geringen Übersättigungswertes. Dies bedeutet jedoch nicht, daß es wirklich eine genaue metastabile oder

sonstige Grenze gibt, die auf jeden Fall immer von 100% der Taucher toleriert wird. Es obliegt dem Taucher, sich klarzumachen, daß immer die theoretische Möglichkeit besteht, daß etwas schiefgeht. Dem Taucher muß bewußt sein, daß jedesmal ein Risiko besteht, wenn er seinen Aufstieg beginnt, selbst wenn auf der Tabelle das Risiko als im Durchschnitt nicht gegeben berechnet wird.

## Das Tauziehen

Die Konzepte von Gasnukleinen in Geweben und des "metastabilen" Zustandes widersprechen einander; beide können für keinen Zeitraum nebeneinander existieren. Die Übersättigung nimmt in dem Maße ab, wie das aufgelöste Inertgas langsam in die bereits vorhandenen Nukleine diffundiert. Die Geschwindigkeit des gesamten Prozesses wird teilweise vom Grad der Übersättigung und der Zahl der vorgeformten Gasnukleine abhängen. Wenn es zu übermäßiger Übersättigung kommt und die Gassamen relativ groß werden, wird es sehr wahrscheinlich zu offenkundigen Anzeichen und Symptomen der Dekompressions-Krankheit kommen. Wenn die Ausbildung der Gasphase zu groß ist, können Kreislaufstörungen auftreten, die das "Auswaschen" (Entsättigen) des Gewebegases beeinträchtigen. Dies kann zu einem Schneeballeffekt mit katastrophalen Folgen führen. Wenn das Anwachsen gering gehalten wird, wird es sehr wahrscheinlich nicht zur Dekompressions-Krankheit kommen. Der Körper kann mit den geringeren physiologischen Folgen der Gasphase ohne sichtbaren Schaden fertig werden, und die Krankheit bleibt "vor-klinisch" bzw. "still".
Dieser Vorschlag der "stillen Dekompressions-Krankheit" und der "stillen" Blasen wurde zum ersten Mal 1943 von Dr. Albert Benke, damals bei der US Navy, vorgebracht. Erst mit dem Aufkommen des Ultraschall Doppler-Gerätes und seiner Anwendung in der hyperbarischen Physiologie in den späten 60er Jahren wurde diese Idee experimentell fest untermauert. Mit Schafen und Schweinen als Testtauchern fanden verschiedene Forscher zu ihrem großen Erstaunen, daß Gasblasen feststellbar waren, wenn bei den Testtieren Dekompression in Übereinstimmung mit den US Navy Tauchtabellen vorgenommen wurde.
Seit dem Zeitpunkt, an dem das Doppler Ultraschall-Gerät die stillen Blasen "hörbar" gemacht hat, ist unser Standpunkt nicht mehr derselbe geblieben. Tauchtabellen werden zum einen nun vorsichtiger betrachtet und Dekompressions-Krankheit wird nicht länger als das Alles-oder-Nichts-Phänomen angesehen, wie man es sich vorstellte.

## Wo liegt der "Flaschenhals"?

Bei der Berechnung einer Tauchtabelle stellt sich die Frage der Menge ( bzw. des Partialdrucks) des Inertgases (Stickstoff), das knapp vor dem Auftauchen im Gewebe des Tauchers gelöst ist. Diese Aufnahme wird auf der Grundlage der Grundzeit und Tiefe berechnet. In der Praxis sind dies die beiden Quantitäten, die in einer Dekompressionstabelle angetroffen werden. Es ist jedoch bekannt, daß neben Zeit und Grundtiefe andere Faktoren die Gasmenge beeinflussen, die sich in den Geweben eines Tauchers löst. Dazu gehören Temperatur der Extremitäten, Puls und Umfang der Übungen, die vom Taucher unter Wasser ausgeführt werden. Diese modifizieren den lokalen Blutstrom (Perfusionsgeschwindigkeit), der teilweise den Transport von Inertgas von der Lunge des Tauchers in die Kapillaren seiner Gewebe steuert.
Auf Zellebene ist die Verteilung von Inertgas in hohem Maße sowohl vom lokalen Blutstrom als auch von der tatsächlichen geometrischen Anordnung der Kapillaren abhängig. Selbst bei eineiigen Zwillingen ist diese Anordnung der Kapillaren nicht genau gleich. Diese Mikroarchitektur der Kapillaren wird jedoch bei der Berechnung der heutigen Dekompressionstabellen nicht berücksichtigt. Wenigstens theoretisch sollten sie jedoch einige der Unterschiede bei der Gasaufnahme und Abgabe zwischen den Tauchern berücksichtigen.
Um das Problem zu vegrößern, muß das Inertgas nach dem Verlassen der Kapillaren in die Zellen diffundieren. Diese Zellen sind keine homogenen Kästchen, die mit einer geleeförmigen Masse gefüllt sind, sondern sie sind von unterschiedlicher Form und mit "Organellen" [organartigen Zellteilen] gefüllt, die den Weg der Diffusion verändern. Man kann noch nicht einmal sagen, daß die Diffusionsgeschwindigkeit eines Gases von oben nach unten in einer Zelle gleich der Diffusionsgeschwindigkeit von rechts nach links ist. Die Diffusionsgeschwindigkeit hängt darüber hinaus von den jeweiligen Körpereigenschaften des Tauchers ab.

Zur Zeit ist uns das relative Ausmaß, mit dem Perfusion oder Diffusion die Gasaufnahme und -abgabe in einem bestimmten Gewebe begrenzt, nicht bekannt. Man kann für beide gute Argumente vorbringen, der "Flaschenhals" bzw. der begrenzende Faktor zu sein. Tatsächlich können sich diese beiden Verteilungsarten in ihrer Bedeutung beim Öffnen und Schließen der Kapillaren abwechseln; innerhalb von wenigen Minuten ändern sich Perfusions-Geschwindigkeit und Diffusions-Weg. Bei Diffusion wie bei Perfusion muß das Konzept der Gleichförmigkeit von Taucher zu Taucher ungeachtet der Frage akzeptiert werden, ob es diese Gleichförmigkeit tatsächlich in der Praxis gibt. Nur dadurch, daß man sich innerhalb bestimmter Grenzen aufhält, wo es eine miminale Menge von Geweben mit Gasübersättigung gibt, kann man individuelle Eigenschaften auf ein Minimum reduzieren.

Die an der Entdeckung, Behandlung und Vermeidung von Dekompressions-Krankheit beteiligte Forschung hat von den Grubenarbeitern, die von einem unbekannten Leiden betroffen wurden, bis zum hochentwickelten Doppler Ultraschall-Gerät eine lange und wechselvolle Geschichte. In dem Maße, wie diese Forschung fortgesetzt wird und unser Wissen zunimmt, wird der Tauchsport sicherer und bereitet mehr Menschen Freude als je zuvor.

# PADI gibt eine Untersuchung von Tauchprofilen für Sporttaucher in Auftrag

PADI *Undersea Journal* 3/87

Nach fast dreijähriger Entwicklung hat PADI eine größere hyperbarische Untersuchung zur Erforschung des breiten Gebietes der Tauchprofile für Sporttaucher in Auftrag gegeben. Das Forschungsprojekt, bei dem es sich wahrscheinlich um die umfangreichste hyperbarische Untersuchung handelt, die je durchgeführt wurde, wird nicht nur neue Nullzeitgrenzen bewerten, sondern auch neue Möglichkeiten für Multilevel-Tauchgänge und Wiederholungstauchgänge prüfen.

Bei praktisch allen von Sporttauchern in den Vereinigten Staaten benutzten Tauchtabellen handelt es sich um Überarbeitungen der US Navy Tauchtabellen. Obwohl aus Statistiken vom Divers Alert Network hervorgeht, daß die US Navy Tauchtabellen von den Sporttauchern sicher eingesetzt werden, wurden sie in erster Linie für unter Wasser arbeitende Taucher entwickelt, die einen Einzeltauchgang in einer bestimmten Tiefe ausführen. Sporttaucher hingegen führen typischerweise kürzere Tauchgänge durch. Ein bestimmter Tauchgang wird häufig in unterschiedlichen Tiefen ausgeführt, an den sich oft Wiederholungstauchgänge anschließen. Die Forschung ist auf die Berücksichtigung dieser Variablen und die Prüfung der Sicherheitsgrenzen dieser Parameter ausgelegt.

Dr. Michael Powell, Leiter der hyperbarischen Forschung am Institut für Angewandte Physiologie und Medizin, führt das Projekt unter Einsatz der modernsten Technologie der hyperbarischen Forschung durch. Bei der Untersuchung wird eine große Gruppe von freiwilligen Tauchern eingesetzt, die nach spezifischen Tauchprofilen Tauchgänge in der Druckkammer simulieren und tatsächlich in offenem Wasser ausführen. Nach den Tauchgängen werden die Testtaucher mit einem Doppler-Detektor auf Blasen untersucht. Der Doppler-Detektor setzt Ultraschallwellen zur Feststellung selbst von Blasen im Blutkreislauf eines Tauchers ein, die zu klein sind, um Dekompressionskrankheit zu verursachen. Als die Navy von Mitte bis Ende der 50er Jahre mit ihren Tabellen experimentierte, war der Doppler-Detektor noch nicht erfunden worden. Forschungstauchgänge, mit denen bereits begonnen wurde, werden bis Juli 1987 durchgeführt. Es ist noch zu früh, Schlüsse zu ziehen, doch legen erste Daten nahe, daß es vielleicht praktisch sein kann, Techniken für Multilevel-Tauchgänge zu entwickeln. Multilevel-Tauchgänge sind enger mit typischen Tauchprofilen von Sporttauchern verbunden und verlängern die Grundzeit durch Berücksichtigung des Aufstiegs in geringere Tiefen.

Hinweis: Neben der in nebenstehendem Artikel beschriebenen Untersuchung führt IAPM unter Leitung von Dr. Powell eine separate hyperbarische Untersuchung durch, die mit einer Schenkung von $14.000 von PADI finanziert wird. Diese zweite Untersuchung ist auf die Messung der Wirkung von Übungen und Kälte auf die Blasenbildung bei Tauchern mit Hilfe von Dopplerüberwachung ausgerichtet (Vgl. PADI Undersea Journal 2/87).

# Institut für Angewandte Physiologie und Medizin als Pionier der hyperbarischen Forschung

Versteckt in einem unauffälligen zweistöckigen Bürohaus auf einem Hügel in Seattle, wird an einem der führenden Institute für hyperbarische Forschung in den Vereinigten Staaten das Sporttauchen untersucht. Seit 1977 hat das Institut für Angewandte Physiologie und Medizin (IAPM) beträchtliche Fortschritte beim Verständnis der Wirkungen von Druck auf den menschlichen Körper erzielt.

Auch die ca. sechs Forscher, die in IAPMs Abteilung für hyperbarische Physiologie und Biophysik arbeiten, vollbringen Pionierleistungen auf dem Gebiet der medizinischen Druckbehandlung von Leiden wie Gasbrand und Kohlenmonoxidvergiftung. Die Forschung wird von Dr. Michael Powell, dem Chef der Abteilung, geleitet. Dr. Powell hat seit 1969, als er seine Arbeit beim Ocean Systems Research and Development Laboratory in Taryton, New York, begann, hyperbarische Forschungen durchgeführt. Als zertifizierter PADI-Taucher ist Dr. Powell das Voranschreiten der Dekompressionsforschung ein Hauptanliegen.

Einer der bedeutendsten Durchbrüche von IAPM war der "präkordiale Doppler-Detektor", mit dem Blasen im Körper festgestellt werden. Der Einsatz dieses für die Dekompressionsforschung entscheidenden Detektors, der für größere Sicherheit der Taucher sorgt, deckte sich mit einem anderen Forschungsbereich der IAPM, der Ultraschall-Technologie.

Ultraschall macht es Ärzten möglich, ohne die Risiken von Röntgenbestrahlung in den Körper "hineinzusehen". Ultraschall wird häufig zur Untersuchung von ungeborenene Babys und bei der Diagnose von Schlaganfällen eingesetzt. Ohne Strahlung können häufigere Untersuchungen möglich gemacht werden. Der in den frühen 70er Jahren von Dr. Merill P. Spencer, Direktor der kardiovaskularen Forschung bei IAPM, erfundene Doppler-Detektor ermöglicht den Forschern die Feststellung von Blasen im Blutkreislauf ohne chirurgischen Eingriff. Vor Dr. Spencers Detektor machte die Beobachtung von Blasen das Einführen von Sonden zur Feststellung direkt in den Blutkreislauf erforderlich.

IAMP erhält die meisten Geldmittel durch Projekte und Stipendien der Privatindustrie und Regierung, einschließlich des kürzlichen Forschungsstipendiums von PADI in Höhe von $14.000. Zur Zeit wird die Anwendung von Tauchtabellen auf Sporttaucher untersucht, einschließlich der Wirkung von Übungen und Temperatur auf den Taucher. Als eines von nur einer Handvoll Physiologiezentren, die sich auf hyperbarische und Dekompressionsforschung konzentrieren, ist IAPM eine der wenigen Einrichtungen, die zur Durchführung einer solch umfangreichen Untersuchung qualifiziert ist.

Mit dem Fortschreiten der derzeitigen Forschungsprojekte können Sporttaucher erwarten, einige der jüngsten Fortschritte für Tauchtabellen von IAPM zu erhalten.

# Mehrere Tauchgänge am Tag an mehreren Tagen hintereinander: Gegenstand von zunehmendem Interesse und Besorgnis

von Drew Richardson, Training Director, *UJ* 3/88

In den letzten Jahren hat sich Sporttauchen beträchtlich gewandelt. Mit der steigenden Beliebtheit von Ferienzentren und Ferien auf Booten wurden in physiologischer Sicht Situationen geschaffen, die es früher nicht gegeben hatte. Taucher im Urlaub suchen sich oft Orte aus, wo das Tauchen praktisch die einzige Attraktion darstellt. Dies bringt von sich aus schon einen Anreiz für Taucher mit sich, so oft wie möglich zu tauchen, um für die Dauer ihres Urlaubs die größtmögliche Zahl von Tauchgängen pro Tag auszuführen und somit den meisten Gegenwert für ihr für dasTauchen ausgegebene Geld zu erhalten. Ein gutes Beispiel sind die Ferien auf Booten, die praktisch Tauchgänge rund um die Uhr zulassen. Viele Taucher in dieser Umgebung benutzen Computer, mit denen mehrere Tauchgänge am Tag verfolgt werden können.

* * * * *

"Es gibt keinen besonderen Grund zu der Annahme, daß mehrfache Wiederholungstauchgänge am Tag an mehreren Tagen hintereinander nicht sicher sind. Leider gibt es auch keine speziellen Beweise dafür, daß sie sicher sind.

* * * * *

Tauchphysiologen sind verständlicherweise über die Praxis von mehrfachen Wiederholungstauchgängen an mehreren Tagen hintereinander besorgt. Die Wissenschaft hat niemals klar festgestellt, was physiologisch gesehen mit einem Menschen geschieht, der mehrere Tage lang mehrfache Wiederholungstauchgänge ausführt. Es gibt einfach keine richtige Datenbasis, auf die man zu diesem Punkt zurückgreifen könnte. Sicher ist, daß es diesen Punkt zu Zeiten von Haldane noch nicht gab, als er es mit einem militärischen oder Berufstaucher zu tun hatte, der eine bestimmte Zeit lang in der Tiefe blieb. Tauchgeräte waren noch nicht erfunden und Wiederholungstauchgänge wurden nicht ausgeführt. Wenn der Taucher seine spezifische Aufgabe nicht in angemessener Zeit erledigen konnte, wurde er oft von einem anderen Taucher abgelöst. Als die US Navy ihre Tauchtabellen in den 50er Jahren überarbeitete, wurden sehr wenige Profile von Wiederholungstauchgängen und keine Profile für mehrfache Wiederholungstauchgänge an mehreren Tagen hintereinander getestet. Wieder einmal sind die Bedürfnisse des militärischen Tauchers und des Sporttauchers unterschiedlich. Der militärische Taucher versucht nicht, die Zahl der an einem Tag ausgeführten Tauchgänge mehrere Tage lang auf ein Maximum zu erhöhen und wird oft nicht durch die Luftversorgung aus einer Flasche eingeschränkt. Das Modell der US Navy war nicht für die Art des Tauchens der heutigen Sporttaucher gedacht.

Die Sicherheitsfragen zum Thema der mehrfachen Wiederholungstauchgängen an mehreren Tagen hintereinander stellen sich Sporttaucher wie Computerhersteller, medizinische Kreise und Ausbildungseinrichtungen. In diesem Bereich sind weitere Forschungen erforderlich, bevor mit der Beantwortung dieser Fragen begonnen werden kann. Es gibt keinen besonderen Grund zu der Annahme, daß mehrfache Wiederholungstauchgänge am Tag an mehreren Tagen hintereinander nicht sicher sind. Leider gibt es auch keine speziellen Beweise dafür, daß sie sicher sind.

Die DSAT Forschung testete unter Benutzung der Tabellen von Rogers das Konzept einer 60-minütigen Gewebe-Entsättigungskurve ("Auswaschkurve") zur Berechnung der Oberflächenpausen-Tabelle. Für wiederholte Nullzeittauchgänge wurden Tests bis zu drei Tauchgängen am Tag durchgeführt. Aufgrund der Möglichkeit der Versorgung der hyperbarischen Kammer von der Oberfläche aus, wurden Profile für den Test benutzt, die weit über die durch Tauchgeräte bestimmten Zeitgrenzen hinausgingen. (Anmerkung: Einige Profile gingen über 2 Stunden hinaus.) Die Daten führten zu keinerlei Auftreten von Symptomen der Dekompressionskrankheit. Noch wichtiger war das Fehlen der hohen Blasen-Grade - bei den Tests wurden keine oder nur wenige Blasen festgestellt. Einer der Punkte, der vom DSAT Projekt untersucht wurde, war ob es mit Doppler feststellbare Blasen gab oder nicht. Diese würden den Nachweis für die Bildung einer

Gasphase erbringen. Während es ein gutes Zeichen ist, wenn festgestellt wird, daß beim Testen nur äußerst wenige Gasphasen auftraten, besteht doch die Erfordernis, die Forschung für mehrfache Wiederholungstauchgänge an mehreren Tagen hintereinander fortzusetzen. Zusätzliche Tests müssen durchgeführt und die Ergebnisse veröffentlicht werden.

Offensichtlich haben Taucher, die mehrfache Wiederholungstauchgänge an mehreren Tagen hintereinander ausführten, einige Jahre lang relativ erfolgreich US Navy Tauchtabellen und Computer benutzt. Die Extrapolation der Navy oder DSAT Zahlen birgt verstärkte Risiken, da wir uns in unbekanntes Gebiet begeben, doch ist kein Risiko mit den DSAT Tabellen von sich aus größer als das Risiko mit US Navy Tauchtabellen oder einem der beliebten Dekompressionscomputer, von denen keiner jemals für die Art von Tauchen getestet wurde, die in diesem Artikel beschrieben wird. Um sicherzugehen, bis die Forschungen abgeschlossen sind, hat PADI nichtsdestoweniger jedem "Wheel" und jeder RDP-Tabelle zwei wichtige Warnhinweise beigefügt, die bei der Benutzung des Recreational Dive Planner eingehalten werden müssen. Folgende Warnung ist auf jeder Tabelle und in der "Wheel"-Gebrauchsanleitung abgedruckt:

* * * * *

"Da zur Zeit wenig über die physiologische Wirkung von mehrfachen Wiederholungstauchgängen an mehreren Tagen hintereinander bekannt ist, wird Tauchern dringend geraten, weniger Tauchgänge durchzuführen und am Ende einer Serie von Tauchgängen über mehrere Tage weniger zu tauchen."

* * * * * *

Mit andere Worten: Sei vorsichtig und "konservativ".

Um übermäßige Gasaufnahme für einen Taucher zu vermeiden, wenn er in höhere Wiederholungsgruppen gelangt, muß er sich an die speziellen Vorschriften für mehrfache Wiederholungstauchgänge halten.
"Wenn du drei oder mehr Tauchgänge an einem Tag planst: a) Wenn, vom ersten Tauchgang an gerechnet deine Wiederholungsgruppe nach einem Tauchgang W oder X ist, beträgt die Oberflächenpause zwischen allen darauffolgenden Tauchgängen mindestens 1 Stunde.
b) Wenn deine Wiederholungsgrupe nach einem Tauchgang Y oder Z ist, beträgt die Oberflächenpause zwischen allen darauffolgenden Tauchgängen mindestens 3 Stunden."

Zusätzlich zu diesen beiden wichtigen Warnhinweisen wird generell empfohlen, daß ein Taucher nach jedem Tauchgang für 3 Minuten in 5 Meter Tiefe anhält und nie, wirklich nie an die Grenzen einer Tabelle geht.

Eine Theorie des Problems ist, daß, falls sich eine Gasphase in einer Kapillare entwickelt, diese Kapillare blockiert wird. Wenn dies eintritt, wird das Gas des Tauchers nicht "ausgewaschen", d.h. entsättigt, wie das von der Konzeption der Tabelle her eintreten müßte. Ebenfalls wird eine Gasdiffusion in die N2-Blase eintreten, die im wesentlichen unter Umgebungsdruck erfolgt. Folglich wird das Auswaschen des Gases aus den Kapillaren des Gewebes beträchtlich herabgesetzt. Das Problem vergrößert sich noch, wenn der Taucher mit der bereits vorhandenen Gasphase einen weiteren Tauchgang vornimmt. Jetzt hat er eine neue Gasquelle in seinem Gewebe, die noch schneller Gas aufnehmen wird.

Physiologen sind der Ansicht, daß das Problem größere Bedeutung erhält, wenn der Taucher unter dieser Bedingung mehrere Tage lang mehrfache Wiederholungstauchgänge ausführt. Wenn sich die Gasphase bildet und Kapillare blockiert werden, ändert sich die Blutzirkulation. Jetzt entspricht die Auswaschung des Gases vom zweiten Tauchgang nicht der des ersten Tauchgangs, usw.
Bei der Berechnung sämtlicher Tabellen wird impliziert, daß die Halbsättigungszeiten (die Entsättigungsrate des Gases) beim ersten und zweiten Tauchgang konstant sind. Wenn dies nicht stimmt, kann ein Problem auftreten. Darüber hinaus wird das Konzept der Anpassung des Tauchers nicht gut verstanden, und es besteht bis heute keine Einigkeit in diesem Bereich.

## Weitere Tests in der Zukunft

Zur Zeit diskutieren Wissenschaftler von DSAT und Vertreter von PADI die Testprotokolle und die Finanzierung mit den Wissenschaftlern des "DAN Advisory Board for Sports Diver Decompression". Dies ist im gemeinsamen Interesse aller Sporttaucher weltweit ein sehr positiver Schritt in Richtung auf die Ausweitung der Kenntnisse in diesem Bereich. Einzelheiten des Tests werden im Laufe der weiteren Entwicklungen diskutiert.

Die Tests für mehrfache Wiederholungstauchgänge werden einen bedeutenden Beitrag darstellen, um die Art der Dekompression in diesem Bereich verstehen zu helfen. Halte dich in der Zwischenzeit an die allgemeinen Empfehlungen dieses Artikels.

# Der Recreational Dive Planner (RDP): Lehren und anwenden

## Ziele:

Am Ende dieser Lektion solltest du folgendes können:

1. Die allgemeinen Regeln nennen, die bei der Verwendung des Recreational Dive Planner, PADI's "Tauchgang-Planer für Sporttaucher", streng einzuhalten sind.
2. Die Verfahren zur Berechnung von Wiederholungstauchgängen als Nullzeittauchgänge unter Verwendung der Tabellen-Version des RDP erklären und anwenden.
3. Erklären, wie der zum "Wheel" gehörende separate Datenträger als Arbeitshilfe bei der Planung eines Tauchganges mit dem "Wheel" eingesetzt wird.
4. Das Verfahren zur Prüfung der richtigen Justierung des "Wheel" beschreiben.
5. Das "Wheel" bei der Berechnung der folgenden Tauchtabellen-Probleme richtig anwenden:
   - o Wiederholungstauchgänge in nur einer Tiefe
   - o "Multilevel"-Tauchgänge
   - o Mindest-Oberflächenpausen
6. Die beiden besonderen Regeln für die Planung von mehrfachen Wiederholungstauchgängen (mindestens drei) angeben.
7. Erläutern und vorführen, wie Pfeil/Linie/Kurven-Beziehungen auf dem "Wheel" zu interpretieren sind, bei Verwendung:
   - o des weissen Wiederholungsgruppen-Index (Seite 1)
   - o des gelben Wiederholungsgruppen-Index (Seite 1)
   - o der Oberflächenpausen-Kurve (Seite 2)
8. Die besonderen Überlegungen und Verfahren zur Anwendung des Recreational Dive Planner ("Wheel"- und Tabellen-Version) erklären, einschliesslich:
   - o Sicherheits-Stop
   - o Notfall-Dekompression
   - o Wiederholungstauchgänge
   - o Überlegungen zum Tauchen in der Höhe
   - o Fliegen nach dem Tauchen
   - o Kälte oder anstrengende Bedingungen

# Thema 8 — Dekompressionstheorie und der RDP

## Empfohlene Materialien und Methoden zur Präsentation dieses Themas

Als Methode zur Entwicklung der Kenntnisse in Dekompressionstheorie und zum Recreational Dive Planner wird empfohlen, dass die Kandidaten folgendes lesen:

1. In PADIs Enzyklopädie des Sporttauchens (oder die Multimedia Version) den Teil „Tauchphysiologie“.
2. Das Kapitel „Dekompressionstheorie und der RDP“ im PADI Divemaster Manual.
3. Das Kapitel „Recreational Dive Planner“ in PADIs Arbeitsbuch Tauchtheorie.

Zusätzliche Quellen:

- PADIs Publikation Eine Einführung des Sporttauchers in Dekompressionstheorie, Tauchtabellen und Tauchcomputer wird den Kandidaten beim Verständnis von Dekompressions-Modellen helfen, und sie werden besser verstehen, auf welch unterschiedliche Weise Tauchcomputer Dekompressions-Modelle verwenden.
- Der Teil „Decompression Management“ in der Artikelsammlung The Best of the Undersea Journal enthält grundlegende (englischsprachige) Artikel zur Dekompressionstheorie sowie zur Geschichte und zur Entwicklung des RDP.

Nach ihrem Selbststudium triff dich mit den Kandidaten zu Einzelgesprächen oder als Gruppe. Gehe mit ihnen ihre im Arbeitsbuch Tauchtheorie erfolgte Arbeit durch und beantworte Fragen. Stelle dann du Fragen, um zu beurteilen, ob die Kandidaten den Stoff vollständig beherrschen. Wiederhole wie erforderlich bestimmte Inhalte, je nachdem, wie die Kandidaten mit den bearbeiteten Materialien zurecht gekommen sind. Für eine komplette Wiederholung und Besprechung verwende die nachfolgende Ausarbeitung als Leitfaden.

Am Ende des Kurses sollten die Kandidaten die Berechnungen von Tauchprofilen, sowohl mit der Tabellenversion des RDP wie mit dem „Wheel“, beherrschen. Lasse sie auch die Ziele zur Dekompressionstheorie und zum Recreational Dive Planner im Anhang des PADI Divemaster Manuals heraussuchen, damit sie sicher sind, dass sie alle Leistungsanforderungen erfüllen.

Diese Vortragsausarbeitung enthält lediglich eine knappe Wiederholung des RDP, um beurteilen zu können, ob die Kandidaten ob die Kandidaten den Umgang mit dem RDP beherrschen. Kandidaten, die eine Auffrischung ihrer Fähigkeiten benötigen, können diese von dir erhalten oder selbständig die Open Water Diver CD-ROM oder die Bedienungsanleitungen zum RDP durcharbeiten.

Falls die Enzyklopädie und das Arbeitsbuch Tauchtheorie nicht in einer Sprache zur Verfügung stehen, die von den Kandidaten verstanden wird, kannst du die theoretischen Kenntnisse der Kandidaten unter Verwendung dieses Vortrags im Detail entwickeln.

PADI Divemaster Kurs

*Dekompressionstheorie und der RDP*

DM 8 - 1

Überblick

- Haldanes Dekompressions-Modell
- Die US-Navy Tabelle und Wiederholungstauchgänge
- Der Recreational Dive Planner
- Tauchcomputer
- Spezielle Regeln, Empfehlungen und Situationen beim Gebrauch von RDP und Tauchcomputern
- Gebrauch der Tabellen-Version des RDP und des Wheel

DM 8 - 2

# Vortrag

## Überblick und Lernziele

### I. Haldanes Dekompressions-Modell

1. Wem wird die Entwicklung des Dekompressions-Modells zugeschrieben, das in den meisten unserer heutigen Tauchcomputer und Tauchtabellen verwendet wird?
2. Beschreibe die Struktur und die Arbeitsweise des Modells von Haldane.
3. Was versteht man unter Kompartiment, Halbwertszeiten und M-Wert?
4. Weshalb musst du beim Tauchen deine ungefähre Höhe kennen?
5. Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell von Haldane und dem menschlichen Körper, und wie zuverlässig ist das Modell?

### II. Die US-Navy-Tabelle und Wiederholungstauchgänge

1. Weshalb wurde die Tauchtabelle der US-Navy einst als „Standard“ für das Sporttauchen angesehen?

### III. Der Recreational Dive Planner

1. Worauf beruht die Berechnung der Oberflächenpausen der US-Navy-Tabelle für Wiederholungs-Tauchgänge, und weshalb verwendet der Recreational Dive Planner hierfür eine andere Grundlage?
2. Für wen wurde der RDP entwickelt, und wie wurde er im Vergleich zur US-Navy-Tabelle getestet?
3. Welche Auswirkung hat der Gebrauch der Oberflächentabelle des Recreational Dive Planner (RDP) im Vergleich zur US-Navy-Tabelle?
4. Weshalb gibt es den RDP in zwei Ausführungen?

5. Weshalb können Wiederholungsgruppen des RDP nicht auf die US-Navy-Tabelle oder andere Tabellen übertragen werden?

## IV. Tauchcomputer

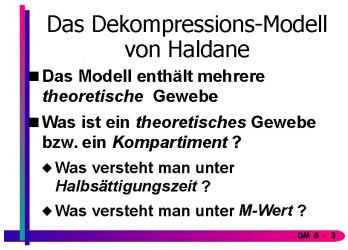
1. Auf welche Weise verwenden moderne Tauchcomputer Dekompressions-Modelle, um dem Taucher mehr Nullzeit zu bieten?
2. Wie unterscheiden sich Tauchcomputer und der RDP hinsichtlich der Berechnung der Oberflächenpausen und der M-Werte?

## V. Spezielle Regeln, Empfehlungen und Situationen beim Gebrauch von RDP und Tauchcomputern

1. Welche allgemeinen Regeln gibt es für das Tauchen mit dem RDP, einschliesslich der Regeln für das Fliegen nach dem Tauchen, für eine Notfall-Dekompression und bei einer ausgelassenen Dekompression?
2. Welche Empfehlungen gibt es für das Tauchen mit einem Tauchcomputer?

## VI. Gebrauch der Tabellen-Version des RDP und des Wheel

1. Zeige, wie man mit der Tabellen-Version des RDP und dem Wheel die Nullzeitgrenzen für einen ersten Tauchgang und einen Wiederholungstauchgang findet.
2. Zeige, wie man mit dem Wheel einen Multilevel-Tauchgang plant.
3. Zeige, wie man mit der Tabellen-Version des RDP und dem Wheel Tauchprofile für 3 oder mehr Wiederholungstauchgänge berechnet.




### Ausarbeitung

## I. Haldanes Dekompressions-Modell

A. Wem wird die Entwicklung des Dekompressions-Modells zugeschrieben, das in den meisten unserer heutigen Tauchcomputer und Tauchtabellen verwendet wird?

1. Alle Tauchtabellen und Tauchcomputer berechnen Nullzeitgrenzen und Dekompressions-Stops (falls solche benötigt werden) auf der Grundlage eines Dekompressions-Modells nach Haldane.
2. Haldane-Modelle werden nach John Scott Haldane benannt, dem die Entwicklung des ersten mathematischen Dekompressions-Modells zugeschrieben wird, und darauf basierend auch die erste Tauchtabelle.

    - Die Britische Königliche Marine beauftragte Haldane, die Problematik der Dekompressions-Krankheit bei Marinetauchern zu untersuchen und das Problem zu lösen.
    - Haldane wusste von Paul Berts Arbeit, die aufgezeigt hatte, dass gelöster Stickstoff die Dekompressions-Krankheit verursacht. Niemand hatte jedoch bisher ein System entwickelt, mit dem sich die Dekompressions-Krankheit vorhersagen liesse.
    - Haldane führte seine Experimente und die Entwicklung seines Modells und seiner Tauchtabelle im Jahre 1906 durch, veröffentlicht wurde das Ergebnis seiner Arbeit im Jahre 1908 im „Journal of Hygiene“. Konzeptionell unterscheiden sich die modernen Haldane-Modelle von heute wenig von Haldanes Originalmodell.

## B. Beschreibe die Struktur und die Arbeitsweise des Modells von Haldane.

1. Haldane führte zur Entwicklung seines Modells Experimente durch und ging dabei von folgenden Zusammenhängen aus:

    - Nach dem Abtauchen auf eine bestimmte Tiefe ist der Druck des Stickstoffs in der eingeatmeten Luft höher als im Körper, so dass sich Stickstoff in den Körpergeweben löst.

- Wenn ausreichend Zeit gelassen wird, wird sich der Körper sättigen und keinen weiteren Stickstoff in dieser Tiefe absorbieren.
- Beim Auftauchen ist der Druck des Stickstoffs in den Geweben (Gewebedruck) höher als der Umgebungsdruck, was dazu führt, dass die Gewebe Stickstoff abgeben.
- Der Druckunterschied zwischen dem gelösten Stickstoffdruck in den Geweben und dem Umgebungsdruck wird als Druckgefälle bezeichnet (dies gilt für das Abtauchen wie für das Auftauchen).
- Beim Auftauchen können die Gewebe ein gewisses Druckgefälle, d.h. einen gewissen Überdruck in den Geweben aushalten, ohne dass es zur Dekompressions-Krankheit kommt.
- Wenn das Druckgefälle jedoch akzeptable Grenzen überschreitet, bilden sich Stickstoffblasen, die eine Dekompressions-Krankheit auslösen.
- Die Dekompressions-Krankheit kann vermieden werden, indem das Druckgefälle innerhalb akzeptabler Grenzen gehalten wird.

## C. Was versteht man unter Kompartiment, Halbwertszeit und M-Wert?

1. Haldane fand heraus, dass verschiedene Teile des Körpers Stickstoff unterschiedlich schnell aufnehmen und wieder abgeben. Um diese Unterschiede zu berücksichtigen, entwickelte Haldane ein mathematisches Modell, das aus mehreren theoretischen Geweben besteht:

   - Diese Gewebe haben keinen direkten Bezug mit irgendwelchen bestimmten Körpergeweben.
   - Weil sie echten Körpergeweben nicht direkt entsprechen, ist es korrekter, sie als Kompartimente oder als theoretische Gewebe zu bezeichnen.

- Haldanes Originalmodell bestand aus 5 Kompartimenten, moderne Modelle enthalten 14 oder mehr Kompartimente.

2. Jedes Kompartiment besitzt eine Halbwertszeit die ausdrückt, wie schnell das Kompartiment Stickstoff aufnimmt und wieder abgibt.

    - Die Halbwertszeit ist die Zeit, in Minuten, die ein bestimmtes Kompartiment benötigt, um, ausgehend von seinem anfänglichen Druck, in der neuen Tiefe zur Hälfte gesättigt zu sein, was mathematisch in Form einer exponentiellen Kurve verläuft.
    - Nach 6 Perioden wird ein Kompartiment als vollständig gesättigt angesehen (tatsächlich sind es exakt 98,6% — was für die praktischen Belange beim Tauchen genau genug ist). Zum Zwecke der Vereinfachung wird der Gewebedruck häufig als „Meter Salzwasser“ (msw) ausgedrückt, was bedeuten soll, dass er dem in der betreffenden Tiefe herrschenden Druck entspricht.
    - Perioden werden in Minuten angegeben — bei Haldane von 5 bis 75 Minuten. In modernen Modellen sind es 3 bis über 600 Minuten. Kompartimente mit kurzen Perioden werden manchmal als schnelle Gewebe bzw. als schnelle Kompartimente bezeichnet, solche mit längeren Perioden entsprechend als langsame Gewebe bzw. als langsame Kompartimente.

**Beispiel** — Welchen Gewebedruck wird ein Kompartiment mit einer Halbwertszeit (Periode) von 5 Minuten haben, 5 Minuten nachdem es von der Oberfläche auf 18 Meter Tiefe gebracht wurde (Salzwasser)?

**Antwort:** Einen Gewebedruck entsprechend 9 msw (in einer Periode legt das Kompartiment den halben Weg vom anfänglichen zum neuen Druck zurück).

**Beispiel** — Welchen Gewebedruck wird ein Kompartiment mit einer Perioden von 20 Minuten nach 40 Minuten in 24 Meter Tiefe haben (Salzwasser)?

**Antwort:** Einen Gewebedruck entsprechend 18 msw
40 Minuten sind 2 Perioden für ein Kompartiment mit 20 Minuten Halbwertszeit.
Nach der ersten Periode erreicht der Gewebedruck die Hälfte von 24 msw = 12 msw.
Nach der zweiten Periode die Hälfte von 12 bis 24 = 18 msw.

**Beispiel** — Wie lange würde es dauern, ein 60-Minuten-Kompartiment in einer bestimmten Tiefe zu sättigen?

**Antwort:** 360 Minuten (6 Perioden von 60 Minuten)

3. Ausser unterschiedlichen Halbwertszeiten (Perioden) hat jedes Kompartiment auch einen unterschiedlichen M-Wert.

   - Der M-Wert ist der beim Auftauchen zur Oberfläche maximal erlaubte Gewebedruck in einem Kompartiment, um ein Überschreiten des akzeptablen Druckgefälles zu vermeiden. {Tatsächlich gibt es unterschiedliche M-Werte für jedes Kompartiment in jeder Tiefe — beim Nullzeit-Tauchen verwenden wir jedoch nur denjenigen für die Oberfläche.}
   - Je schneller das Kompartiment (kürzere Periode) desto höher ist der M-Wert (d.h. desto mehr Stickstoff ist bei Erreichen der Oberfläche gestattet); je langsamer das Kompartiment, desto niedriger der M-Wert.

- M-Werte werden bei Test-Tauchgängen ermittelt, die zeigen, welche Profile zur Dekompressions-Krankheit oder zu durch einen Doppler feststellbaren Stickstoffblasen führen, bzw. welche Profile nicht dazu führen.

**4. Weshalb musst du beim Tauchen deine ungefähre Höhe kennen?**

- Der M-Wert ist für das Auftauchen zur Oberfläche auf Meereshöhe berechnet; in einer Höhe oberhalb etwa 300 Meter kann das Druckgefälle zu gross sein, falls du keine Verfahren für das Tauchen in grösserer Höhe anwendest. Du musst also deine ungefähre Höhe kennen, in der du tauchst, damit du unter Anwendung der Verfahren für das Tauchen in grösserer Höhe dein Tauchen an das Druckgefälle anpassen kannst.

5. Das Modell funktioniert so, dass berechnet wird, wieviel Stickstoff jedes Kompartiment für eine bestimmte Tiefe und Zeit absorbiert, und sobald irgendein Kompartiment seinen M-Wert erreicht, endet der Tauchgang (oder wird zu einem Dekompressions-Tauchgang).

   - Bei tieferen Tauchgängen erreichen schnelle Kompartimente gewöhnlich ihren M-Wert zuerst — dies ist der Grund, weshalb tiefere Tauchgänge kürzere Nullzeitgrenzen haben.
   - Bei flacheren Tauchgängen kann die Tiefe geringer sein, als der M-Wert einiger schnellerer Kompartimente. In diesem Fall kontrolliert ein langsameres Kompartiment den Tauchgang, und das Modell gestattet mehr Nullzeit.
   - Dasjenige Kompartiment, das seinen M-Wert zuerst erreicht, wird als Kontrollgewebe bezeichnet.

### D. Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell von Haldane und dem menschlichen Körper, und wie zuverlässig ist das Modell?

1. Haldane-Modelle sind mathematische Extrapolationen.
2. Wie bereits erwähnt, existiert keine direkte Beziehung zwischen dem Modell und dem menschlichen Körper, sondern diese Beziehung ist lediglich eine Schlussfolgerung, jedoch auf Grundlage tatsächlicher Tauchdaten (Testtauchgänge und Daten echter Tauchgänge).
3. Wie alle Modelle unterliegen auch Haldane-Modelle bestimmten Zuverlässigkeitsbeschränkungen.
4. Auf ein Modell kann man sich nur insoweit verlassen, als es in Tests und in der Praxis nachgewiesen hat, dass es funktioniert.
5. Modelle sind nicht perfekt — deshalb lernen Taucher von Beginn an, dass immer ein gewisses Risiko einer Dekompressions-Krankheit existiert, sogar wenn man innerhalb der Grenzen des Tauchcomputers bzw. der Tauchtabelle bleibt – das tatsächliche Auftreten einer Dekompressions-Krankheit beträgt weniger als 1%, aber ein gewisses Risiko besteht immer.

## II. Die US-Navy-Tabelle und Wiederholungstauchgänge

A. Die Akzeptanz für Haldanes Tauchtabelle war hoch, dennoch revidierte die US-Navy das Modell und die Tabelle von Zeit zu Zeit, um sich ändernden Anforderungen und dem aktuellen Wissensstand gerecht zu werden.

B. Die Revision im Jahre 1950 (die gegenwärtige Version der US-Navy-Tabelle) enthielt zwei wichtige Unterschiede zu Haldanes Originalmodell und -tabelle:

1. Bei der US-Navy wurden 6 Kompartimente verwendet, wobei die längste Halbwertszeit 120 Minuten betrug. Der US-Navy lagen Daten vor, die darauf schliessen liessen, dass sogar noch langsamere Körperbereiche zu berücksichtigen wären.

2. Es wurde eine Tabelle für die Oberflächenpausen an die Tabelle hinzugefügt und es wurden vorher alle Tauchgänge innerhalb von 24 Stunden addiert und als ein Tauchgang behandelt.

## C. Weshalb wurde die Tauchtabelle der US-Navy einst als „Standard“ für das Sporttauchen angesehen?

1. Die US-Navy-Tabelle wurde zwar primär für militärische Dekompressions-Tauchgänge entwickelt, sie wurde quasi zum Standard auch für das Sporttauchen bis etwa Mitte der 80er Jahre, aus folgenden Gründen:

   - Vor dem Aufkommen des Personal Computers (PC) war die Entwicklung einer Tauchtabelle ein mühsamer Prozess, der per Hand erfolgen musste. Nur wenige ausserhalb der Navy hatten die Mittel und die Fähigkeit, eine Tauchtabelle zu entwickeln.
   - Viele Sporttaucher der Anfangszeit begannen als Militärtaucher und übernahmen daher die ihnen geläufige US-Navy-Tabelle einfach für das Sporttauchen.
   - Die US-Navy-Tabelle war leicht erhältlich und als öffentliche Publikation reproduzierbar und konzeptionell veränderbar.
   - Obwohl die US-Navy-Tabelle für den Gebrauch durch Sporttaucher nicht ideal war, leistete sie viele Jahre hervorragende Dienste, und man konnte sich auf ihre Werte verlassen, wenn man die anerkannten konservativen Verfahrensweisen des Tauchens beachtete.

D. Wiederholungstauchgänge

1. Da bei der US-Navy das Gerätetauchen (Scuba) einen immer wichtigeren Stellenwert bekam, ergab sich die Notwendigkeit von Verfahren für Wiederholungstauchgänge mit längeren Tauchzeiten, die auf der Grundlage der Berechnung für den während der Oberflächenpause abgebauten Stickstoff längere Wiederholungstauchgänge basierten.

2. In der rein mathematischen Theorie des Haldaneschen Modells geben alle Kompartimente den beim Tauchgang aufgenommenen Stickstoff gemäss ihrer normalen Halbsättigungszeit wieder ab (d.h. dass ein 5-Minuten-Kompartiment theoretisch nach 6 Perioden bzw. nach 6 x 5 = 30 Minuten an der Oberfläche den Stickstoff des Tauchgangs komplett wieder abgegeben hat; ein 10-Minuten-Kompartiment hätte nach 6 x 10 = 60 Minuten (6 Perioden) keinen überschüssigen Stickstoff mehr in sich usw.).

3. Man kann auf diese Weise jedoch keine praktikable Tauchtabelle konstruieren, da jedes der Kompartimente einen Wiederholungstauchgang kontrollieren kann, abhängig vom ersten Tauchgang, der Oberflächenpause und dem zweiten Tauchgang.

4. Um dieses Problem zu lösen, legte die US-Navy ihrer Oberflächenpausen-Tabelle das schlimmstmögliche Szenario zugrunde — einen Wiederholungstauchgang, dem ein Tauchgang mit erforderlichem Dekompressions-Stop vorausgegangen war, was bedeutete, dass das langsamste Kompartiment des Modells (das mit 120 Minuten Halbwertszeit) den Wiederholungstauchgang kontrollierte.

5. Dies hat zur Konsequenz, dass alle Kompartimente an der Oberfläche zu 120-Minuten-Kompartimenten werden und alle Berechnungen des an der Oberfläche abgegebenen Stickstoffs werden basiert auf diesem schlimmstmöglichen Ansatz. Und dies ist auch der Grund dafür, weshalb es 12 Stunden dauert (6 x 120 = 720 Minuten = 12 Stunden), um bei Verwendung der US-Navy-Tabelle wieder „clean“ zu sein, d.h. ohne Rest-Stickstoff aus einem vorherigen Tauchgang.

6. Die US-Navy testete ihre Tabelle und die Verfahren für Wiederholungstauchgänge mit Navy-Tauchern, d.h. Militärtauchern, und gab sie zur Verwendung durch ihre Flotte frei.

- Die Testpersonen waren Männer, körperlich trainiert, die meisten 20 bis 30 Jahre alt.
- Als Testkriterium galt: Bends oder keine Bends, d.h. Symptome der Dekompressions-Krankheit oder keine Symptome.

## III. Der Recreational Dive Planner

### A. Worauf beruht die Berechnung der Oberflächenpausen der US-Navy-Tabelle für Wiederholungs-Tauchgänge, und weshalb verwendet der Recreational Dive Planner hierfür eine andere Grundlage?

1. Mitte der 80er Jahre beschäftigte sich PADI Divemaster Dr. Raymond Rogers mit den Grundlagen der US-Navy-Tabelle. Er erkannte die hervorragende Leistung dieser Tabelle an, vermutete aber zugleich, dass sie für das sportliche Tauchen vielleicht nicht ideal wäre.

   - Die Verwendung des 120-Minuten-Kompartimentes für die Oberflächenpause erschien zwar für die Belange des militärischen Dekompressions-Tauchens angemessen, würden aber ausschliesslich Nullzeit-Tauchgänge unternommen, so erschien ihm dies als übertrieben konservativ.
   - Die US-Navy-Tabelle wurde für Militärtaucher geschaffen und auch durch diese getestet, aber diese Gruppe entsprach nicht dem Spektrum der Sporttaucher, und zwar hinsichtlich der Frauen und bezüglich der Altersgruppen unter- und oberhalb des Alters der militärischen Testpersonen.
   - Seit Einführung der US-Navy-Tabelle war der Doppler-Ultraschall-Detektor entwickelt worden, und damit war es möglich geworden, sog. „stille“, d.h. asymptomatische Stickstoffblasen nachzuweisen, die sich bei Tauchgängen an die Grenzen der US-Navy-Tabelle oftmals bildeten; dies liess niedrigere M-Werte für das nicht-militärische Tauchen angemessener erschei-

nen (mit der Konsequenz, dass sich bei Einzeltauchgängen die Nullzeitgrenzen verkürzen würden).

- Die Verwendung des 120-Minuten-Kompartimentes für die Oberflächenpause erschien zwar für die Belange des militärischen Dekompressions-Tauchens angemessen, würden aber ausschliesslich Nullzeit-Tauchgänge unternommen, so erschien ihm dies als übertrieben konservativ.
- Die US-Navy-Tabelle wurde für Militärtaucher geschaffen und auch durch diese getestet, aber diese Gruppe entsprach nicht dem Spektrum der Sporttaucher, und zwar hinsichtlich der Frauen und bezüglich der Altersgruppen unter- und oberhalb des Alters der militärischen Testpersonen.
- Seit Einführung der US-Navy-Tabelle war der Doppler-Ultraschall-Detektor entwickelt worden, und damit war es möglich geworden, sog. „stille“, d.h. asymptomatische Stickstoffblasen nachzuweisen, die sich bei Tauchgängen an die Grenzen der US-Navy-Tabelle oftmals bildeten; dies liess niedrigere M-Werte für das nicht-militärische Tauchen angemessener erscheinen (mit der Konsequenz, dass sich bei Einzeltauchgängen die Nullzeitgrenzen verkürzen würden).

## B. Für wen wurde der RDP entwickelt, und wie wurde er im Vergleich zur US-Navy-Tabelle getestet?

In Zusammenarbeit mit DSAT (Diving Science & Technology, USA) entwickelte Dr. Raymond Rogers den RDP
Die Tests fanden am Institut für angewandte Physiologie und Medizin (IAPM, USA) unter Leitung von Dr. Michael Powell statt

DM 8 - 6

1. In Zusammenarbeit mit DSAT (Diving Science & Technology — ein Zweigunternehmen von PADI), entwickelte Rogers den RDP. Er wurde in den Jahren 1987 und 1988 am Institut für angewandte Physiologie und Medizin (IAPM, Institute of Applied Physiology and Medicine, USA) unter Leitung von Dr. Michael Powell getestet.

2. Tests in den Jahren 1987 und 1988:

   - Als „Kontrollgewebe“ für die Oberflächenpausen-Tabelle wurde das 60-Minuten-Kompartiment festgelegt.
   - Bei diesen Tests wurde zum ersten Mal das Multilevel-Tauchen ausführlich getestet.
   - Die Spanne der Testpersonen repräsentierte besser die Gruppe der Sporttaucher.
   - Testkriterium waren mittels Doppler-Ultraschallgerät feststellbare Stickstoffblasen, und nicht mehr lediglich die Dekompressions-Krankheit.
   - In Mehrtage-Tests wurde der RDP erfolgreich getestet, wobei an 6 Tagen jeweils 4 Tauchgänge täglich erfolgten (ein konservativeres Tauchen, d.h. mit weniger Tauchgängen, wird jedoch empfohlen).

## C. Welche Auswirkung hat der Gebrauch der Oberflächentabelle des Recreational Dive Planner (RDP) im Vergleich zur US-Navy-Tabelle?

1. Dr. Rogers stellte fest, dass für das reine Nullzeit-Tauchen das 120-Minuten-Kompartiment als „Kontrollgewebe“ der Oberflächenpause zu konservativ war; ein Kompartiment mit 60 Minuten Halbwertszeit erwies sich als angemessen.

   - Die Wahl dieses Kompartimentes bedeutet, dass während einer Oberflächenpause etwa eine doppelte Menge an Stickstoffabgabe stattfindet, als unter Verwendung der US-Navy-Tabelle.

2. Das RDP-Modell enthält 14 Kompartimente, von 5 bis 480 Minuten Halbwertszeit (Perioden).

3. Die Berechnung der Oberflächenpause basiert auf dem Stickstoffabbau des 60-Minuten-Kompartimentes; die spezielle W-X/Y-Z-Regel sorgt dafür, dass auch langsamere Kompartimente innerhalb akzeptabler Grenzen bleiben.

D. Dr. Rogers reduzierte die M-Werte, um den gewonnenen Doppler-Werten Rechnung zu tragen. Der RDP gewährt mehr Nullzeit bei Wiederholungstauchgängen, die maximal erlaubte „Aufladung“ der „Gewebe“ mit Stickstoff ist jedoch geringer als bei der US-Navy-Tabelle.

1. Die Nullzeit-Grenzwerte werden manchmal als „Spencer“-Grenzwerte bezeichnet, nach dem Physiologen Dr. Merrill Spencer (USA), der diese Grenzwerte als erster empfahl.

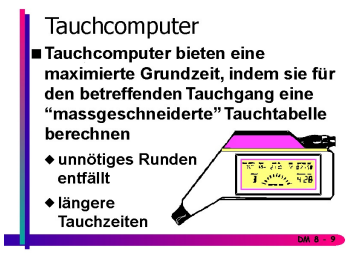
**E. Weshalb gibt es den RDP in zwei Ausführungen?**

1. Die Tabellen-Version wurde für diejenigen Taucher entwickelt, die das Tabellen-Format gewohnt waren.
2. Der RDP in der Wheel-Version ermöglicht das Multilevel-Tauchen, es bietet höhere Genauigkeit und ist einfacher in der Anwendung.

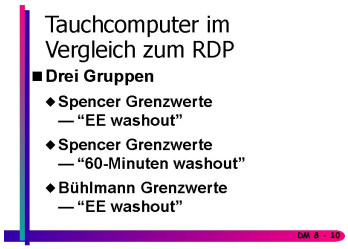
**F. Weshalb können Wiederholungsgruppen des RDP nicht auf die US-Navy-Tabelle oder andere Tabellen übertragen werden?**

1. Der RDP hat eine grössere Zahl von Wiederholungsgruppen als die US-Navy-Tabelle. Die Wiederholungsgruppen-Buchstaben repräsentieren die theoretische Stickstoffsättigung der Kompartimente im mathematischen Modell, und da die US-Navy-Tabelle und andere Tauchtabellen unterschiedliche Modelle verwenden, sind die Wiederholungsgruppen zwischen RDP, US-Navy-Tabelle oder irgendwelchen anderen Tauchtabellen nicht austauschbar.
2. Die Wiederholungsgruppen der verschiedenen Versionen des RDP sind jedoch untereinander austauschbar.

## IV. Tauchcomputer




**A. Auf welche Weise verwenden moderne Tauchcomputer Dekompressions-Modelle, um dem Taucher mehr Nullzeit zu bieten?**




1. Tauchcomputer bieten eine maximierte Grundzeit sozusagen dadurch, dass sie für den betreffenden Tauchgang eine „massgeschneiderte“ Tauchtabelle berechnen — dadurch erübrigt sich unnötiges Runden und erhöht sich die Tauchzeit.

## B. Wie unterscheiden sich Tauchcomputer und der RDP hinsichtlich der Berechnung der Oberflächenpausen und der M-Werte?

1. Tauchcomputer mit Spencer-Grenzwerten und „EE Stickstoffabgabe“.

   - Ungefähr gleiche M-Werte wie der RDP.
   - Alle Kompartimente geben theoretisch gesehen mit der selben Schnelligkeit den Stickstoff an der Oberfläche ab, wie sie ihn unter Wasser aufgenommen haben (das „EE“ steht für mathematisch Exponentielle Aufsättigung und Exponentielle Entsättigung), wohingegen der RDP den theoretisch aufgenommenen Stickstoff für alle Kompartimente mit einer Halbwertszeit von 60 Minuten oder schneller, mit Halbwertszeit mit 60 Minuten Perioden berechnet.
   - Diese Entsättigung bedeutet, dass diese Tauchcomputer Tauchgänge erlauben können, die jenseits dessen liegen, was erfolgreich getestet wurde — z.B. 3 Tauchgänge auf 40 Meter hintereinander, mit jeweils 10 Minuten Grundzeit und nur 30 Minuten Oberflächenpause dazwischen.
   - Eine solche Entsättigung ist kein Problem, solange die Taucher mehrfache Tieftauchgänge mit kurzen Oberflächenpausen vermeiden (was ganz allgemein nicht empfohlen wird, sei es mit Tauchcomputer oder mit Tabelle).

2. Tauchcomputer mit Spencer-Grenzwerten und 60 Minuten Perioden für die Stickstoffabgabe.

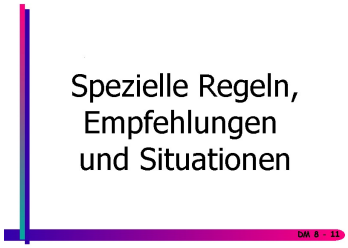
- Basieren auf den Daten des RDP.
- An der Oberfläche entsättigen die 60-Minuten-Kompartimente und schnellere Kompartimente mit einer 60-Minuten Periode; alle langsameren Kompartimente entsättigen mit ihrer Unterwasser-Halbwertszeit (wie der RDP).
- Die Tauchgänge ähneln denen, die das RDP-Modell gestattet.

3. Tauchcomputer mit Bühlmann-Grenzwerten und „EE Stickstoffabgabe".

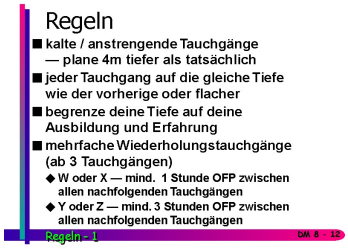
   - Weiter reduzierte M-Werte (basierend auf den Arbeiten von Prof. Bühlmann).
   - Alle Kompartimente entsättigen mit ihren Unterwasser-Halbwertszeiten.
   - Wiederholungstauchgänge ähneln bei niedrigeren M-Werten dem, was die RDP-Daten nahelegen; es werden jedoch tiefe Wiederholungstauchgänge mit kurzen Oberflächenpausen erlaubt, die jenseits dessen liegen, was erfolgreich getestet wurde.

C. Tauchcomputer mit Spencer-Grenzwerten und 60 Minuten Perioden zur Stickstoffabgabe sowie Tauchcomputer mit Bühlmann-Grenzwerten, „EE Stickstoffabgabe", scheinen die unter Tauchern populärsten Typen zu sein.

## V. Spezielle Regeln, Empfehlungen und Situationen beim Gebrauch von RDP und Tauchcomputern

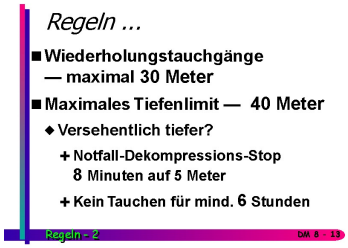


**Hinweis zur Erinnerung:** Da Menschen gegenüber der Dekompressions-Krankheit unterschiedlich anfällig sind, kann keine Tauchtabelle und kein Tauchcomputer garantieren, dass Dekompressions-Krankheit niemals eintreten wird, selbst für den Fall, dass man innerhalb der Begrenzungen der Tabelle oder des Computers taucht. Gehe beim Tauchen niemals an die Grenzen einer Tauchtabelle oder eines Tauchcomputers, und niemals über diese hinaus.




## A. Welche allgemeinen Regeln gibt es für das Tauchen mit dem RDP, einschliesslich der Regeln für das Fliegen nach dem Tauchen, für eine Notfall-Dekompression und bei einer ausgelassenen Dekompression?

1. Beim Planen eines Tauchgangs in kaltem Wasser oder unter Bedingungen, die anstrengend sein könnten, dann nimm bei der Planung an, die Tiefe sei 4 Meter tiefer, als sie tatsächlich ist.
2. Plane Wiederholungstauchgänge so, dass jeder nachfolgende Tauchgang auf die gleiche oder eine geringere Tiefe führt. Lasse auf einen Tauchgang niemals einen tieferen Tauchgang folgen. Plane den tiefsten Tauchgang als deinen ersten Tauchgang.
3. Begrenze deine Maximaltiefe unter Berücksichtigung deiner Ausbildung und deiner Erfahrung als Taucher. (PADI Scuba Diver 12m, PADI Open Water Diver 18m, Taucher mit grösserer Erfahrung und höherer Ausbildungsstufe 30m; kein Tauchgang tiefer als 40m.)
4. Mehrfache Wiederholungstauchgänge. Diese Regel gilt für das Planen von drei oder mehr Tauchgängen pro Tag.
   - Erreichst du bei irgendeinem dieser Tauchgänge die Wiederholungsgruppe W oder X, dann beträgt die Oberflächenpause zwischen allen darauffolgenden Tauchgängen mindestens 1 Stunde.
   - Erreichst du bei irgendeinem dieser Tauchgänge die Wiederholungsgruppe Y oder Z, dann beträgt die Oberflächenpause zwischen allen darauffolgenden Tauchgängen mindestens 3 Stunden.
5. Begrenze Wiederholungstauchgänge auf maximal 30 Meter.
6. Die Tiefe 42 Meter ist auf dem Recreational Dive Planner ausschliesslich für den Notfall angegeben; tauche niemals tiefer als 40 Meter.



7. Entdeckst du, dass du versehentlich tiefer als 40 Meter getaucht bist, tauche sofort mit einer Aufstiegsgeschwindigkeit von maximal 18 Metern pro Minute auf 5 Meter auf, und mache einen Notfall-Dekompressions-Stop für 8 Minuten — falls die Nullzeitgrenze um nicht mehr als 5 Minuten überschritten wurde. Tauche nicht innerhalb der nächsten 6 Stunden.

B. Sicherheits-Stops

1. Es wird dir empfohlen, nach jedem Tauchgang in 5 Meter Tiefe für 3 Minuten einen Sicherheits-Stop zu machen. (Die Zeit des Sicherheits-Stops muss nicht zur Grundzeit addiert werden.)

2. Ein Sicherheitsstop muss immer gemacht werden:

   - Nach jedem Tauchgang auf 30 Meter (oder tiefer).
   - Immer dann, wenn dich ein Tauchgang in eine der 3 letzten Wiederholungsgruppen vor Erreichen der Nullzeitgrenze führt.
   - Immer dann, wenn dich ein Tauchgang an einen Grenzwert des RDP bringt.

3. PADI S.A.F.E. Kampagne (Slowly Ascend From Every Dive — Tauche nach jedem Tauchgang langsam auf.

   - Dieses Projekt entstand aus PADIs führender Rolle im Bemühen, Sporttaucher zu langsameren Aufstiegsgeschwindigkeiten anzuhalten. {Verweise die Kandidaten auf den Randspaltenartikel zur S.A.F.E. Kampagne in Kapitel Vier des PADI Open Water Diver Manuals.}

C. Notfall-Dekompression

1. Ein Notfall-Dekompressions-Stop auf 5 Meter für 8 Minuten muss durchgeführt werden, wenn eine Nullzeitgrenze um nicht mehr als 5 Minuten überschritten wurde.

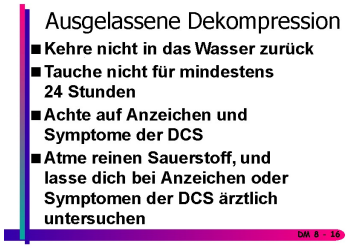
- Nach dem Auftauchen muss der Taucher mindestens 6 Stunden vor einem weiteren Tauchgang aus dem Wasser bleiben.

2. Ein Notfall-Dekompressions-Stop auf 5 Meter für mindestens 15 Minuten wird dringend angeraten (ausreichender Luftvorrat vorausgesetzt), wenn eine Nullzeitgrenze um mehr als 5 Minuten überschritten wurde.

   - Nach dem Auftauchen muss der Taucher mindestens 24 Stunden vor einem weiteren Tauchgang aus dem Wasser bleiben.

3. Ein Dekompressions-Stop wird als Notfallverfahren angesehen. Der RDP sollte niemals für geplante Dekompressions-Tauchgänge verwendet werden oder für Tauchgänge, bei denen ein anderes Gas als Pressluft oder „angereicherte Luft“ geatmet wird, wofür spezielle Verfahren eingehalten werden müssen.

4. „Nasse“ Rekompression — Das Behandeln einer Dekompressions-Erkrankung, indem der Taucher zurück unter Wasser gebracht wird, sollte niemals versucht werden. Eine Rekompression erfordert viel Zeit, Sauerstoff und häufig eine Therapie mit Medikamenten. Normalerweise stehen die benötigten Mittel am Tauchplatz nicht zur Verfügung, und eine nicht zu Ende geführte Rekompression wird den Zustand des Tauchers gewöhnlich verschlechtern.



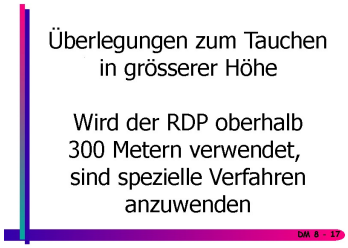

D. Ausgelassene Dekompression

1. Falls ein Notfall-Dekompressions-Stop versehentlich ausgelassen wurde, tauche für mindestens 24 Stunden nicht erneut.

2. Ruhe dich aus, achte auf Anzeichen und Symptome der Dekompressions-Krankheit.

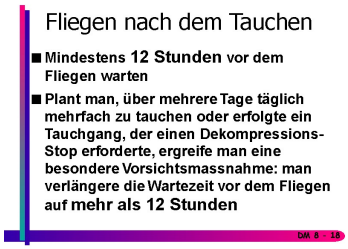
3. Atme reinen Sauerstoff.

4. Bei Anzeichen oder Symptomen der Dekompressions-Krankheit lasse dich ärztlich untersuchen.



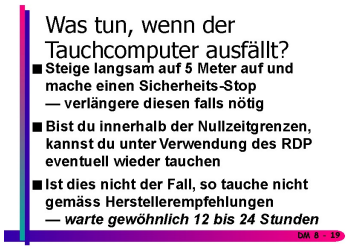

E. Überlegungen zum Tauchen in grösserer Höhe

1. Da bei Tauchgängen in grösserer Höhe die Tiefe in eine der Meereshöhe äquivalente theoretische Tiefe umgerechnet werden muss, müssen spezielle Verfahren angewendet werden, wenn der RDP oberhalb 300 Metern verwendet wird.
2. Für das Tauchen in grösserer Höhe wird empfohlen, an einem Spezialkurs teilzunehmen.




F. Empfehlungen zum Fliegen und dem Aufsuchen einer grösseren Höhe nach dem Tauchen. (Diese Empfehlung dient zur Anpassung bei Höhen von 300 bis 2.400 Metern (Kabinendruck der meisten Passierflugzeuge) über dem Meeresspiegel)

1. Mindestens 12 Stunden vor dem Fliegen warten.
2. Planst du, über mehrere Tage täglich mehrfach zu tauchen oder erfolgte ein Tauchgang, der einen Notfalldekompressions-Stop erforderte, solltest du eine besondere Vorsichtsmassnahme ergreifen - und deine Wartezeit vor dem Fliegen auf mehr als 12 Stunden verlängern.




## G. Welche Empfehlungen gibt es für das Tauchen mit einem Tauchcomputer?

1. Taucher sollten niemals versuchen, mit einem anderen Taucher einen Computer zu teilen. Verwende den selben Tauchcomputer den ganzen Tag — er muss sämtliche Tauchgänge und Oberflächenpausen erfassen und speichern.
2. Denke an folgende Punkte:
   - Tauchcomputer und Tauchtabellen haben die gleiche theoretische Grundlage — nichts macht eins davon besser oder sicherer.
   - Deshalb gelten die gleichen Richtlinien (mache z.B. keine tiefen Tauchgänge nach flachen Tauchgängen usw.).

3. Befolge die Empfehlungen des Herstellers.
4. Beende den Tauchgang aufgrund der Werte des konservativsten Computers im Team.
5. Falls der Computer unter Wasser ausfällt:
   - Tauche sofort gemäss der Herstellerrichtlinien auf. Falls es keine solchen Richtlinien gibt, so steige sofort langsam auf 5 Meter auf und mache dort einen Sicherheits-Stop. Gibt es irgendeinen Zweifel, dass du vielleicht versehentlich die Nullzeitgrenze überschritten haben könntest, mache den Stop mit deiner verbliebenen Luft so lange wie möglich.
   - Wenn du deine Tauchprofile auch mit einer Tauchtabelle geplant und dir die Werte notiert hast und dich innerhalb der Nullzeitgrenze befindest, kannst du unter Verwendung deiner Tabelle eventuell einen weiteren Tauchgang unternehmen.
   - Ist dies nicht der Fall, so gehe gemäss der Herstellerempfehlungen nicht erneut tauchen. Gewöhnlich musst du 12 bis 24 Stunden warten, bis du mit deiner Tauchtabelle oder einem Tauchcomputer wieder tauchen gehen darfst.

## VI. Gebrauch der Tabellen-Version des RDP und des Wheel

**Hinweis für den Instructor:** Die Kandidaten sollten mit dem RDP bereits vertraut sein, aber du solltest eine Wiederholung in Erwägung ziehen, um zu gewährleisten, dass sie so damit umgehen können, wie man es von einem „Leader“ erwartet. Die Kandidaten sollten die nachfolgenden Verfahren beherrschen. Gehe mit den Kandidaten Beispiele durch um ihr Lernen zu beurteilen, und wiederhole bzw. erkläre die Zusammenhänge und Vorgehensweisen wie erforderlich.

- **Zeige, wie man mit der Tabellen-Version des RDP und dem Wheel die Nullzeitgrenzen für einen ersten Tauchgang und einen Wiederholungstauchgang findet.**

RDP
Wiederholung
Tabelle

Dekompressions-
theorie
und der RDP

*Fragen?*

- **Zeige, wie man mit dem Wheel einen Multilevel-Tauchgang plant.**
- **Zeige, wie man mit der Tabellen-Version des RDP und dem Wheel Tauchprofile für 3 oder mehr Wiederholungstauchgänge berechnet.**

A. Finde die Nullzeitgrenze (NZG).

B. Finde die Wiederholungsgruppe (WG) nach einem Tauchgang.

C. Finde die neue WG nach einer Oberflächenpause (OFP).

D. Finde die angepasste Nullzeit (Tabelle und Wheel) und die Restnullzeit (RNZ) (Tabelle).

E. Finde die Totale Grundzeit (TGZ) und die neue WG nach einem Wiederholungstauchgang.

F. Finde alles obige für ein Tauchprofil mit drei oder mehr Wiederholungstauchgängen.

G. Finde die nächste zulässige Tiefenstufe für einen Multilevel-Tauchgang (Wheel).

H. Finde die Multilevel-Nullzeitgrenzen (ML-NDL) für jede Tiefenstufe eines Multilevel-Tauchgangs (Wheel).

I. Wende die W-X/Y-Z-Regel an.

J. Finde die Mindest-Oberflächenpause für einen Wiederholungstauchgang mit gegebener Grundzeit und Tiefe.

# Editing The U.S. Navy-Based NDLs For Conservatism

by Drew Richardson, Editor *The Undersea Journal,* and Director, Training and Education

PADI Headquarters is phasing out the U.S. Navy-based PADI Dive Tables and associated support materials to make way for the improved technology provided by the Recreational Dive Planner (RDP). However, in consideration of those instructors who prefer to use the old PADI and other Navy-based tables, the Training and Education Department recommends that you *still* take advantage of the more conservative and recently tested limits found on the Recreational Dive Planner.

***PADI is phasing out the U.S. Navy-based tables in favor of the Recreational Dive Planner. But what about the instructors, divemasters and divers who still cling to the old tables? With a waterproof marker and the following advice, they can edit in an extra measure of conservatism.***

## You can easily update your old Navy-based tables. . .

You can easily update your old Navy-based tables by using a waterproof marker to highlight more conservative NDLs. PADI has advised divers for years to avoid diving the U.S. Navy dive tables to their stated no-decompression limits. Now, the Training and Education Department recommends that divers observe the shorter NDLs from the Recreational Dive Planner when using the U.S. Navy-based PADI Dive Table. We have designed a procedure to revise the NDLs on the PADI Dive Table to reflect those on the RDP. Divers are wise to dive within these shorter NDLs.

Post a copy of this article and distribute this information to your advanced students and customers who are still using U.S. Navy-based dive tables, to inform them how to dive even more conservatively within the newly defined limits.

### A Marked Difference

Use this relatively simple procedure to accommodate this revision. Take a waterproof marker and make the following changes on your U.S. Navy-based PADI Dive Table by circling the new NDLs as shown.

Of course, switching to the RDP will save you and your customers this editing process, among offering other advantages. However, if you choose to hang on to your old tables, this extra measure of conservatism couldn't hurt — particularly if your set of old dive tables isn't the only thing that's getting up in years! □

| Feet | Change From | Change To |
|---|---|---|
| 35 | 220 min. | **190 min.** |
| 40 | 170 min. | **130 min.** |
| 50 | 100 min. | **80 min.** |
| 60 | 60 min. | **55 min.** |
| 70 | 50 min. | **40 min.** |
| 80 | 40 min. | **30 min.** |
| 90 | 30 min. | **25 min.** |
| 100 | 25 min. | **20 min.** |
| 110 | 20 min. | **15 min.** |
| 120 | 15 min. | **12 min.** |
| 130 | 15 min. | **10 min.** |

*Above chart shows no-decompression limits from Recreational Dive Planner. These can easily be "edited into" the U.S. Navy-based tables (right) to make them more conservative.*

| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4.5 | 6 | 7.5 | 9 | 10.5 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 |
| A | 60 | 35 | 25 | 20 | 15 | 5 | 5 | | | TIME IN MINUTES | | | | | | | |
| B | 120 | 70 | 50 | 35 | 30 | 15 | 15 | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | | | | |
| C | 210 | 110 | 75 | 55 | 45 | 25 | 25 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 7 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| D | 300 | 160 | 100 | 75 | 60 | 40 | 30 | 25 | 20 | 15 | 15 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | (7) |
| E | | 225 | 135 | 100 | 75 | 50 | 40 | 30 | 25 | 20 | 20 | 15 | 15 | 13 | (12) | 10 | 10 |
| F | | 350 | 180 | 125 | 95 | 60 | 50 | 40 | 30 | 30 | 25 | 20 | (20) | (15) | 15 | 15 1 | |
| G | | | 240 | 160 | 120 | 80 | 70 | 50 | 40 | 35 | (30) | (25) | 22 | 20 | | | 15 2 |
| H | | | 325 | 195 | 145 | 100 | 80 | 60 | 50 | (40) | 35 | 30 | 25 | 25 3 | 20 2 | 20 4 | |
| I | | | | 245 | 170 | 120 | 100 | 70 | (55) | 45 | 40 | | 30 3 | | 25 6 | | 20 6 |
| J | | | | 315 | 205 | 140 | 110 | (80) | 60 | 50 | | 40 7 | | 30 7 | 30 14 | 25 10 | → |
| K | | | | | 250 | 160 | (130) | 90 | 70 2 | 60 8 | 50 10 | | 40 15 | → K | | | |
| L | | | | | 310 | (190) | 150 | 100 | 80 7 | 70 14 | 60 17 | 50 18 | → L | | | | |
| M | | | | | | 220 | 170 | 140 10 | 100 14 | 80 18 | 70 23 | 60 25 | → M | | | | |
| N | | | | | | 270 | 200 | 160 21 | 120 26 | 90 23 | → N | | | | | | 0:1 0:2 |

**TABLE 1. NO-DECOMPRESSION LIMITS AND GROUP DESIGNATION TABLE** N

# Deep, Repetitive Diving — A New Rule Applies

by Drew Richardson, Director, Training and Education

***PADI has introduced a new rule for deep repetitive diving in response to recent hyperbaric research. This, as well as the latest information on other issues regarding decompression and the RDP, are brought forth in this article.***

A new rule has emerged on the subject of repetitive diving. (Based on the RDP, a repetitive dive is one that occurs within six hours of a previous dive.) To preface this, please note that our long-standing rules still hold: 1) Repetitive dives should be made progressively shallower during the course of a diving day and 2) The deep dive should be the first dive of a day.

Recently it was asked if planning a series of deep repetitive dives deeper than 100 feet was safe or advisable. This practice is unwise using any device, including the U.S. Navy dive table. In response to this, PADI has created the following rule:

### *Limit repetitive dives to 100 feet or shallower.*

If a diver has exceeded 100 feet on the first dive of a repetitive dive series, he may not dive beyond this depth again on a repetitive dive, that is, when he has engaged in any diving activity during the previous six hours. For the purpose of Deep Diver specialty training and the Advanced Open Water Diver course deep dives, it is still possible to make the first dive up to the maximum recreational diving depth of 130 feet if desired. However, subsequent repetitive dives done later that day must be 100 feet or shallower. (Remember: Always dive to the deepest depth first.) Be certain to implement this new rule in all of your instructional programs.

**The 60-Minute Tissue Compartment and the Rogers Model**

Many divers still request clarification on the 60-minute tissue compartment concept and exactly which tissue compartments Dr. Rogers used in his model.

To understand the Rogers model, lets first look at the U.S. Navy model. The U.S. Navy based its repetitive dive system on the 120-minute compartment halftime. The Navy had good reason to use this compartment for its purposes. Navy dives may generally be described as long decompression dives ranging from 10 feet to 300 feet. In dive planning, the Navy had to use the 120-minute compartment, which could very well become involved in such long, severe exposures. The military divers who dive profiles such as 200 feet for six hours need to use a slow tissue compartment as their "controlling" factor.

After looking at the way recreational divers typically dive, Dr. Rogers demonstrated that the Navy's choice of the 120-minute compartment is not ideal for *recreational* use, since it leads to excessive and unjustified restrictions on repetitive dives. Why? Understand that the Navy model assumes that this compartment will reach its maximum pressure. As a result, recreational divers using the Navy-based tables are burdened by a model designed to allow for off-gassing in a tissue compartment that never even comes close to its limit for recreational, no-decompression dives.

To select the controlling tissue compartment used in the RDP, Dr. Rogers computed the results of a great number of repetitive no-decompression dives. He was searching for the *slowest* tissue compartment that would reach its *M Value* (hyperbaric jargon for the maximum pressure the tissue compartment can withstand without requiring the diver to perform stage decompression procedures). He found that most often it was the 40-minute compartment, which is a far cry from the 120-minute compartment.

He also found that there were some occasions, when four or five long and shallow dives were performed, that the 60-minute tissue compartment would reach its M Value before the other tissue compartments, and thus would be the *controlling* tissue compartment on the dive. So, to be conservative, he based the RDP computations on the 60-minute compartment.

*(Continued on Page 26)*

(Continued from Page 25)

The 60-minute compartment is more responsive to off-gassing at the surface than the slower, 120-minute compartment. Because the surface interval credit table is based on the 60-minute "gas wash-out curve" (that is, the time is takes for that compartment to eliminate nitrogen to a pressure that is normal at sea level), the surface interval credit table is a total of six hours, and is comprised of 26 alphabetical groups. *Important note: These groups are not interchangeable with Navy-based tables!*

The 60-minute compartment is the controlling tissue compartment. However, Dr. Rogers' complete model consists of 14 theoretical tissue compartments: 5-, 10-, 20- 30-, 40-, 60-, 80-, 120-, 160-, 200-, 240-, 300-, 360- and 480-minutes. Fast compartments, such as 5 and 10 minutes, are useful in arriving at no-decompression limits for deep dives. It is important to note that the Rogers model does not ignore slower tissue compartments. Tissue compartments that are slower than 60 minutes proved useful in the study of flying after diving and in the evaluation of repeated long, shallow dives, so they were utilized. [Editor's Note: Twenty compartments were used to calculate the altitude conversion of the RDP.]

Still, the concern that remains in the minds of many divers is, "Can slow tissue compartments ever exceed their M Values in recreational diving?" Yes — *if* a series of long, shallow dives are performed to their no-decompression limits, slow tissue compartments could *possibly* exceed their limits. For this reason it was necessary to incorporate special rules in the RDP that require divers to take long surface intervals before repetitive diving if their dive puts them in a very high pressure group. Extended surface intervals become mandatory when the diver ends up in the W, X, Y or Z pressure groups. Understandably called the "W, X, Y, Z Rules," these mandatory surface intervals provide the necessary off-gassing of slow compartments under these circumstances.

**What is the Maximum Number of Dives Per Day PADI Recommends?**
Anyone who has dived off a live-aboard charter boat knows that its possible to make quite a number of dives in a short period of time. However, we have found that it is wise to limit repetitive diving to a *maximum* of three a day, no matter what table or computer you use. In general, it is unwise to push any dive planning device to its mathematical limits, RDP included. As a general recommendation, limit your diving day to three dives with an adequate surface interval in-between.

**What is PADI's Recommendation for Avoiding Decompression Sickness?**
Avoiding the bends is a matter of pacing yourself, diving conservatively and well within the no-decompression time limits, and avoiding maximum limits. Also, be certain to make a slow ascent to the surface and perform a safety stop at 15 feet for 3-5 minutes after every dive. During this time you can double-check your gauges and no-decompression limits for the attained depth. If you note that you accidently exceed your NDL, you can perform emergency decompression by adding on time to your safety stop. In this way you can avoid an omitted decompression situation.

**Is it Okay to Plan a Dive to 140 Feet on the RDP?**
No. The 140-foot curve was put on the RDP as a contingency only for a diver who accidentally exceeds a planned 130-foot dive. If you accidentally find yourself at 140 feet, ascend slowly to 15 feet and take an emergency decompression stop for eight minutes if you have not exceeded your 130-foot NDL by more than 5 minutes. If you find that you've exceeded the NDL by more than 5 minutes, increase your safety stop to 15 minutes at 15 feet. Do not dive again for at least 6 hours.

**Is There Any Greater Risk to a Diver Who Mixed Decompression Dives With No-Decompression Dives Repetitively?**
Yes, it is uncharted, untested territory. Generally, it is best to stay within the parameters of what has been tested and known to work.

**What Should be Done in the Event a Diver Exceeds an NDL and Does Not Do an Emergency Decompression Stop?**
This is a case of *Omitted Decompression*. However, the age-old Navy procedure for omitted decompression is no longer recommended for recreational divers. It is generally felt that this procedure would probably do more harm than good, given all the variables: low air, cold, fatigue, accuracy of stops, back-up assistance, possible further gas-loading complications, symptoms developing at depth and another ascent, to name a few.

The Navy procedure for omitted decompression was never originally intended for recreational divers; it was designed to be used if the diver is asymptomatic, a chamber is on-site, the diver is using surface-supply or ample air is available, communications are available, decompression platforms are available, and the diver is capable of realizing he made an error and can get back into the water and descend to 40 feet, having already calculated his emergency stops — all within three to five minutes. Generally, recreational divers operate well outside these conditions. The Navy developed the procedure as a contingency plan, knowing that it may help avoid treatment, but that if it didn't and symptoms developed, a chamber was immediately available.

A diver should always consider his no-decompression limits as lines that should never be crossed. Emergency decompression rules provide a "safety valve" for the diver who accidentally enters this "no-man's land." And while it's hard to conceive of how a conscientious, prepared diver could violate even those guidelines, there exist rules for omitted decompression:

1) Have the diver remain calm, stay out of the water and advise his or her dive

**ORGANIZE**
STUDENT RECORDS & SELECT SPECIFIC STUDENTS
FOR TARGET MAILINGS WITH
**SCUBA-PHYLE**
Allows Instructors & Stores To Effectively Share Records & Be
Selective In Mailing Announcements For Specialties, Class Literature,
Schedules, Updates, Sales, And More.
Saves Time, Materials, & Money; Minimizes Liabilities; Fast And Easy To Use;
47 Address Label Selections; Mail Merge Compatible; 14 Reports/Lists
**Cottage Businesses**
501 E. Katella, Suite 11C • Orange, CA 92667 • (714) 997-8698
$69.95 plus tax. Introductory Offer Expires 8/20/89

buddies of the situation.

2) Monitor the diver closely and carefully for any developing decompression sickness (DCS) symptoms, and if any abnormalities develop, seek medical assistance and breathe oxygen if available. Do not dive repetitively for 24 hours.

If a diver makes a habit of making a three-minute safety stop after all dives, and also makes a habit of reviewing his maximum depth and time limits during the stop, omitted decompression generally can be avoided.

If, while reviewing these limits, a diver discovers that his no-decompression limit was accidentally exceeded, then the safety stop can usually be safely extended to cover the decompression requirement.

*Note: Whenever there is a possibility that decompression sickness may occur, and this includes* all *omitted decompression scenarios, 100% oxygen should be administered, if allowed by law. It cannot harm the diver and may be of benefit. Know what is permitted in your area.*

**The S.A.F.E. Campaign's Role in Slowing Ascents and Encouraging Safety Stops**

The S.A.F.E. campaign encourages divers to give as much consideration to ascending as they do to descending. The key to the success of the campaign is the safety stop. It serves a multitude of purposes — the most significant of these is that it slows the diver as he approaches the 15-foot level, thus forcing him to "put on the brakes" well before he reaches the surface.

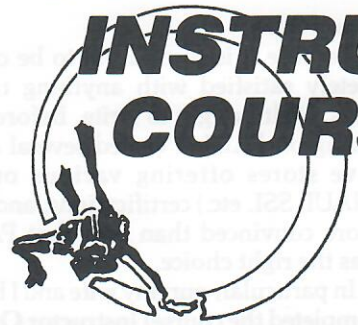
The benefits of safety stops are well-documented. In 1976, Dr. Andrew Pilmanis conducted a study in which three separate groups of divers performed a dive to 100 feet for 25 minutes. One group went directly to the surface, another made a 20-foot safety stop and the third made a 10-foot safety stop. The divers were Doppler monitored after each dive. Pilmanis found that the bubble grades were reduced significantly in the divers who performed safety stops. The benefits of a slower ascent and safety stop in reducing the likelihood of decompression sickness are supported by research and human testing.

**Should I Ascend *at* 60 Feet Per Minute or Should I Ascend Even Slower?**

The 60 foot/minute rate of ascent is considered a *maximum* limit, much like an NDL, and should be avoided. However, extremely slow ascents, such as 10-15 feet/minute are almost impossible to achieve. For example, if you want to ascend at a rate of 20 feet/minute to the surface, you will probably need an ascent/descent line. You can prove this to yourself by standing in the middle of a room and pretending to climb hand over hand on a rope. Count to yourself a 20 feet/minute ascent rate — one foot every three seconds. Count one one thousand, two one thousand, three one thousand, and then "ascend" one foot. Begin again, one one thousand, and so on. Get the idea? You'll find that it's very difficult, very slow and really requires a line. At this rate it would take three minutes to get to the surface from 60 feet, which is fine but difficult to execute.

If a diver ascends no faster than 60 feet/minute and performs a safety stop, he is consistent with the S.A.F.E. concept. When you encourage divers to heed this principle, you are helping to reduce the likelihood of decompression accidents. □


# PHOTO INSTRUCTOR COURSE



**The venue for the PADI Photo Instructor Course is the new PADI College Facility at Sidney, B.C. and the rich, diversified waters of the Gulf Islands — some of the best diving in the world.**

For eight full days, students will learn first hand the key elements of Underwater Photography and how to apply them in a classroom setting as well as in the field. Example topics covered are: Composition and picture technique, film selection, equipment maintenance, trouble shooting in the field and marketing your pictures.

Students will select photo topics to present during the course of the week and photos shot during the 10 ocean dives will be reviewed each evening. Participants will have the opportunity to select their best slides for a mini photo competition.

Students are expected to have their own underwater photography equipment although a selection of photo gear will be provided by Nikon Canada. Video taping of the ocean sessions will be conducted and reviewed each evening to assist in developing good photo techniques.

Doug Cameron, one of Canada's leading underwater photographers, will be Course Instructor. His vast experience in the field of photography and instructor techniques will result in an enjoyable, knowledge packed course.

**Course Dates: September 9-16**

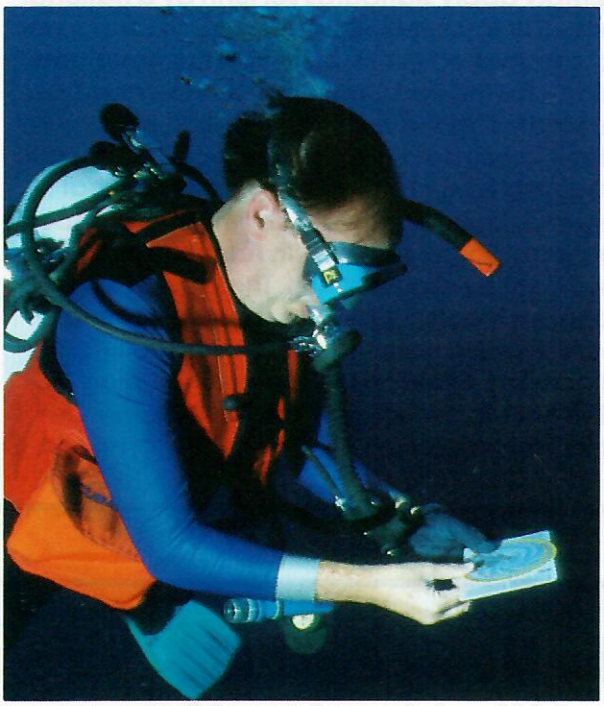
**To register call PADI Canada**

**#3 - 10114 McDonald Park Road, RR #3, Sidney B.C. V8L 3X9**

**(604) 656-7234**

# Why Should We Stop Before Surfacing?

by Dr. Raymond E. Rogers



*Dr. Ray Rogers uses The Wheel, which he conceived and helped develop with PADI and Diving Science and Technology. Dr. Rogers firmly believes the safety stop is an inexpensive way to add a measure of safety to your diving, no matter what tables or computer you use.*

One of the most pleasing developments in recreational diving has been the rapid acceptance of the idea of stopping at 15 feet (5 meters) for several minutes. Six years ago, stopping would be the mark of a "wimp diver" and four years ago, it would have been a novelty. Two years ago, the practice was increasing, and today, stops are routine. Those who surface directly are the oddballs.

Divers have changed: they want to learn about the physiology of decompression, not because "the book" said to know a few rules but because they realize that their well-being is involved. Most know of the possibilities and miseries of decompression sickness and that even short, shallow dives are, technically, decompression dives. This awareness led to a rational desire to avoid unnecessary problems, and divers readily adopted the simple little "insurance policy" that needs no new gear or new training, only the self-discipline to do that which is agreeable to both education and common sense.

Divers soon learn that, up to a point, nitrogen may dissolve in the tissues and be safely eliminated. They learn that if the ratio of tissue pressure to ambient pressure is too great, bubbles can form in the body, and DCS might occur. They also learn that ambient pressure ratios change rapidly as one nears the surface, and that nitrogen levels may be effectively reduced at several feet of depth, where the ratio of tissue pressure to ambient pressure is more favorable than at the surface.

Based on the questions I've been asked at seminars and meetings, it is apparent that divers also want to know the mathematical basis of the safety stop recommendations. The theoretical model which underlies the Recreational Dive Planner was employed to analyze some of the more pertinent of these questions.

### Reducing Tissue Pressures

In **Table 1**, if the tissue compartments in Column 1 are at 100 percent of the maximum theoretical pressure permitted by the RDP model for direct ascent to the surface, the other columns show how pressures decrease at a stop. The numbers below stop times are remaining percentages of the original tissue pressures, if the stop is made at 15 feet.

1) The rate of change decreases as time increases: most of the benefit occurs early. Long stops are better than short ones, but this shows the value of even a short stop.

2) The primary benefit is in "fast" compartments (those with short halftimes), tissues normally considered to be responsible for neurological injuries.

3) The "slow" compartments show little change, but there might be advantages. Decompression is imperfectly understood. Bubble formation seems to be a somewhat erratic and unpredictable phenomenon, and a small pressure decrease might be helpful.

How important is the depth of stop? Not very, as **Table 2** shows (using three "fast" tissues). The numbers below stop depths are pressures remaining if a three-minute stop is made, as compared to the same dive made without a stop. The effect is about the same.

The important principle is that the act of making a stop far outweighs the details of time and depth! The traditional 10 foot depth that the Navy used for stops was changed to 15 feet because buoyancy is easier to maintain, especially if waves are present.

### Too Deep, Too Long

Limits are functions of time and depth relationships and too deep or too long are really the same issue. Committing either sin is inexcusable, but Things Do Happen to the Best of People! A buddy might need help, an unexpected situation might cause a distraction, or equipment can fail (my depth gauge once read 84 feet when true depth was 100). In any case, a stop will cover a wealth of mistakes.

In **Table 3**, if the limits for the listed depths are exceeded by corresponding times (or percentages), and a 15/3 (5/3) stop is made, it is the equivalent of diving to the limit and ascending directly.

It is very important not to misinter-

IMMEDIATE HEADQUARTERS POSITIONS AVAILABLE

Training and Education Department

- Educational Consultant
- Instructor Development Coordinator
- Instructor Examiner

PADI Master Instructors are invited to apply.
Marjorie Kelso, Director PADI Human Resources Dept.
1251 East Dyer Rd., Ste. 100, Santa Ana, CA 92705