

DECO '92 -

die neuen Dekompressionstabellen des VDST

von Max Hahn

Warum neue Tabellen? Waren die bisherigen Bühlmann-Hahn-Tabellen denn nicht gut? So werden viele Sporttaucher fragen. Zweifellos entsprachen die alten Tabellen bei ihrem Erscheinen 1984 dem damaligen Erkenntnisstand der Dekompressionsforschung. Sie basierten auf einem mathematischen Modell, welches 1965 von Workman /1/ eingeführt wurde. Dieses Modell nimmt an, daß das Auftreten von Symptomen der Dekompressionskrankheit zu erwarten ist, wenn bestimmte Übersättigungstoleranzen überschritten werden. Diese Übersättigungstoleranzen sind bei Workman als gerade noch 'zulässige' Überdrücke gelösten Inertgases (beim Sporttaucher also Stickstoff) über dem Umgebungsdruck als lineare Funktionen des Umgebungsdrucks dargestellt (s. Gleichung 3 bei Hahn /2/). Durch mehrere Hundert Druckkammerversuche an Menschen konnte Bühlmann /3/ Koeffizienten solcher linearer Funktionen für 16 Kompartimente bestimmen. Der Aussagewert solcher Versuche läßt sich durch statistische Analyse genau eingrenzen: Treten z. B. bei 50 Versuchen keine Symptome auf, läßt sich der Schluß ziehen, daß bei 'unendlich' vielen, unter genau gleichen Bedingungen unternommenen Versuchen mit 95% Wahrscheinlichkeit zwischen Null und 7,11% der Probanden Symptome haben werden. Verlangt man 99% Aussagesicherheit, so muß zwischen Null und 10,05% der Fälle mit Symptomen gerechnet werden. Erst nach 500 Versuchen wären die Vertrauensgrenzen auf Null bis 0,74% Symptommfälle bei 95% und auf Null bis 1,05% bei 99% Aussagesicherheit eingengt. Bild 1 zeigt die Vertrauensgrenzen der im Druckkammerlabor Zürich für 15 Kompartimente bei Luftatmung festgestellten Übersättigungstoleranzen.

Arbeiten von Weathersby und Mitarbeitern /4,5/ am Marinemedizinischen Forschungsinstitut der USA (NMRI) erlauben auch, die Restrisiken für Symptome der Dekompressionskrankheit (decompression sickness, DCS) für beliebige Druck-Zeit-Profile ungefähr vorherzusagen. Diese Rechenmodelle basieren auf mehreren Tausend genau protokollierten Druckkammertauchgängen der Navy Experimental Diving Unit (NEDU) in Panama City und des Defence and Civil Institute of Environmental Medicine (DCIEM) in Toronto. In Bild 2 sind die Restrisiken für 3

verschiedene Tiefen als Funktion der Nullzeit aufgetragen. Auch wenn die hier gezeigten Zahlenwerte (entsprechend den zugrundeliegenden Druckkammertauchgängen) für kaltes Wasser und mittlere Arbeitsleistung gelten und - wegen der immer noch relativ kleinen Zahl der Versuche - eine beträchtliche Fehlermarge aufweisen, ist der Trend bedeutsam: Die Risiken nehmen beim Verlängern der Nullzeit erst langsam, dann rasch zu. Dies gilt auch für Dekompressionstauchgänge und hat in seinem Ausmaß selbst die Experten der US-Navy überrascht. Für einige extreme Profile der US-Navy-Dekotabellen von 1957 muß mit DCS-Risiken von über 15% gerechnet werden.

Trotz dieser relativ hohen DCS-Risiken, werden selbst die vorsichtigsten, nämlich für Tauchcomputer, von Bühlmann /6/ angegebenen Übersättigungstoleranzen durch solche Profile kaum zu 90% beansprucht (Bild 3, 4). Weiterhin ergaben Versuche ohne Arbeitsleistung in warmem Wasser, jedoch bei relativ großen Drücken und Druckwechseln während der Bodenzeit /7/ ebenfalls Symptom-Häufigkeiten, die weder nach den Übersättigungstoleranzen in /6/ zu erwarten, noch für Sporttaucher hinnehmbar waren (Bild 5). Es war also geboten, die früheren, auf damals von Professor Bühlmann freundlicherweise zur Verfügung gestellten Koeffizienten beruhenden Tabellen für alle längeren Dekompressionszeiten 'konservativer' zu gestalten.

Da andererseits für Sporttaucher kaum Profile mit über 4m^3 Luftbedarf interessieren, wurden gleichzeitig die Zeitstaffeln passend geändert (Bild 6). Die neuen, engeren Zeitstufen machen es den Tauchern auch leichter, auf unerlaubte Interpolationen zu verzichten.

Weiterhin ist seit langem bekannt, daß nach einem Tauchgang, dessen Profil im Körper Bläschen entstehen läßt, nicht mehr mit exponentieller Entsättigung der Kompartimente gerechnet werden kann. Erstens füllen die direkt nach einem Aufstieg entstandenen Mikrobläschen die gelöste Gasmenge im Gewebe in dem Maße nach, wie sie durch die Grenzflächenspannung wieder in Lösung gedrückt werden /8/. Da der durch die Grenzflächenspannung in solchen Bläschen erzeugte Überdruck umgekehrt proportional zu ihrem Durchmesser ist, wirkt dieser Effekt am stärksten auf die kaum noch mit Ultraschall-Doppler hörbaren, sondern nur durch präzise Blutdichtemessung /9/ nachweisbaren 'Ultra'-Mikrobläschen. Zweitens dürften größere Bläschen lang genug bestehen bleiben, um im Blut von Gerinnungsprodukten umkleidet zu werden. Dies führt, über eine teilweise 'Verstopfung' des Lungenfilters, ebenfalls zu verlangsamter

Entsättigung /6/. Das Ausmaß dieser Verzögerung steigt logischerweise mit dem Blasenanstieg nach dem Ersttauchgang an. Das führt auch bei modernen Dekompressionstabellen zu recht unterschiedlichen 'Philosophien': Die Tabelle 1 demonstriert, daß keineswegs allein die Nullzeiten für die Ersttauchgänge die Bewertung einer Dekompressionstabelle nach 'liberal' oder 'konservativ' erlauben. Vergleicht man z. B. die Tabelle des British Sub-Aqua Clubs (BSAC) mit der holländischen Berufstauchertabelle des Nationaal Duikcentrum (NDC), so fällt auf, daß die BSAC-Tabelle für den Ersttauchgang von 15 min auf 36 m nur eine Minute Dekompression verlangt, aber selbst nach 2 Stunden Oberflächenpause nur sehr knappe Nullzeiten anbietet. Die NDC-Tabelle hingegen verlangt zwar 11,6 min Gesamtaufstiegszeit nach dem Ersttauchgang, bietet aber für Zweittauchgänge nach 2 Stunden über doppelt soviel Nullzeit an, wie die BSAC-Tabelle. Immerhin sind etwa ein Viertel aller Tauchgänge der VDST-Taucher Wiederholungstauchgänge (Bild 7). Deshalb wurde zwar die Ersttauchgangstabelle verhältnismäßig 'konservativ' gestaltet, aber nur eine mäßige Verzögerung der Entsättigung im Wiederholungssystem mit eingerechnet. Man erkennt das daran, daß die Zuschlagzeiten erst langsam, später schneller abnehmen (Bild 8).

Auffällig ist im Wiederholungssystem die neu hinzugekommene Spalte für die Wartezeit bis zum Flug und die dort stehenden, in der Tat sehr langen Zeiten. Bleibt man nach dem Tauchen in der Höhenlage des Gewässers, besteht dann kein Anlaß mehr zur Blasenbildung im Körper, wenn der Stickstoffdruck in den 'Gewebe' den Luftdruck erreicht hat. Wird nun bei z.B. einem längeren Charterflug der Außendruck nochmal um 0,4 bar gesenkt, können Bläschen, die noch im Gewebe stecken, durchaus wieder wachsen und Beschwerden hervorrufen. In der Tat zeigen Statistiken, daß ein unverhältnismäßig hoher Anteil der gottlob seltenen Dekompressionskrankheiten während oder nach einem Flug auftraten. Eine von hochrangigen Experten gebildete Kommission der Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS), hat daher nach einem Symposium 1989 mit eingehender Diskussion dieses Themas eine Reihe von Empfehlungen bekanntgemacht (Bild 9). Diese sind allerdings sehr pauschal und lassen sich nicht wortgetreu in das Wiederholungssystem einer Dekompressionstabelle einarbeiten. Schon was ein dekomppressionsfreier Tauchgang ist, hängt ja sehr stark von der zugrundegelegten Tabelle ab, s. Tabelle 1. Auch dürfte es in der Praxis ein erheblicher Unterschied sein, ob man 24 oder 48 Stunden vor dem Fliegen mit dem Tauchen aufhören muß. Die in

der Tabelle DECO '92 angegebenen Wartezeiten berücksichtigen, daß hier, etwa im Vergleich zur US Navy-Tabelle, schon die Ersttauchgänge sehr sorgfältig dekomprimiert werden.

Die 'Gebrauchsanleitung' der DECO '92 wurde, gegenüber der Bühlmann-Hahn-Tabelle, nicht verändert - mit einer wichtigen Ausnahme:

Die Zuschlagzeiten werden bei Zwischenwerten der Tiefen des Wiederholungstauchgangs in der nächst flacheren Tiefenzeile, d. h. für die höheren Zuschlagzeiten, abgelesen. Dies erscheint zunächst unlogisch, da ja in der Haupttabelle Zwischentiepen zum nächst größeren Tabellenwert der Tiefe aufgerundet werden. In beiden Fällen handelt es sich aber um eine Rundung zur 'sicheren Seite', und diesem Prinzip habe ich, da in der Tauchdidaktik international üblich, Vorrang gegeben. Selbstverständlich kann eine Flug-Wartezeit nicht durch nachfolgende Tauchgänge mit niedrigerer Wiederholungsgruppe 'verkürzt' werden.

Gelegentlich wird gefragt, ob denn nun alle paar Jahre mit neuen Dekompressionstabellen zu rechnen sei. Die alten Tabellen waren 8 Jahre im Gebrauch. Nach weiteren 8 Jahren dürfte der Tauchcomputer eine Perfektion erreicht haben, die Tabellen im Sporttauchen etwa den Platz zuweist, den Logarithmentafeln im Computerzeitalter haben: allenfalls den eines didaktischen Hilfsmittels. Das darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß wir heute soweit noch nicht sind! Bis allein die Sicherheitsmarge, die darin liegt, daß der Sporttaucher normalerweise von den Rechteck-Profilen der Tabellen nur Dreiecke abtaucht, in Form entsprechend 'konservativer' Tauchcomputerprogramme akzeptiert wird, braucht es noch Zeit. Auch die Einarbeitung der vielen Nebenregeln, die zur Tabellenablesung üblich sind, in Computerprogramme, kostet noch einigen Aufwand. Durch die große Zahl von Tauchgängen, verfeinerte DCS-Diagnosen und raffiniertere statistische Analyse ist andererseits die Entwicklung passenderer mathematischer Modelle möglich. Für deren Implementation in Tauchcomputern besteht wegen der gleichzeitig wachsenden Kapazität der Hardware eine gute Chance.

Literatur:

- /1/ Workman, R.D.; Research Report 6-65, USN EDU, Washington, USA, 1965.
- /2/ Hahn, M. in Roggenbach (Hrsg.); Tauchmedizinische Fortbildung 1, 46-59, Verlag Stephanie Naglschmid, Stuttgart, 1991.

- /3/ Bühlmann, A.A.; Schweiz. Md. Wochenschr. 112, 48-59, 1982.
- /4/ Weathersby et al.; NMRI 85-16, Bethesda, ML, USA, 1985.
- /5/ Albin, G.W., Weathersby, PK; NMRI 91-84, 1991.
- /6/ Bühlmann, A.A.; Tauchmedizin, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- /7/ Hahn, M.; Der Tauchlehrer, ISSN 0178-1472, 25-27, 1986.
- /8/ Flook, V., Eftedal, O., Brubakk, A.O.; Proceedings of the XVIIIth EUBS Annual Meeting, 206-212, ISBN 3-908229-00-6, Basel, 1992.
- /9/ Wenzel, J.et. al.; Proceedings of the XVIIIth EUBS Annual Meeting, 63-67, ISBN 3-908229-00-6, Basel, 1992.

TAUCHGANG 36 m. 15 MIN GRUNDZEIT:												
TABELLE = (T)	DEKOZEIT IN	GESAMTAUF=		NACH 2 STUNDEN OBERFLÄCHENPAUSE NOCH NULLZEIT								
COMPUTER = (C)	9M 6M 3M	STIEGSZEIT		IN 12M	15M	18M	21M	24M	27M	30M		
(T) USNAVY 1958	0 0 0	2		163	71	36	30	22	14	11	MIN	
(T) BU/HA 1984	0 0 2	5,6		173	83	51	28	16	11	8	MIN	
(T) COMEX 1987	0 0 4	7		0	0	0	0	0	0	0	MIN	
(T) BSAC 1988	0 1 0	4		44	24	15	10	8	0	0	MIN	
(C) ALADINPRO	0 0 3	6,6		99	63	43	33	25	20	16	MIN	
(C) DC 11 *)	0 1 5	9,6		98	57	39	26	19	15	11	MIN	
(T) DCIEM 1990	0 0 10	12		115	50	31	21	16	12	10	MIN	
(T) NDC 1988	1 2 5	11,6		105	60	30	20	13	10	7	MIN	
(T) DECO'92 1992	0 0 4	7,6		114	59	33	22	15	10	7	MIN	

*) zur besseren Vergleichbarkeit auf Neereshöhe umgerechnet. (Das Gerät zeigt alle Werte für 1200 m ü. NN an.)

Tabelle 1

Vertrauensgrenzen für 0 DCS-Fälle

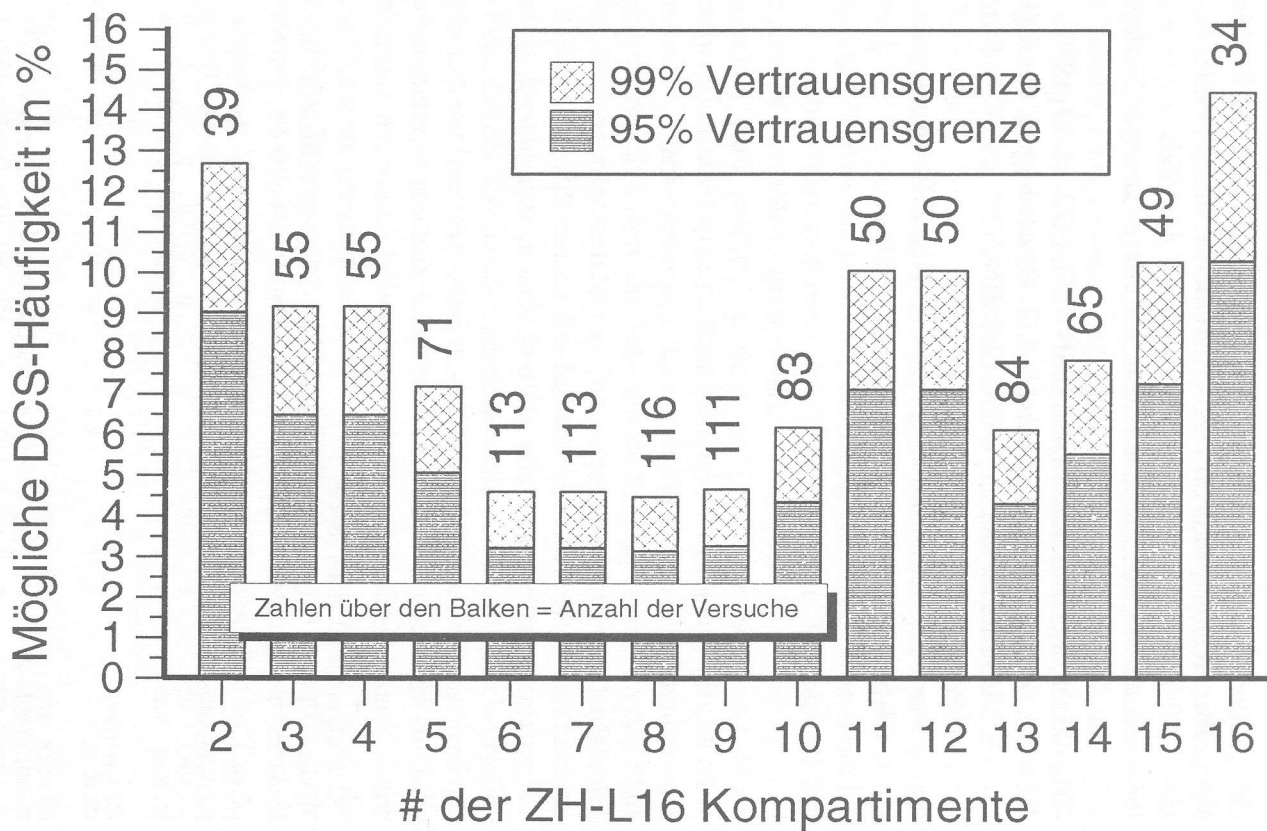


Bild 1: Die Höhe der Balken gibt an, welcher Bereich von prozentualen Symptommöglichkeiten für 'unendlich' viele Versuche bestehen bleibt, wenn bei der über den Balken stehenden Zahl von Versuchen keine Symptome beobachtet wurden.

DCS-Restrisiko von Nullzeittauchgängen

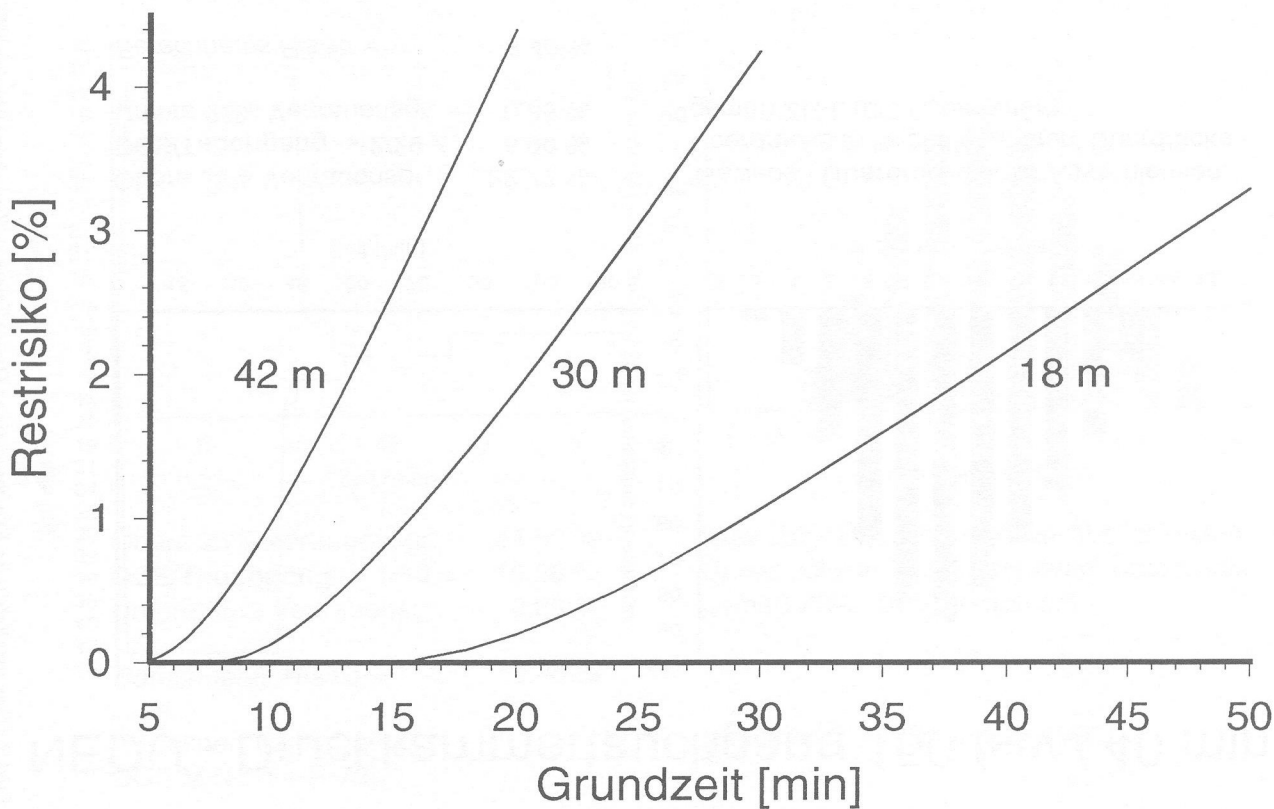
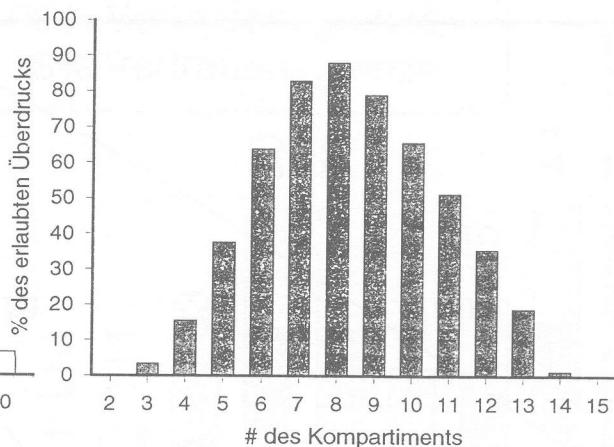
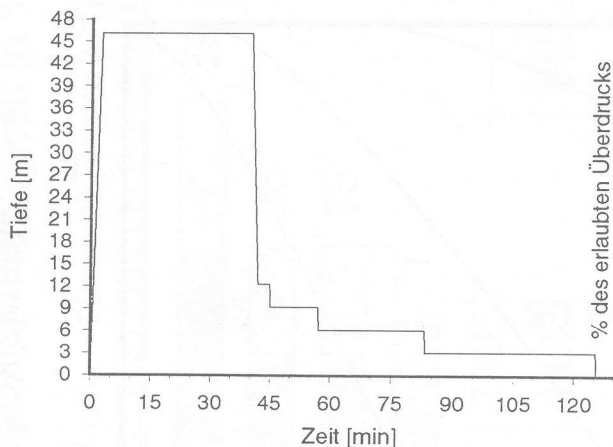


Bild 2: Die Risiken von Symptomen der Dekompressionskrankheit für Nullzeittauchgänge von 18m, 30m und 42m Tiefe in Abhängigkeit von der Bodenzzeit. Berechnet nach /5/.

Bild 3: Das tatsächliche Ergebnis eines Druckkammer-Tauchprofils der NEDU und die entsprechenden Übersättigungen der ZH-L16C-Kompartimente, in Prozent der für Tauchcomputer als zulässig erachteten Werte.

NEDU - Druckkammertauchgang 150 fsw / 40 min



Obere 95% Vertrauensgr. = 22.77 %
DCS/Tauchgang -> 2/29 = 6.90 %
 Untere 95% Vertrauensgr. = 0.85 %

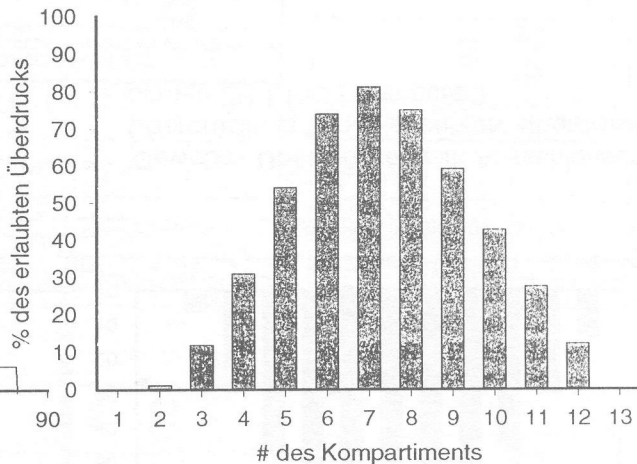
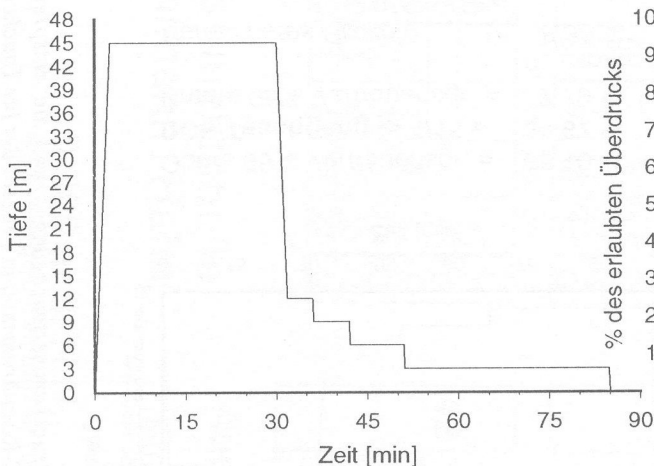
'Gewebe'- **Überdrücke** beim Ausschleusen.
 Überdrücke in % der 'erlaubten' Überdrücke
 gemäß ZH-L16C ('Computer')

Berechnetes Risiko = 8.40 %

[Thalmann; NEDU Report No. 8-85]

[Bühlmann; Tauchmedizin 1992]

DCIEM - Druckkammertauchgang 45 m / 30 min



Obere 95% Vertrauensgr. = 44.50 %
DCS/Tauchgang -> 1/10 = 10.00 %
 Untere 95% Vertrauensgr. = 0.25 %

'Gewebe'- **Überdrücke** beim Ausschleusen.
 Überdrücke in % der 'erlaubten' Überdrücke
 gemäß ZH-L16C ('Computer')

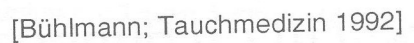
Berechnetes Risiko = 6.40 %

[Lauckner, Nishi, Eatock;
 DCIEM No. 84-R-72]

[Bühlmann; Tauchmedizin 1992]

Bild 4: Das Ergebnis von DCIEM-Druckkammerprofilen und die entsprechenden Übersättigungen der ZH-L16C-Kompartimente, in Prozent der für Tauchcomputer als zulässig erachteten Werte.

Bild 5: Ergebnis von BLFS-Druckkammertaugchängen und die entsprechenden Übersetzungen der ZH-L16C-Kompartimente, in Prozent der für Tauchcomputer als zulässige erachteten Werte. Die beobachteten Symptome waren leicht (verbreitete Hautrötungen) und verschwanden nach einigen Stunden ohne Behandlung. Dies erklärt auch den großen Abstand zum berechneten Risiko.



C	1			6	42	
D	4	1		9		7
E	6	3		15		
F	9	4	1	18		
F	11	5	2	20		
G	13	6	3	22		
G	15	7	4	24		

**Austauschtabelle
DECO '92**
Autor: Dr. Max Hahn

Aufstiegs geschwindigkeit 10m/min

Bild 6: Der Vergleich der bisherigen mit der neuen Dekritabelle des VDST zeigt die höhere Belastung stark sättigender Profile mit Dekozzeit sowie die Straffung der Zeistaffelung.

Bild 7: Die Datenerhebung bei VDST-Vereinen ergab 1989, daß an knapp der Hälfte aller Tauchtage zwei oder mehr Tauchgänge gemacht wurden. Um Einseitigkeiten zu vermeiden, wurden nur Meldungen berücksichtigt, die alle Mitglieder eines Clubs umfassen.



Bild 8: Im Wiederholungssystem der DECO '92 werden die Flug-Wartezeiten den Wiederholungsgruppen so zugeordnet, daß die UHMS-Empfehlungen angenähert erfüllt werden. Die Berücksichtigung der durch Blasenbefall nach dem Erstrauchgang verzögerten Ensättigung ist daran erkennbar, daß die Zuschlagzeiten für kürzere Oberflächenpausen nur wenig abnehmen.



FLIEGEN NACH SPORTTAUCHEN

Empfehlungen des UHMS-Workshops

VORAUSSETZUNG: Kein Tauchunfall!!!



Warteintervall 12 Stunden



bei weniger als 2 Stunden Tauchzeit
während der letzten 48 Stunden ohne
Dekompressionspflicht

Warteintervall 24 Stunden



wenn über mehrere Tage nicht
dekompressionspflichtige Mehrfach-
tauchgänge durchgeführt wurden

Warteintervall zumindest 24, besser 48 Stunden



grundsätzlich bei sämtlichen
dekompressionspflichtigen Tauchgängen

UHMS Publication 77 (FLYDIV) 12/1/89

Bild 9: Das aus CAISSON (Mitteilungsblatt der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin, GTÜM), Jg. 6, Nr. 2, S. 74 entnommene Bild zeigt den Originaltext der UHMS-Empfehlungen zur Wartezeit bis zum Flug nach Sporttauchen.