

PROFILDATENBANKEN

Was sind Profil-Datenbanken?

Profil-Datenbanken sind groß angelegte Sammlungen von Tauchprofilen mitsamt aufgetretenen Krankheitsbildern und deren Resultaten. Um Tabellen, Messgeräte und Software im Rahmen eines Rechenmodells zu überprüfen, müssen Tauchprofile und deren Resultate mit statistischer (angemessener) Genauigkeit mit den Parametern des Rechenmodells verglichen werden. Daten über Profile und Resultate werden heute als Datenbank (DB) geführt, und es gibt einige Datenbanken, die man schon einmal vorstellen sollte. Weitere Datenbanken werden sich sicher in ähnlicher Weise entwickeln. Die Bedeutung dieser Datenbanken für die Bereiche des Technical Diving und des Sporttauchens wird ständig größer, nicht nur wegen der darin enthaltenen Daten, sondern auch hinsichtlich ihrer Rückwirkung auf die Tauchrisikoanalyse und der Modifikation von Rechenmodellen.

Eine weithin bekannte Datenbank ist die Sammlung des 'DAN Project Dive Exploration' (PDE). Die PDE Datensammlung konzentriert sich auf Tauchgänge mit Luft und Nitrox bis zum heutigen Tage, wird aber aktuell auch auf technische Tauchgänge, Tauchgänge mit Mischgas und Dekompressionstauchgänge ausgeweitet. Auf den Rechnern des PDE sind annähernd 87.000 Tauchprofile im Bereich des Sporttauchens mit Luft und Nitrox mit etwa 97 Fällen von DCS gespeichert. Das PDE wurde 1995 unter der Leitung von Dick Vann und Petar Denoble ins Leben gerufen. DAN Europe klinkte sich unter Führung von Alessandro Marroni in den ersten Jahren des neuen Jahrtausends bei DAN USA ein und weitete den Aktionsradius des PDE damit erheblich aus. Das Projekt in Europa nennt sich 'Diving Safety Laboratory' (DSL). Im DSL sind annähernd 50.000 Profile mit 8 Fällen von DCS gespeichert. Der Einfachheit halber fassen wir im Folgenden PDE und DSL als eine Datenbank zusammen, denn die Daten können auf einfache Weise zwischen deren Rechnern ausgetauscht werden. PDE und DSL umfassen zusammen etwa 137.000 Tauchprofile mit 105 Fällen von DCS, die Häufigkeitsrate beträgt also rund 0,0008. Das ist eine gewaltige und bedeutende Datensammlung.

Eine aktuellere DB, die sich auf technische Tauchgänge, Mischgas- und Dekompressionstauchgänge konzentriert, ist die Datenbank des 'Los Alamos National Laboratory' (LANL DB). Darin sind 2.900 Tauchprofile mit 20 Fällen von DCS gespeichert. Die LANL DB wurde in den ersten Jahren des Jahrtausends online gestellt, im Wesentlichen von den beiden Autoren dieser Artikels. Ein großer Teil der LANL DB beruht auf Daten, die den Unternehmungen des C&C Dive Teams innerhalb der letzten etwa 20 Jahre entnommen wurden. In der LANL DB beträgt die Häufigkeitsrate 0,0069, ist also rund 10 mal höher als innerhalb des PDE. Man könnte dies auch erwarten, denn in der LANL DB befinden sich Profile mit Mischgas und Dekompressionsprofile, also von Tauchaktivitäten mit vorausschaubar höherem Risiko und einer höheren Anzahl von unbekanntem Parametern.

In beiden Fällen geht die Datensammlung immer noch weiter, und die Profildaten können auf eine möglichst einfache Form reduziert werden; die meisten davon stammen vom Auslesen von Tauchcomputern, die Daten entlang variabler Zeitintervalle protokollieren (3-5 Sekunden), welche für die nachfolgende statistische Analyse anschließend in ein besser zu handhabendes Format umgewandelt werden:

1. Grundgasgemisch ('bottom mix') / ppO₂ , Tiefe, Zeit;
2. Aufstiegs- und Abstiegs geschwindigkeiten;
3. Brücken- und Dekompressionsgasgemisch / ppO₂, Tiefen, Zeiten;
4. Oberflächenpausen;
5. Wartezeit vor dem Fliegen;

6. Alter, Gewicht, Geschlecht des Tauchers und gesundheitliche Vorschäden;
7. Endgültiges Resultat in Stufen von 1 bis 5 (1 ist schlecht, 5 ist gut);
8. Umweltfaktoren (Temperatur, Strömung, Sicht, Ausrüstung).

In anderen DBs wird die Datenerhebung leicht variieren, aber die oben angegebenen Parameter gelten für die meisten Datenbanken.

Warum sind Profil-Datenbanken wichtig?

Das größte Augenmerk gilt beim Tauchen begründetermaßen dem stufenweisen Aufstieg. Tiefen, Tauchzeiten, Gasmische und Gaswechsel, Aufstiegs- und Abstiegseschwindigkeiten, offene Atemsysteme (open circuit, OC) und Kreislaufauchaeräte (Rebreather, RB) flache oder tiefe Dekompressionsstopps sind nur ein paar der vielen Wahlmöglichkeiten, denen ein Taucher sich gegenüber sieht. Innerhalb dieser Parameter gibt es unendlich viele Möglichkeiten, einen Taucher sicher an die Oberfläche zurückzubringen.

Nun wird die Frage der tauchgangsbezogenen Daten relevant. Viele sind der Meinung, dass die Prüfung, ob Rechenmodelle und Tauchgangsdaten korrelieren, Daten aus einem großen Spektrum an verschiedenen Tauchaktivitäten erfordert, je mehr, desto besser, und nicht nur vorbereitete, vereinzelt durchgeführte klinische Tests. Tests mit Menschen und Einzelprofilen sind sicherlich wichtig, aber wegen der Vielzahl an möglichen Ereignissen durch unterschiedliche Tiefen, Gasmische, Aufstiegseschwindigkeiten, Dekompressionsstufen und den Kombinationen aus allen ist es normalerweise schwierig, daraus Rückschlüsse auf die Auswirkungen auf alle anderen Fälle zu extrapolieren. Mit anderen Worten, isolierte Versuche sind nur schwer auf einen Nenner zu bringen, und deshalb ist ein möglichst breites Spektrum von Tauchprofilen eindeutig vorzuziehen. Außerdem stehen weder genug Geld noch genügend Zeit zur Verfügung, um alle gängigen Mischgas- und Dekompressionsprofile, die in den verschiedenen Sparten des Tauchens von Interesse sein mögen, zu untersuchen. Und aus dem gleichen Grund werden in die Datenbanken ausschließlich tatsächlich durchgeführte Tauchgänge aufgenommen, und keine klinischen Tests.

Ein weiteres Augenmerk gilt den Daten zu tiefen Dekompressionsstopps ('Deep Stops'), sowohl beim Tauchen mit offenem Atemsystem als auch mit Kreislaufauchaeräten. Der Haldane'sche Grundsatz von flachen Dekompressionsstopps hielt annähernd ein Jahrhundert, und die meisten der über die Jahre erfassten Daten beruhen auf flachen Dekompressionsstopps, sowohl bei Versuchen als auch hinsichtlich der Tauchgangsplanung. Man kann belegen, dass sowohl die Planung mit tiefen als auch mit flachen Stopps sich im gleichen Risikobereich befinden kann; dennoch ist die Tauchgangsplanung mit tiefen Stopps teilweise effektiver (kürzer) als mit flachen Dekompressionsstufen. Um die Lücke bei den Daten mit tiefen Stopps zu füllen, müssen Datenbanken zielgerichtet mit Resultaten von Tauchgängen nach (Gasblasen-)Rechenmodellen mit tiefen Dekompressionsstopps gefüttert werden; nur mit Daten sowohl tiefer als auch flacher Stopps kann die Korrelation zwischen Gasblasenmodellen herausgearbeitet werden.

Bedenken Sie, dass Gasblasenmodelle generell tiefere Dekompressionstopps erfordern als Rechenmodelle, die auf der Lösung von Gasen in Flüssigkeiten beruhen (Haldane'sche Modelle, Perfusionsmodelle), und dass sie sich auf Gaslösungsmodelle reduzieren, solange es keinen Bildungsanreiz für und kein Wachstum von Gasblasen gibt. Da man zeigen konnte, dass die Dekompression auf flacheren Tiefenstufen für die Gasblasenmodellen wie eine Notfalloption funktioniert, besteht die wahre Aufgabe darin, Zusammenhänge zwischen den Daten tiefer Dekompressionsstopps herauszuarbeiten. Damit wir aber fair gegenüber Haldane bleiben, sollten wir anmerken, dass er tiefe Dekompressionsstopps bereits vor 100 Jahren untersuchte, dass diese aus verschiedensten Gründen aber niemals in seine damals ersten Tabellen, aber auch nicht in die späteren Tabellen anderer, die ebenfalls auf der Löslichkeit von Gasen beruhten,

aufgenommen wurden.

Was ist in Profil-Datenbanken enthalten?

In beiden Datenbanken sind wichtige Tauchgangsinformationen gespeichert, wie oben beschrieben. Spezielle Profil-Einstiegspunkte decken Sporttauchgänge bis hin zu technischen Tauchgängen ab, offene Atemsysteme ('open circuit' - OC) bis Rebreather (RB), Luft bis Mischgas, und flache bis tiefe Tauchgänge. Das ist ein sehr breiter Bereich. PDE und DSL haben ihren Schwerpunkt im Nullzeittauchen, während LANL DB sich in erster Linie dem Mischgastauchen, Tauchen mit OC und RB, tiefen Dekompressionstauchen widmet. Natürlich gibt es Überlappungen.

Project Dive Exploration und Dive Safe Lab

PDE und DSL beinhalten zusammen etwa 137.000 Tauchprofile mit 105 Fällen von DCS. Daraus ergibt sich eine Häufigkeitsrate von etwa $p = 105/137.000 = 0,0008$, also deutlich unter 1%. Beide sammeln Daten über Tauchgänge, Tauchbedingungen und Resultate, um die DCS und deren Risikofaktoren einschätzen zu können. Eine interessante Studie ermittelte die Risiken dreier Gruppen von Tauchern, Warmwassertaucher, Kaltwassertaucher und U.S. Navy Druckkammertaucher (im 'wet pot', also geflutet). Die Resultate sind in Tabelle 1 aufgelistet. Hauptgrund für die Einbeziehung der U.S. Navy Druckkammertaucher ist, ein Modell über Daten für alle drei Fallgruppen zu kalibrieren. Die Taucher der U.S. Navy waren ebenfalls unter Wasser und unter körperlicher Belastung.

Tabelle 1: Auswahl von drei Taucherguppen

Taucherguppe	Tauchgänge	DCS-Fälle	Häufigkeit
Warmwasser	51497	8	0.0002
Kaltwasser	6527	18	0.0028
USN / Kammer	2252	70	0.0311

Die insgesamt höchste Fallhäufigkeit trat bei den USN-Druckkammertauchern auf, die niedrigste bei den Warmwassertauchern. Aber diese Auswahl von drei Taucherkategorien hält weitere Informationen bereit, wie eine ausgiebige statistische Analyse aufzeigt.

Während die Risiken der USN-Kammertaucher absolut und relativ höher ausfallen, zeigt eine weitere Unterscheidung der Kaltwassertaucher insgesamt gegenüber den Kaltwassertauchern von Scapa Flow, dass die Risiken in Scapa Flow grundsätzlich niedriger ausfallen als die anderer Kaltwassertauchgänge. Scapa Flow liegt auf den Orkney Inseln, die der nördlichen Küste Schottlands vorgelagert sind, und ist der historische Friedhof von Wracks, die teilweise noch aus der Zeit der Wikinger stammen. Während des ersten und zweiten Weltkriegs war Scapa Flow Hauptstützpunkt der Royal Navy. Es klingt plausibel, wenn man annimmt, dass die langen Dekompressionstauchgänge die Taucher der U.S. Navy mit deren Kältebelastung einem höheren Risiko aussetzten als die kurzen Nullzeittauchgänge im Warmwasser. Und speziell bei den niedrigeren Risiken der Taucher von Scapa Flow nimmt man an, dass man diese der verbreiteten Verwendung von Trockentauchanzügen dort zuschreiben kann, mit denen ein Wärmeverlust und damit auch die Kältebelastung reduziert wird.

Ein wichtiges Extraprojekt der DSL-Sammlung besteht in der Speicherung von Doppler-Messdaten, die bei Sporttauchern mit Pressluft erhoben wurden, nachdem diese nach Nullzeittauchgängen zwei- bis dreiminütige Tiefenstopps auf halber Maximaltiefe durchführten. Bennett and Marroni führten Doppler-

Messungen (Gasblasendetektor) bei Tauchern durch, die zuvor Tauchgänge mit unterschiedlichen Tiefen nahe den alten Nullzeitgrenzen der U.S. Navy Tabelle unter Durchführung eines Tiefenstopps auf halber Maximaltiefe unternommen hatten. Parallel durchgeführte Analysen anhand von Profilen aus der LANL DB weisen im Rahmen gleicher Zeitrahmen bei Gasblasenrechenmodellen eine Risikominimierung auf, aber nicht bei Übersättigungsmodellen. Dies kann man in Tabelle 2 sehen. Das Übersättigungsrisiko steigt mit der Dauer des Tiefenstopps monoton an. Obwohl es schon relativ klein ist, erreicht das Gasblasenrisiko bei Tauchgängen im Rahmen der Nullzeitgrenzen der alten U.S. Navy Tabelle sein Minimum bei etwa zwei- bis drei-minütigen Tiefenstopps auf halber Maximaltiefe. Das zeigt eine nützliche Symbiose zwischen den Datenbanken von DSL und LANL.

Tabelle 2: Doppler / Minimierung des Gasblasenrisikos

Tiefe/Zeit		Gasblasenrisiko				Übersättigungsrisiko		
(fsw/min)	(m/min)		1 min	2.5 min	4 min	1 min	2.5 min	4 min
		<i>kein Stopp</i>						
80/40	24,4/40	0.0210	0.0193	0.0190	0.0191	0.0212	0.0218	0.0226
90/30	27,4/30	0.0210	0.0187	0.0183	0.0184	0.0213	0.0220	0.0229
100/25	30,5/25	0.0210	0.0174	0.0171	0.0172	0.0215	0.0223	0.0234
110/20	33,5/20	0.0220	0.0165	0.0161	0.0162	0.0224	0.0232	0.0241
120/15	36,6/15	0.0200	0.0150	0.0146	0.0147	0.0210	0.0220	0.0238
130/10	39,6/10	0.0170	0.0129	0.0125	0.0126	0.0178	0.0191	0.0213

In allen Fällen fällt das Übersättigungsrisiko höher aus als das Gasblasenrisiko, allerdings sind alle Werte relativ niedrig. Das ist keine Überraschung, denn die Nullzeitgrenzen der U.S. Navy wurden viele Jahre lang ohne Tiefenstopps sicher und erfolgreich angewendet. Nachdem man das feststellt, muss man aber ebenso sagen, dass Dopplermessungen für alle Taucher ein zeitgemäßer Maßstab sind, und die meisten würden es wahrscheinlich vorziehen, auf eine Weise zu tauchen, die die Dopplerwerte minimiert.

LANL Datenbank

In der LANL DB befanden sich zuletzt 2.879 Tauchprofile. Es gibt 20 Fälle von DCS in der Datenbank. Daraus ergibt sich eine DCS-Häufigkeit von $p = 20/2879 = 0,0069$, also unter, aber nahe 1%. Die gespeicherten Profile reichen von 150 fsw (45,7 m) bis hinunter auf 840 fsw (256 m), die Mehrzahl davon oberhalb von 350 fsw (106,7 m). Alle Daten werden von den Autoren eingegeben, d. h., Taucher, Profile und Resultate werden gefiltert.

Eine zusammenfassende Aufschlüsselung der Daten von DCS-Fällen ergibt Folgendes:

1. OC / tief / Nitrox / Umkehrprofile - 5 Fälle (3 DCS I, 2 DCS II)
2. OC / tief / Nitrox - 3 Fälle (2 DCS I, 1 DCS II)
3. OC / tief / Trimix / Umkehrprofile - 2 Fälle (1 DCS II, 1 DCS III)
4. OC / tief / Trimix - 2 Fälle (1 DCS I, 1 DCS III)
5. OC / tief / Heliox - 2 Fälle (2 DCS II)
6. RB / tief / Nitrox - 2 Fälle (1 DCS I, 1 DCS II)
7. RB / tief / Trimix - 2 Fälle (1 DCS I, 1 DCS III)

8. RB / tief / Heliox – 2 Fälle (1 DCS I, 1 DCS II)

DCS I bedeutet DCS in den Gliedmaßen, DCS II betrifft das Zentrale Nervensystem (ZNS), und DCS III bedeutet DCS im Innenohr (tritt hauptsächlich bei Heliumgemischen auf). Sowohl DCS II als auch DCS III sind recht ernste Leiden, während DCS I weniger traumatisch verläuft. Zur groben Orientierung: tief / Nitrox bedeutet einen Bereich jenseits von 150 fsw (45,7 m), tief / Trimix einen Bereich jenseits 200 fsw (61 m), und tief / Heliox einen Bereich jenseits von 250 fsw (76,2 m). Die Abkürzung OC steht für ein offenes Atemsystem, RB (Rebreather) für ein Kreislauf-Tauchgerät. Umkehrprofile sind Mehrfachtauchgänge, bei denen der letzte Tauchgang tiefer als der vorherige ist. Nitrox bedeutet jegliche sauerstoffangereicherte Atemgasmischung (einschließlich Pressluft), Trimix eine Atemgasmischung aus Stickstoff, Helium und Sauerstoff, und Heliox ist eine Atemgasmischung aus Helium und Sauerstoff. Bei keinem der Fälle mit Trimix oder Heliox wurde Nitrox über ein offenes System verwendet, und bei den Fällen mit Rebreathern wurden keine erhöhten Sauerstoffpartialdrücke über 1,4 Bar verwendet.

Gaswechsel von Stickstoff auf Helium (schwer zu leicht) gab es bei vier Fällen, hierbei wurden die aktuellen Richtlinien für das Vorgehen zur Vermeidung einer isobaren Gegendiffusion missachtet. Bei einer isobaren Gegendiffusion strömen zwei Inertgase (normalerweise Stickstoff und Helium) in Geweben und Blut in die gegengesetzte Richtung. Die Summe der einzelnen Gasspannungen (Partialdrücke) kann zu einem Ansteigen der Übersättigung und möglicherweise zur Gasblasenbildung führen.

Es kam bei allen Fällen weder zu einer Ganzkörper-Sauerstofftoxizität, noch zu einer Sauerstofftoxizität des Zentralen Nervensystems (oxtox). Die 20 Fälle sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass der Taucher nach seinem Notfall noch die belastende Druckkammerbehandlung über sich ergehen lassen musste. Die Profile stammen zum Teil von gestandenen Tauchern. Aber auch aus dem weiteren Umfeld wurden uns Daten übermittelt, von Tauchern, die am Rechner erstellte Dekompressionstabellen am Handgelenk trugen. Die meisten Profile erreichten uns als direkte Tauchcomputer-Downloads, die wir anschließend in das erforderliche Format übersetzten. Ungefähr 88% der Einträge in der LANL DB stammen aus Tauchcomputer-Downloads. Die Daten sind relativ grobkörnig und erschweren eine kompakte Statistik. Die Häufigkeitsrate ist insgesamt niedrig, im Bereich von 1% und darunter. Eine feine Aufschlüsselung in Tiefenbereiche ist bislang nicht sinnvoll, daher teilen wir die Einträge in Atemgaskategorien ein (Nitrox, Heliox, Trimix), wie in der Tabelle zuvor. Tabelle 3 zeigt die Aufschlüsselung.

Tabelle 3: Profile / Gas - DCS /Übersicht

Gemisch	Profile insgesamt	DCS-Fälle	Häufigkeit
OC nitrox	344	8	0.0232
RB nitrox	550	2	0.0017
all nitrox	894	10	0.0112
OC trimix	656	4	0.0061
RB trimix	754	2	0.0027
all trimix	1410	6	0.0042
OC heliox	116	2	0.0172
RB heliox	459	2	0.0044
all heliox	575	4	0.0070
Summe	2879	20	0.0069

Die Häufigkeitsrate fällt bei Nitrox höher aus, ist bei dieser geringen Zahl von Datensätzen statistisch allerdings nicht aussagekräftig. Die letzte Zeile ist wie zuvor die Summe aller Gasgemische. Im obigen Datenbanksatz sind 35 Grenzfälle enthalten, bei denen DCS zwar nicht diagnostiziert wurde, es dem betreffenden Taucher nach dem Auftauchen allerdings schlecht ging. Viele würden diese Art von Fällen nicht als DCS-Fall zählen.

Es ist ebenso interessant, die Mischgasprofile in Stufen von 100 fsw (30,5 m) aufzubrechen, wenngleich wir keine tiefenbezogenen Statistiken über diese Profile führen. Man sieht deutlich, dass die statistische Grenze für den Datenbanksatz bei etwa 500 fsw (152,4 m) liegt. Daher limitieren wir die Verwendung des LANL-Algorithmus auf 540 fsw (164,6 m).

Tabelle 4: Profile / Gas - Tiefe / Übersicht

	100 to 199 fsw (30 bis 60 m)	200 to 299 fsw (61 bis 90 m)	300 to 399 fsw (90 bis 120 m)	400 to 499 fsw (121 bis 150 m)	500 to 599 fsw (151 bis 180 m)	600+ fsw (181+ m)	Summe
OC nitrox	268	76					344
RB nitrox	213	246	91				550
OC trimix	10	388	226	26	4	2	656
RB trimix	22	358	226	108			754
OC heliox		42	49	25			116
RB heliox	12	195	143	107	2		459
Summe	525	1305	775	266	6	2	2879

Die entsprechende Auflistung der aufgetretenen DCS-Fälle finden Sie in Tabelle 5.

Tabelle 5: Profile / Gas - Tiefe / DCS-Fälle

	100 to 199 fsw (30 a 60 to)	200 to 299 fsw (61 to 90 m)	300 to 399 fsw (90 to 120 m)	400 to 499 fsw (121 to 150 m)	500 to 599 fsw (151 to 180 m)	600+ fsw (181+ m)	totale
OC nitrox	5	3					8
RB nitrox							2
OC trimix							4
RB trimix							2
OC heliox							2
RB heliox							2
total	5	6	5	3		1	20

Die Profile stammen aus dem Bereich des Technical Diving, im Wesentlichen Tauchgänge mit Mischgas, größeren Tiefen, Dekompression, sowie extreme Tauchgänge. Profile aus dem Sporttauchbereich sind nicht dabei, es sei denn, sie weisen extreme Tauchexpositionen mit Luft oder Nitrox auf (viele Wiederholungstauchgänge, Tauchgänge tiefer als 150 fsw (45,7 m), Bergseetauchen usw.). Diese geringe Anzahl erschwert die statistische Analyse, und wir verwenden zur Bestimmung des Risikos eine pauschale Annäherungsformel, nachdem wir das Modell mit den Daten mithilfe der Methode der maximalen Wahrscheinlichkeit (Maximum-Likelihood-Methode, ein parametrisches Schätzverfahren) abgeglichen haben. Die Angleichung mit der Methode der maximalen Wahrscheinlichkeit führt direkt zur binomischen Struktur der DCS-Häufigkeit bei Tauchern und Piloten. Hier mögen einige wenige Anmerkungen genügen, um den komplexen mathematischen Prozess zu umreißen, der auf das Modell und die Daten angewendet wurde und den man als Methode der maximalen Wahrscheinlichkeit bezeichnet. Diese Herangehensweise wird bei tauchbezogenen Daten verbreitet angewendet.

Wie analysieren wir die in den Profil-Datenbanken enthaltenen Daten?

Um das Risiko zu analysieren, muss ein Risikoindikator verwendet und den Daten angepasst werden. Zwei Risikoindikatoren werden sehr oft verwendet, die Risikofunktionen der Übersättigung und des Gasblasenwachstums. Diese werden beispielsweise eingehend in Diving Physics With Bubble Mechanics And Decompression Theory In Depth besprochen. Für den wissenschaftlichen Laien könnte man sie wie folgt umreißen:

1. Übersättigungs(verhältnis)-Risikoindikator – verwendet zur Bemessung des Risikos die Differenz zwischen der summierten Inertgasspannung und dem Umgebungsdruck, geteilt durch den Umgebungsdruck.
2. Gasblasen(verhältnis)-Risikoindikator – verwendet zur Bemessung des Risikos die Gasblasen Wachstumsrate, geteilt durch das anfängliche Gasblasenvolumen, das durch die Kompression / Dekompression angeregt wurde.

Mathematische Ausdrücke und die darin enthaltenen freien Parameter werden anschließend im Prozess der Maximum-Likelihood-Methode mit den Daten abgeglichen, d. h., eine Wahrscheinlichkeitsfunktion aller Tauchprofile und Resultate aus der gesamten Datenbank wird so gut wie möglich in eine Fläche von Parametern und Resultaten eingepasst. Für den Abgleich der Parameter und Resultate werden Hochgeschwindigkeitsrechner und eine anspruchsvolle mathematische Software benötigt. Hier im LANL schafft das größte und schnellste Computersystem der Welt diesen Abgleichprozess im Parallelbearbeitungsmodus innerhalb kurzer Zeit.

In vielen Untersuchungen korreliert die Übersättigungs- Risikofunktion nicht gut mit den zu den Tiefenstopps gehörigen Daten, während die Übersättigungs-Risikofunktion sowohl den Daten der Tiefenstopps als auch denen der flachen Stopps entspricht. Die Gasblasen-Risikofunktion, die wir verwenden, wurde natürlich aus dem LANL-Gasblasenmodell (RGBM) abgeleitet, nachdem dieses auf sichere Weise in verschiedensten Tauchbereichen und Anwendungsgebieten verwendet wurde. Aber man kann an dieser Stelle ruhig anmerken, dass viele moderne Gasblasenmodelle allgemein zu einem recht ähnlichen Ergebnis kommen würden, im Gegensatz zu den auf der Löslichkeit von Gasen beruhenden Modellen.

Welche Erkenntnisse konnten wir mithilfe der Profil-Datenbanken gewinnen?

Dieser Artikel könnte noch Seite um Seite fortgesetzt werden, aber wir möchten Ihnen abschließend einfach einige Punkte als Gedankenanstoß mit auf den Weg geben, die wir als Ergebnisse der Auswertung von Profildatenbanken festhalten möchten:

Project Dive Exploration und Dive Safe Lab

Die breit angelegte Analyse von PDE- und DSL-Daten zeigt einige interessante Punkte auf:

1. Modelle kann man nicht immer auf Bereiche außerhalb ihrer Kalibrierungspunkte übertragen.
2. Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung können in Verbindung mit realen Modellen sinnvolle Hilfsmittel zur Einschätzung von Risiken für Taucher sein.
3. Tauchbedingungen (Belastungen durch Umweltbedingungen) können bedeutenden Einfluss auf die Risiken haben.
4. Mit dem 'Body Mass Index' (BMI) steigt oft auch das DCS-Risiko, insbesondere bei älteren und übergewichtigen Tauchern.
5. Persönliche Eigenschaften wie Alter, Geschlecht und Zertifizierungsniveau wirken sich auf die Wahrscheinlichkeit tauchbedingter Erkrankungs- und Todesfälle aus.
6. Hauptursachen von Erkrankungen und Todesfällen beim Tauchen sind Ertrinken, Beinahe-Ertrinken, Barotraumen beim Aufstieg und DCS.
7. Nur 2% der Sporttaucher verwenden zur Tauchgangsplanung Tabellen, der Rest verlässt sich beim Tauchen auf einen Tauchcomputer.
8. Im Sporttauchbereich boomt das Tauchen mit Nitrox.

LANL Datenbank

Die Analyse der Profile aus der LANL DB hinsichtlich der Dekompressionsstufenplanung nach Gaslösungsmodellen im Vergleich zu Gasblasenmodellen ergibt im Wesentlichen Folgendes:

1. Die Daten aus den Profilen mit tiefen Stopps unterscheiden sich wesentlich von den in der Vergangenheit zur Überprüfung von Tauchgängen erhobenen Daten; die vorherigen Daten basierten hauptsächlich auf der Bevorzugung flacherer Dekompressionsstufen in der Tauchgangsplanung.
2. Die Daten aus den Profilen mit tiefen und denen mit flachen Dekompressionsstopps ergeben die gleichen Risikoannahmen, sofern es sich um kurze, flache Nullzeittauchgänge handelt, da sich Gasblasenmodelle und Gaslösungsmodelle im Bereich sehr geringfügiger Phasentrennung angleichen.
3. Werden bei den Analysen ausschließlich Daten aus Profilen mit flachen Stopps verwendet, fallen die Risikoannahmen für gelöste Gase normalerweise höher aus, als wenn Daten aus Profilen mit tiefen Stopps herangezogen werden.
4. Als Atemgase für den Gaswechsel im Bereich von 20 fsw (6 m) werden standardmäßig reiner Sauerstoff oder EAN80 verwendet.
5. Beim Tauchen mit Mischgas sind tiefe Stopps zum Standard geworden, und es treten keine Häufungen von DCS-Fällen auf.
6. Technische Taucher vermeiden tiefe Gaswechsel von Heliumgemischen zu Stickstoffgemischen; stattdessen wird der sinkende Heliumanteil durch Sauerstoff ersetzt.
7. Tauchcomputer, die tiefe Stopps berechnen, werden in erster Linie als Reserve- oder Notfalllösung verwendet; zur Planung von Tauchgängen mit tiefen Stopps werden bevorzugt Tabellen und Tauchgangsplanungssoftware verwendet.
8. Für die Verwendung von Tabellen und Software in Verbindung mit Tiefenmessern / Bottomtimern zur Planung von tiefen Stopps traten bei Tauchgängen mit Mischgas, Dekompressionspflicht und tiefen Stopps keine DCS-Häufungen auf.
9. DCS-Häufigkeitsraten fallen beim technischen Tauchen höher aus als beim Sporttauchen, sind aber immer noch gering.
10. Die Verwendung von Rebreathern nimmt in mehreren Tauchbereichen zu.

11. Am Arm zu tragende Tauchcomputer verfügen über Rechengeschwindigkeiten, die eine volle Auflösung selbst der aufwendigsten Gasblasenmodelle ermöglichen.
12. Die Daten aus dem Technical Diving sind zum Abgleich von Modellen und Daten von großer Bedeutung.
13. Technische Taucher tauchen nicht mit Pressluft, insbesondere nicht tief mit Pressluft; für tiefe Tauchgänge bevorzugen sie Trimix und Heliox.
14. Die bislang herausgegebenen Tabellen mit tiefen Stopps, die entsprechende Software und Tiefenmesser werden von professionellen Tauchern ausgiebig und sicher verwendet.
15. Das Technical Diving wächst rasant, und so gibt es immer mehr Daten, die man aus Computern und Bottom Timern auslesen kann.

Danksagungen

Dick Vann, Petar Denoble, Peter Bennett, und Alessandro Marroni stellten stapelweise Informationen über PDE und DSL zur Verfügung, und wir danken ihnen herzlich für ihre Beiträge und ihre Hilfe. Wir danken ihnen zugleich, dass sie die erste Profildatenbank überhaupt online gebracht haben. Spezieller Dank gebührt den Teammitgliedern und dem Los Alamos National Laboratory. Die fantastische Computerausstattung im LANL half uns, schwierige Probleme schnell zu erledigen. Weiterer Dank geht an die Ausbildungsverbände (NAUI, ANDI, GUE, IDF, FDF), die Hersteller von Tiefenmessern / Bottomtimern (Suunto, Mares, Dacor, HydroSpace, Atomic Aquatics, UTC, Plexus, Zeagle, Steam Machines), und Softwarevertriebe (GAP, ABYSS, HydroSpace), die uns Anwenderstatistiken und Daten über die Implementierung von RGBM in Ausbildungsrichtlinien, Tabellen und Messgeräten zur Verfügung stellten.