



U O S S T E U

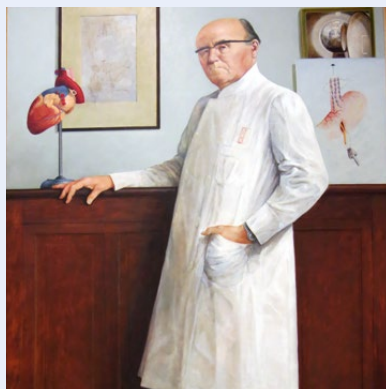
Yet another benchmark Teil II - HELIUM
Wärmeschutz - ARGON
Symposion Kindertauchen 7.3.2015 - VORTRÄGE
TAUCHUNFALL - Bergung und Beatmung

EUBS 2015 - 41st Annual Scientific Meeting - Amsterdam, 19.-22. August 2015

Impressionen von dem mit 349 Teilnehmern bislang größten EUBS-Kongress



Li.: Organisationsteam des EUBS-Kongresses 2015 vor der Druckkammer des Academic Medical Center (AMC) Amsterdam. Mit dieser von Prof. Ite Boerema (Wandbild im Hintergrund) im Jahr 1959 eröffneten Druckkammer „begann“ die HBO-Therapie. (Details zum Foto siehe S. 4 unten) – Re.: Die Druckkammer wurde in den letzten Jahren mit einer modernen Atemanlage, Patientenmonitoring und Intensivmedizin-Ausrüstung modernisiert. In der beeindruckend großen Druckkammer wurden ursprünglich Herz-OPs unter HBO-Bedingungen durchgeführt (...vor der Ära der Herz-Lungen-Maschinen).



V.l.n.r.: Jacek Kot, Gdynia, Polen, ist seit dem 21.8.2015 neuer EUBS-Präsident. Er löst Prof. Costantino Balestra nach 3-jähriger Amtszeit ab. - Ite Boerema: Das Konterfei des Begründers der modernen HBO-Therapie hängt im Druckkammer-Raum im AMC Amsterdam (der Nachname wird übrigens „Boerema“ ausgesprochen, mit Betonung auf dem „U“). - Richard „Dick“ Clarke, Columbia, South Carolina, USA, hielt als Invited Speaker zwei Keynote Lectures auf der EUBS 2015: zur Geschichte der HBO-Therapie und zu Problemen bei der Planung und Durchführung von RCTs (Randomized Controlled Trials) in der HBO-Therapie.



Li.: Wem die zahlreichen bekannten Argumente für einen Trip nach Amsterdam nicht ausreichten, hatte mit der gleichzeitig mit dem EUBS-Kongress in Amsterdam stattfindenden SAIL, einem beeindruckenden Zusammentreffen zahlreicher Großsegler im Hafen von Amsterdam, einen weiteren Anreiz für die Kongress-teilnahme. – Re.: Das Gala-Diner des EUBS-Kongresses 2015 fand auf dem Dach des technischen Museums NEMO statt, mit wunderbarem Blick über Amsterdam, einem beeindruckenden Feuerwerk, und vielen guten Gesprächen mit internationalen Kollegen und Freunden.

(Alle Fotos: Dr. Albert van den Brink, AMC Amsterdam, mit freundlicher Genehmigung)

Editorial

EUBS...

Sehr geehrte Leserinnen,
sehr geehrte Leser,

...in Amsterdam

die Teilnehmer des diesjährigen EUBS-Kongresses in Amsterdam durften einen wahren Dinosaurier der HBO-Therapie bestaunen. Die Druckkammer der Universitätsklinik in Amsterdam (Academisch Medisch Centrum) wurde bereits vor 57 Jahren in Dienst gestellt. Aber nicht nur das Alter, sondern vor allem die Größe beeindruckt. In dieser Druckkammer wurden - vor dem verbreiteten Einsatz von Herz-Lungen-Maschinen - Herz-OPs an unter HBO-Bedingungen aufoxygenierten Patienten durchgeführt. Die Kardiochirurgie ging dann bekanntlich andere Wege. Aber die HBO und die große Druckkammer sind geblieben. Der Stahlkörper ist noch der gleiche, allerdings erinnert im Inneren fast nichts mehr an die alten Zeiten - außer vielleicht die aufwändige Mechanik der etwas unpraktisch zu bedienenden, aber schönen und großen Medikamentenschleuse. Auch das Therapie-spektrum hat sich gewandelt. Dabei gibt es unter den HBO-Indikationen einen interessanten Schwerpunkt: in Amsterdam - und anderen HBO-Zentren der Niederlande - werden sehr viele radiogene Spätschäden der Weichteilgewebe therapiert! Hierzu gab es auf der EUBS-Tagung eine ganze Reihe interessanter Präsentationen.

...Kongress

Amsterdam war auf jeden Fall ein sehr geeigneter Ort für den diesjährigen Kongress der European Underwater and Baromedical Society, der mit 349 Teilnehmern der bisher teilnehmerstärkste Jahreskongress war - trotz des „Sommerferien-Termins“ Mitte August. Die Keynote-Lectures, die Vorträge in den Tauchmedizin- und HBO-Sessions, die Poster-Session: alles interessant und durchwegs auf hohem Niveau. Angenehm waren die ausreichend langen Pausen für die wichtigen Fachgespräche „dazwischen“ - mit guter Verpflegung. Gratulation an den Secretary general des Kongresses Albert van den Brink und sein Team für die perfekte Organisation! Eigentlich sehr schade, dass nur eine Handvoll deutscher Kollegen vor Ort waren - Amsterdam ist ja schließlich nicht



so weit weg. Aber vielleicht überlegen Sie sich ja z.B. für das nächste Jahr eine Teilnahme am EUBS-Kongress: in Genf, am 13.- 16. September 2016...

Im Vorstand der EUBS gab es wichtige Veränderungen für die nächsten 3 Jahre: Präsident ist jetzt Jacek Kot (s. Foto), GTÜM-Chefin Karin Hasmler wurde als Beisitzerin gewählt ("Member at Large").

...Journal

Sie merken schon: ich mache ein wenig Werbung für die EUBS. Das hat sich die EUBS aber auch verdient, sowohl für die schönen Jahreskongresse - immer in einer anderen europäischen Stadt - als auch für das feine Journal Diving and Hyperbaric Medicine (DHM). Wie caisson erscheint DHM 4 Mal jährlich und wird gemeinsam mit der South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) herausgegeben, inzwischen mit ganz beachtlichem Impact factor von 0,68 - jedenfalls für unser medizinisches „Randgebiet“. Den einen oder anderen DHM-Artikel konnten Sie im caisson bereits lesen. Vielleicht macht das ja irgendwann Appetit auf mehr. Als EUBS-Mitglied würden Sie DHM direkt erhalten. Näheres erfahren Sie unter www.eubs.org.



Costantino Balestra, Brüssel (re.) übergibt die EUBS-Präsidentschaft an Jacek Kot, Gdynia (li.) (Foto: Albert v. d. Brink).

Nun aber gute Unterhaltung mit Ihrem caisson. Für Anregungen und Beiträge erreichen Sie die Redaktion unter caisson@gmx.net.

Ihr

02
Titelthema
EUBS 2015



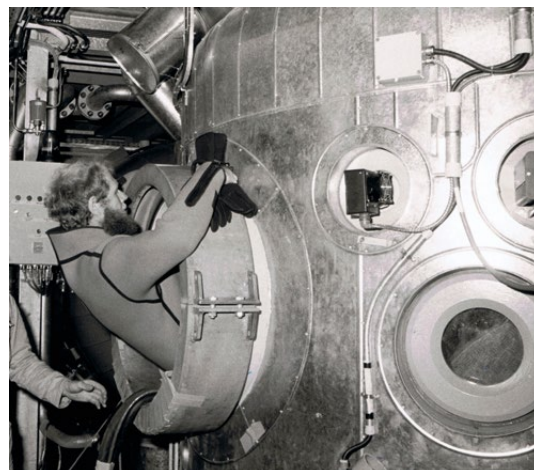
06
Yet Another
Benchmark Teil II



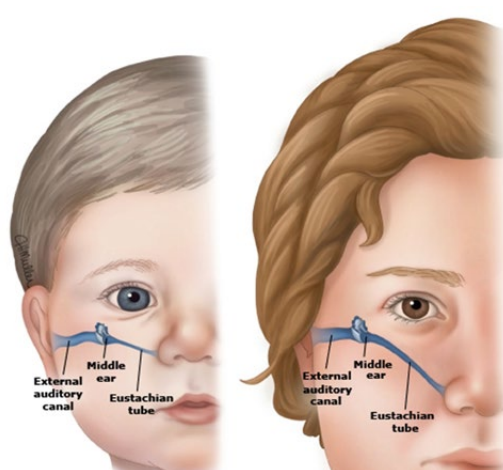
18 & 28
Rettung von
Tauchern



48
Ein neuer Weg
unter Wasser
GUSI



50
Heliox in der
Druckkammer-
Therapie



52
Vorträge GTÜM-
Symposium 7.3.15
z. Kindertauchen

Zum Titelbild:

Organisationsteam des EUBS-Kongresses 2015 im AMC Amsterdam (v.l.n.r.): Albert van den Brink (Head, Department Hyperbaric Medicine AMC), Danielle Verschut (Senior Nurse, Head of Department Hyperbaric Medicine AMC), Rob van Hulst (Professor, Department Hyperbaric Medicine AMC), Jacqueline van der Woude (Head, EPGS Congress Organizer Amsterdam), Angelique Ymker (Communication Manager, Hyperbaric Centre Rotterdam), Tjeerd van Rees Vellinga (Head, Hyperbaric Centre Goes, NL) vor der Druckkammer des Academic Medical Center (AMC) Amsterdam.
(Foto Albert van den Brink, AMC Amsterdam)

Inhalt

- 02 **EUBS 2015 -41st Annual Scientific Meeting- Amsterdam**
Impressionen von dem mit 349 Teilnehmern bislang größten EUBS-Kongress

- 03 **EDITORIAL**
EUBS... Wilhelm Welslau

- 05 **Impressum & Hinweise für Autoren**

TAUCHMEDIZIN

- 06 **Yet Another Benchmark**
Der etwas andere Vergleich - Teil II
Albrecht Salm

- 18 **Rettung von Ertrinkungsopfern und Tauchern:**
Ist eine maschinelle Beatmung unter Wasser möglich? Eine Pilotstudie.
Bernd Winkler

- 28 **Leitlinie zur Rettung nicht-reagierender Taucher aus der Tiefe**
Simon J. Mitchell

- 32 **Juristische Aspekte** zur ärztlichen Untersuchung der Tauchtauglichkeit
Benno Scharpenberg

- 37 **Argon als Füllgas in Trocken-tauchanzügen**
Diskussion der Kenntnis- und Studienlage
Dietmar Berndt

- 48 **Ein neuer Weg unter Wasser**
Karl-Peter Faesecke

HYPERBARMEDIZIN

- 50 **HELIOX in der Druckkammer-Therapie akuter Tauchunfälle**
Bericht über den EUBS 2015 Pre-Congress Workshop
Roswitha Prohaska

AKTUELLES

- 52 **Vorträge des GTÜM-SYMPOSITIONS**
Tauchen mit Kindern & Jugendlichen
Heike Gatermann Seite 52
Masen Dirk Jumah Seite 55
Karsten Theiß Seite 58
Anke Fabian Seite 60

- 64 **Urs Braumandl in Memoriam**
Karin Hasmler und Christian Heiden für die GTÜM e.V. und den VDD e.V.

- 65 **Kongress-Ankündigungen**

- 67 **Kursangebote**

- 69 **GTÜM-zertifizierte Veranstaltungen**

- 70 **GTÜM-Adressen**

Impressum & Hinweise für Autoren

caisson | Organ der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. | ISSN 0933-3991

redaktion: Dr. Wilhelm Welslau, Seeböckgasse 17/2, A-1160 Wien, Tel.: +43 (0)699 1844 2390, caisson@gmx.net

herausgeber: Dr. Karin Hasmler (Vorstand der GTÜM), BG-Unfallklinik Murnau, Prof. Küntscher-Straße 8, D-82418 Murnau
Tel.: +49 (0)8841 48 2709, k.hasmler@gtuem.org

Geschäftsstelle: GTÜM e.V., Dunja Hausmann, BG-Unfallklinik Murnau, Prof. Küntscher-Straße 8, D-82418 Murnau
Tel. +49 (0)8841 48 2167, Fax +49 (0)8841 48 2166, gtuem@gtuem.org

Satz, Layout: Dagmar Venus, Paderborn, **Lektorat:** taucherarzt.at, Wien, **Druck & Versand:** Druckerei Marquart GmbH, Aulendorf, Auflage 1.400.

caisson erscheint viermal jährlich, etwa zur Mitte der Monate März, Juni, Sept. und Dez., Redaktionsschluss: 15. Feb., 15. Mai, 15. Aug. und 15. Nov.

Der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Alle Zuschriften an die Redaktionsadresse. Kürzungen vorbehalten. Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen die Meinung des Autors dar und sind nicht als offizielle Stellungnahme der Gesellschaft aufzufassen.

- Einsendeschluss ist jeweils der 15. Tag im ersten Monat des Quartals.
- Es können nur solche Arbeiten und Zuschriften veröffentlicht werden, die per E-Mail oder CD bei der Redaktion eingehen.
- Datenformat: Microsoft Word, Silbentrennung: keine, Literaturverzeichnis: Nummerieren.
- Die Autoren werden gebeten, nach Möglichkeit Artikel aus früheren caisson-Heften zu zitieren.
- E-Mail: caisson@gmx.net

Yet Another Benchmark

Der etwas andere Vergleich - Teil II



AUTOR

Albrecht Salm
Physiker

PADI Master Scuba-Diver Trainer
SSI Extended Range Instructor
TL für Tauchsportcenter
Esslingen
(www.tauchturm.com)
Berater bei SubMarineConsulting (www.SMC-de.com).
Email: director@SMC-de.com

Motivation

In "Yet another Benchmark, Der etwas andere Vergleich - Teil I" ([caisson 30.Jg/2015/Nr.1,S.14-22](#)), haben wir (SubMarine Consulting, www.SMC-de.com) versucht, ein paar Tauchcomputer, Tauchtabellen und Desktop Deco-Softwareprodukte zu vergleichen. Als Beispiel griffen wir uns unseren berühmt-berüchtigten "Test-Tauchgang" (Tauchtiefe: 42 m, Grundzeit: 25 min, Pressluft als Atemgas) heraus. Ein, auch für einen geübten Taucher, durchaus anspruchsvoller Tauchgang, vor allem, wenn in kaltem Süßwasser absolviert. Darüberhinaus wollten wir die Grundlagen erarbeiten, die wir zum Verständnis des Teil II benötigen.

Teil II wird den gleichen Tauchgang (gleiches Profil) behandeln. Lediglich das benutzte Atemgas wird geändert um etwas mehr die technischen oder auch professionellen Bedürfnisse abzudecken: wir benutzen Heliox20 (20% Sauerstoff, Rest Helium).

Wir wollen in diesen Artikeln nicht nur die grundsätzlichen Schwächen der Dekompressions-Algorithmen herausarbeiten, sondern auch die Probleme und Schwächen bei der praktischen Umsetzung, der Implementierung. Es gibt eben durchaus Unterschiede zwischen a) einem Dekompressions-Algorithmus auf dem Papier (der „Spezifikation“ oder sozusagen der „Beschreibung“) und b) was dann ein Programmierer oder Computer-Ingenieur daraus macht.

Die Probleme oder Schwächen bei der Umsetzung werden sich als universell erweisen: d.h. sie treffen für alle Arten der Dekompressions-Modelle oder -Algorithmen zu. Die üblichen „Gold-Standards“ perfusions-dominierte Modelle wie



Abbildung 1
Das dicke Ende? Drei Tauchcomputer am Taucher

Tabelle 1

Time-to-surface(TTS)-Vergleich verschiedener Tauchcomputer und Dekompressions-Software für folgenden Tauchgang: max. Tiefe 42 m, Grundzeit 25 min, Atemgas Heliox20 (mit 20% O₂). Die Legende zu dieser Tabelle finden Sie in caisson 30.Jg/2015/Nr.1,S.19-20.

Type / Model / Version	time-to-surface (TTS) [min.]
NHeO3 (11/2011)	528 (Konservativismus-Faktor = 50)
VR3 3.03 aC	295 (Konservativismus-Faktor = 0)
Proplanner	206 (Konservativismus-Faktor = 0)
NHeO3 (11/2011)	196 (Konservativismus-Faktor = 0)
Suunto Dive Planner 1.0.0.3	177
Professional Analyst 4.01.j Cochran EMC-20H	159; Konservativismus-Faktor = 50.0 (184 mit Version t; 181 mit Version u; 190 mit Version V)
Zplan v1.03	113
Deco Planner 3.1.4	107 (VPM = 2)
Trust Trimix 2.2.17	102
M-Plan V 1.03	95; mit "Pyle" Stopps
HLPlanner V 1.x	90 (VPM = 0 %)
Professional Analyst 4.01.j Cochran EMC-20H	87; Konservativismus-Faktor = 0.0 (93 mit Version t; 91 mit Version u; 98 mit Version v)
GAP 3.0.425.6	83; RGBM Recreational
OSTC Planner v 434	82; TDT: 107
DIVE V 3_0	81; ZH-L 16 C (vollständige numerische Lösung)
GAP 3.0.425.6	80; ZH-L 16 C
Decotrainer V 3.01	77; ZH-L 16 C mit p _{H2O} (ohne: TST = 67)
M-Plan V 1.03	72
Ultimate Planner 1.2	70, TDT: 95
Deco Planner 2.0.40 & 3.1.4	70
OSTC Planner v 470 Beta	66; TDT: 91
VGM ProPlanner Beta	66 (default)
Multilevel 1.6	65
GAP 2.1	63; ZH-L 16 C
GAP 2.1	53; RGBM aggressive (GAP 3.0.425.6: 30)
GAP 3.0.425.6	50; RGBM nominal
OSTC 3, V 0.9 from 05/2013	41; 12/2', 9/5', 6/10', 3/19'

Bühlmann-Hahn (ZH-L) und *Workman* (USN) oder diffusions-dominierte Modelle wie DCIEM (s. weiter unten) trifft es genauso wie Blasenmodelle wie VPM und deren Abwandlungen wie RGBM [Anm.: Blasenmodelle werden auch als „2 Phasen-Modelle“ bezeichnet, da zwei Phasen berücksichtigt werden: die gelöste Gasphase und die freie Gasphase - also die echten Gasblasen].

Lediglich die ganz, ganz modernen „Hybrid-Modelle“ (s. weiter unten) und die statistisch basierten Tauchtabellen nehmen eine etwas andere Stellung ein: die statistisch basierten Tauchtabellen betrachten wir dann im Teil III (in einem der nächsten Caissons) etwas genauer.

Der Heliox-Testtauchgang

Wiederholen wir ganz kurz den Lufttauchgang aus Teil I, Tabelle 1. Das arithmetische Mittel aller TTS-Werte (time-to-surface) betrug ca. 40 min, die Standardabweichung ca. 18 min. Im einfachen Klartext: die meisten TTS-Werte befanden sich im Bereich zwischen 22 bis 58 min.

Hier nun, im Teil II, Tabelle 1, haben wir folgende Bedingungen:

- Tauchtiefe 42 m (Süßwasser, kompensiert für 25 °C)
- sofortiger Abstieg
- Aufstieg mit 9 m/min
- Grundzeit: 25 min
- 20% O₂, der Rest: Helium, trockenes, komprimiertes Atemgas
- Respiratorischer Quotient $R_q = 1,0$ (**)
- keine körperliche Belastung
- Umgebungsdruck auf Meereshöhe: 1013 mbar
- alle üblichen Gradienten-Faktoren = 1,00 (i.e. 100%)
- Konservatismusfaktoren, i.e. prozentual erhöhte Inertgassättigung, sind angegeben; aber: keine Jesus-Faktoren
- keine Temperaturadaptionen der Perfusion
- keine Travel- oder Dekompressions-Gase, d.h. der Tauchgang wird komplett mit dem „Back Gas“, dem Gasvorrat auf des Taucher's Rücken, absolviert
- bei den als „ZH-L“ dokumentierten Implementierungen wurde, wenn möglich, der ZH-L 16C Koeffizientensatz ohne das „1b“ Kompartiment benutzt ([1], S. 158).

Tabelle 2

Dekompressions-Tabellen aus dem militärischen Bereich für folgenden Tauchgang: max. Tiefe 42 m, Tauchzeit 30 min, Atemgas Heliox16/84 (mit 16% O₂)

Stopp-Tiefe / Methode:	18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	TTS	Bem.: (*) 100% O ₂
[min.]							[min.]	
USN alt		10 (*)	45 (*)	-	-	-	58	140 feet
USN 2008		Heliox50: 10	Heliox50: 10	18 (*)	30 (*)	-	72 (+ 10)	140 feet + 2 * „air breaks“ à 5 min
DCIEM	2	4	4	37 (*)	-	-	55	in-water decompression
DCIEM SurDO ₂	2	4	4	7 (*)	-	-	72 (40 min*)	40 min Druckkammer-Dekompression mit 5 min „air break“

Um eine Vergleichbarkeit der Tabelleneinträge zu erhalten, mußte an der Inertgasdosis gedreht werden, da die aufgenommene Inertgasmenge bei allen Simulationen identisch sein sollte.

Bei den weiter unten bemühten Standard-Tauchtabellen gibt es ein interessantes Phänomen: sogenannte „undocumented features“, undokumentierte Merkmale. So sind z.B. für die USN 1983 Tabelle einfache Schreibfehler nachgewiesen. Für die Version 2008 der USN Tabelle wurde dies von Ed Thalmann „executive editing“ getauft, sinngemäß „Zwangsänderung durch den Herausgeber“ ([2], S.1 & 5). Um nun die Ergebnisse der Tabelle 1 in Beziehung zu den ziemlich geprüften und belastbaren Prozeduren der amerikanischen und kanadischen Militärs zu bringen, blicken wir in die Tabelle 2.

Man beachte die Unterschiede in den Aufstiegs-Prozeduren (+ 5 min Grundzeit, Dekompression in der Druckkammer bzw. „SurDO₂“, die Dekompression an der Oberfläche mit Sauerstoff) und den 4% höheren Inertgas-Anteil, die verschiedenen Dekompressions-Gase und den hohen pO₂ für die Dekompressions-Stopps. Zum Nachmachen im Freiwasser ist das für den Hobbytaucher oder Tekkie [technical diver] nicht zu empfehlen!

Diese Prozeduren wurden i.d.R. anhand einiger tausend nasser und trockener Kammertauchgänge geprüft und glänzen mit einem relativ niedrigen DCS-Risiko. Bei den Kammertauchgängen war die Wassertemperatur und die Arbeitslast, z.B. auf einem Ergometer, ein kontrollierter und nachprüfbarer Parameter.

Das bei der United States Navy (USN)-Tabelle zugrundegelegte Dekompressionsmodell ist ein ziemlich weitverbreitetes Perfusionsmodell nach dem Strickmuster „J.S. Haldane“ [5]. Die Kompartimente werden als parallelgeschaltet betrachtet. Für die kanadische Tabelle (DCIEM) wurde das sogen. „Kidd-Stubbs“-Modell benutzt: ein Diffusionsmodell mit 4 Kompartimenten in Serienschaltung (s. Abbildung 2 mit den beiden Typen der Modelle). Trotz des prinzipiellen Unterschiedes dieser beiden Dekompressionsmodelle sind die TTS-Werte der Tabelle 2 sehr viel näher beieinander als diejenigen der Tabelle 1.

USN alt ist die Vorgängertabelle der aktuellen USN Tabelle, welche 2008 grundlegend überarbeitet wurde. Die TTS für fast alle tabellierten Tauchgänge

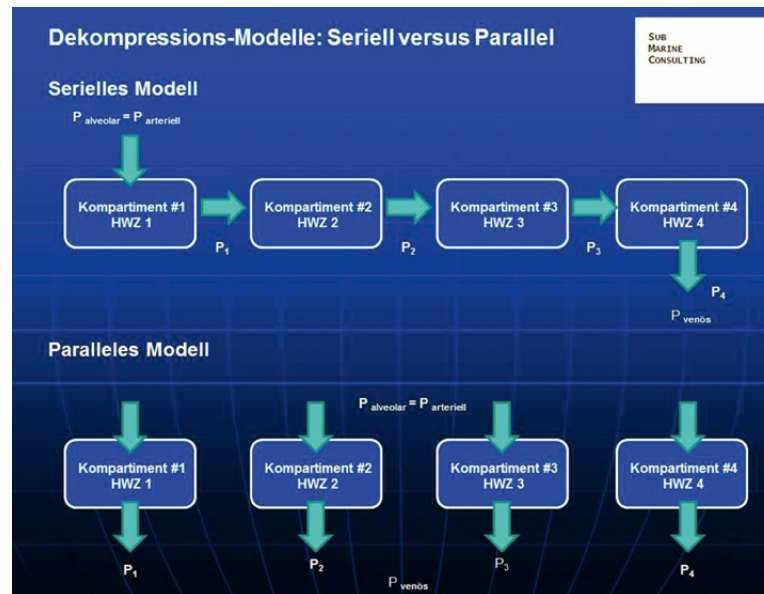


Abbildung 2
Dekompressions-Methode: Seriell versus Parallel

wurden verlängert und der letzte Dekompressions-Stopp vor Erreichen der Oberfläche wurde von 3 m/10 feet auf 6 m/20 feet verlegt. Der Eintrag bei **DCIEM** „SurDO₂“ (letzte Zeile in Tabelle 2) bedeutet Oberflächen-Dekompression in der Kammer bei 100% O₂ ab ca. 9 m äquivalenter Wassertiefe.

Unser/e Test-Taucher/in wird nun viel Spaß haben, wenn Er/Sie die rechte Spalte von Tabelle 1 statistisch analysiert und alle TTS-Werte berücksichtigt. Das arithmetische Mittel liegt bei ca. 120 min, die Standardabweichung bei ca. 98. Diese Standardabweichung ist damit wesentlich größer als die Standardabweichung der entsprechenden Tabelle 1 in Teil I (Luft-Tauchgang). **Und genau dies ist auch der Grund, warum wir uns dieses für Sporttaucher relativ exotische Atemgas ausgesucht haben!** Darüber hinaus würden sich die angeführten Dekompressions-Prozeduren als etwas mühselig erweisen, da keine sauerstoffangereicherten Gase benutzt werden. Die gegenseitigen Abweichungen und/oder Fehler der diversen Tabellen/Tauchcomputer/Deko-Software werden aber so noch wesentlich deutlicher zu Tage treten! In der Kurzfassung: **je mehr Helium, desto deutlicher!** (s. auch caisson 26.Jg/2011/Nr.3,S.4-12: Dekompressionsberechnungen für Trimix-Tauchgänge mit PC-Software: Reparieren Gradientenfaktoren defekte Algorithmen oder defekte Software-Implementierungen?).

Unsere Test-Taucher stellen nun fest, dass in Tabelle 1 die längste TTS von 528 min ca. 13 Mal so groß ist wie die kürzeste TTS von 41 min. Zum Vergleich: beim Luft-Tauchgang in Teil I war die längste TTS nur ca. 6 Mal so groß wie die kürzeste TTS! Um die gewaltige Spreizung der TTS in Tabelle 1 etwas einzudämmen, werden alle TTS < 60 min und > 180 min aus der Liste gestrichen! Warum? Nun, offenbar hatten unsere Test-Taucher während ihrer gründlichen Ausbildung zum Berufstaucher/in ein paar gute Instrukturen und bereits soviel Erfahrung gesammelt, daß sie eine TTS < 60 min als ziemlich gefährlich und diejenige TTS > 180 min als etwas experimentell betrachten. Oder, um es höflich auszudrücken, vom logistischen Aufwand als zumindest etwas unpraktisch, um nicht zu sagen, voll vorbei an der beruflich bewährten Praxis ...

Sicherlich wiesen die Probanden, welche die Testtauchgänge für die militärischen Tabellen absolviert hatten, andere körperliche Voraussetzungen vor als unsere Test-Taucher (Alter, BMI, VO_2 max, ...). Daneben zeigt unsere etwas unorthodoxe Gasmischung sehr deutlich, ob eine Dekompressions-Prozedur mit veränderten ZH-L-Koeffizienten gerechnet wurde. Dies wird bei Heliox20 viel deutlicher als bei Luft!

Bei den originalen ZH-L-Werten sind die erlaubten/tolerierten Kompartimentsübersättigungen direkt mit den Halbwertszeiten, den Kehrwerten der Gewebsdurchblutung verheiratet (wenn wir vereinfachend die Blut- und Gewebs-Löslichkeiten vernachlässigen). Abweichungen von den originalen ZH-L a- & b-Koeffizienten werden durch die langen Stopps im Flachwasser deutlich gemacht, vor allem bei den mittelschnellen und langsamen Kompartimenten. Man könnte dies ebenfalls als „undokumentiertes Leistungsmerkmal“ betrachten. Die Hersteller reden üblicherweise sehr blumig von „konservativen Anpassungen durch neuere physiologische Entwicklungen“. Aber sehr wahrscheinlich handelt es sich lediglich um Rechenfehler (d.h. Unachtsamkeiten bei der Behandlung von Gleitkomma-(floating point) Arithmetik, [3] und [4]) bzw. Schlampereien bei der Software-Entwicklung!

Nota Bene: niemand ist vor solchen Schlampereien geschützt! NIEMAND! Aber immerhin ist z.B. die USN so gewissenhaft und auch so ehrlich, dies zu dokumentieren und zugänglich zu machen (loc.cit. [2], S. 4, Kapitel 3.1).

Für den beruflichen/kommerziellen Einsatz, d.h. für Bau- & Reparaturtauchgänge ab ca. 30 m Tiefe oder auch Sättigungstauchgänge ist das gewählte Heliox20 ein mehr oder weniger übliches Standardgemisch. Es ist relativ unwahrscheinlich, dass sich jemand aus dem beruflichen Umfeld auf die in Tabelle 1 geschilderten Prozeduren, Deko-Software oder Tauchcomputer verläßt! Man kann auch mit dem gesunden Menschenverstand die Weisheit eines 3- bis 8-stündigen Dekompressions-Stopps für diesen relativ kurzen „Bounce-/ Jump-/ Sprint-Dive“ in Frage stellen (die ersten vier Einträge in Tabelle 1).

Und die P(DCS)?

(P(DCS) = statistische Wahrscheinlichkeit (P wie Probability), eine Dekompressionskrankheit zu erleiden)

Die einfache Frage, die sich aufdrängt: gibt es eine irgendwie „objektive“ Methode, die „guten“ von den „schlechten“ TTS zu trennen? Vielleicht so etwas wie Ockhams Rasiermesser [Die einfachste Erklärung für eine Sache ist die wahrscheinlichste]? Abgesehen von einigen marginalen Betrachtungen zur operativen Abwicklung, nämlich die Taucher für den 3 bis 8-stündigen Deko-Stopp mit Atemgas zu versorgen, die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten oder für Nahrung und Hydratation (Getränke) und Miktion zu sorgen.

Na ja: so etwas ähnliches gibt es, zumindest teilweise. Im Teil I dieser Serie (s. caisson 30.Jg/2015/ Nr.1,S.14-22) haben wir gezeigt, daß es neben Tiefe, Zeit und fO_2 eine ganze Anzahl anderer wichtiger Faktoren gibt, die das Ergebnis der Dekompression beeinflussen können. Diese Faktoren sind z.B. Alter und körperliche Fitness, oder (im Moment noch) undefinierte, wie Blutfett-Status, Hauttemperatur und körperliche Belastung. Wenn also der neue Tauchcomputers oder die Desktop Deko-Software diese Faktoren berücksichtigt: umso besser!

Und: wenn ihr das tut, was zur Zeit jede Menge Tekies auch tun, nämlich nach jedem anspruchsvollen (Trimix-)Tauchgang nach ultaschall-detektierbaren Inertgasbläschen suchen, dann sammelt ihr im Laufe der Zeit jede Menge wertvoller Daten, wie ihr eure Gradientenfaktoren für eine individuelle und erfolgreiche Dekompression einstellen könnt (Abbildung 3).



Abbildung 3
präcordiale Ultraschall Dopplermessung am 3. ICR links

Zu den Details der Berechnung der P(DCS) verweisen wir auf Teil III dieser Serie: er wird voraussichtlich gegen Ende des Jahres im caisson erscheinen. Die intuitiv erfaßbaren Grenzwerte der P(DCS) sind $P(DCS) = 1,0$ (oder 100%) oder $0,0$ (= 0%). 1,0 bedeutet, daß wir uns auf jeden Fall eine DCS einfangen, während 0,0 das genaue Gegenteil bedeuten würde, also ein ziemlich sicheres Tauchgangsprofil.

Das Bild, welches uns Ockhams Messer liefert, ähnelt dann aber eher dem eines Skalpells für Mikro-Chirurgie... Um überhaupt an eine statistisch belastbare Zahl für die P(DCS) zu kommen, benötigen wir **hunderte von penibel kontrollierten, identischen Tauchprofilen**, bei denen die medizinischen Ergeb-

nisse sorgfältigst dokumentiert wurden. Ist die Datenbasis nicht so gigantisch, haben wir ein Grundproblem jedweder tauchmedizinischen Veröffentlichung: nämlich das der „kleinen Zahl“. Die Veröffentlichung mag intellektuell brilliant und medizinisch interessant sein: eines ist sie dann mit Sicherheit nicht: streng wissenschaftlich, und auch nicht statistisch belastbar. Auch dieses Thema wurde im caisson schon behandelt (caisson 2009;24(2),9-15: Tauchmedizin: von einer Kunst zu einer Pseudo-Wissenschaft).

Am Ende eines anstrengenden Forschungstages haben wir dann eine riesige Daten-Basis, die wir zum Vergleich mit unserem geplanten Tauchgang heranziehen können. Entspricht unsere gewählte Dekompressions-Prozedur denjenigen mit geringer P(DCS): na, dann ist ja gut. Ist dies aber nicht der Fall, müssen wir unser geplantes Profil ändern. Entweder nicht so tief tauchen, nicht so lange oder länger dekomprimieren (oder, im Zweifel, alles genannte ...). Um die Qualität der TTS aus Tabelle 1 zu diskutieren gibt es eine Reihe von Methoden, die auf der **Dauer der TTS** als solches beruhen. Eine dieser Methoden ist von der USN entwickelt worden. Wenn wir die beiden Bildschirmkopien weiter unten kontrollieren, bekommen wir zumindest ein Gefühl, das es sich in diesem Fall bei Ockhams Messer um eine ganz, ganz dünne Rasierklinge handelt. Eine dieser Methoden wurde in 2004 veröffentlicht unter dem Namen: „NEDU Report 12/2004“ (als Methode IV in den Bildschirmkopien bezeichnet). Denn für unseren Heliox-Testtauchgang sind die Ergebnisse:

TTS = 40 min, → P(DCS): 0.11254 (1. Bildschirmkopie)
TTS = 400 min, → P(DCS): 0.10463 (2. Bildschirmkopie)

Bildschirmkopie 1

was jetzt?pdcs			
Eingabe der TTS (fuer Methode IV) in min:			
40			
Methode I:	Southerland 1992,	P(DCS) =	.19506
Methode II:	PME enhanced 6 Compartments	P(DCS) =	.14138
Methode III:	Stat. Tables Part VI, Model 4	P(DCS) =	.20849
Methode III:	obere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.36221
Methode III:	untere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.16917
Methode IV:	NEDU Report 12/2004,	P(DCS) =	.11254
Methode IV:	untere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.00643
Methode IV:	obere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.99988
Methode V:	NEDU Report 03/2009,	P(DCS) =	.18064
SDEV =	.03973	MEAN =	.16762

Bildschirmkopie 2

was jetzt?pdcs

Eingabe der TTS (fuer Methode IV) in min:
400

Methode I:	Southerland 1992,	P(DCS) =	.19506
Methode II:	PME enhanced 6 Compartments	P(DCS) =	.14138
Methode III:	Stat. Tables Part VI, Model 4	P(DCS) =	.20849
Methode III:	obere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.36221
Methode III:	untere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.16917
Methode IV:	NEDU Report 12/2004,	P(DCS) =	.10463
Methode IV:	untere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.00627
Methode IV:	obere Fehlergrenze,	P(DCS) =	.99982
Methode V:	NEDU Report 03/2009,	P(DCS) =	.18064
SDEV =	.06293	MEAN =	.20753



Die Bildschirmkopien der Berechnungen wurden mittels der Freeware DIVE, Version 2_99 erstellt, erhältlich als kostenloser Download unter dem QR-Code oder unter dem folgenden Link: <http://www.divetable.info/dive/kap3.htm>

Die anderen Methoden und die Ergebnisse sowie die zugehörigen Quellen werden wir im Teil III ausführlicher beleuchten.

Mit der TTS von 40 min erreichen wir eine P(DCS) von ca. 0,11, i.e.: 11%. Das heißt, bei ca. 11 Tauchgängen von 100 werden wir voraussichtlich DCS-Probleme bekommen. Dies ist ziemlich viel und sogar für militärische Bedürfnisse als zu riskant eingestuft: die Standard Navy-Prozeduren versuchen hier bei ca. 3 bis 5% zu landen, der PADI RDP (Recreational Dive Planner, die Tabelle für Sporttauchgänge mit Luft) möchte im Bereich von ca. 2 bis 3% bleiben. Die oben zitierte Berufserfahrung unserer Taucher, bei einer TTS von ca. 60 min zu verweilen, wird so bestätigt. Wenn wir nun also zusätzlich weitere 6 Std. (400 - 40 = 360 min = 6 h) im Wasser mit Dekompression verbringen, so wird uns dies einen statistischen Vorteil von gerade einmal einem halben Prozentpunkt einbringen.

Bei dieser ganzen P(DCS) Diskussion dürfen wir eines nicht vergessen: das Tauchgangsprofil unseres Testkandidaten muß den Datenbasen der gesammelten und ausgewerteten Profilen ziemlich ähnlich

sein, sonst klappt der Vergleich eben nicht! Extrapolationen jenseits der geprüften Datenbasis, also das, was der Tekkie mit seiner Deko-Software eben sehr gerne macht, stehen auf statistisch ganz, ganz dünnen und wackeligen Beinchen.

Und die Blasen-Modelle?

Die weiter oben im Text bemühten Perfusions-Modelle der Kollegen *Workman, Schreiner, Müller, Ruf, Hahn, Bühlmann* et al. beruhen ausschließlich auf im Blut gelösten Inertgasen. Im Gegensatz dazu betrachten die Blasen-Modelle auch die freie Gasphase. Haldane hat bereits vor über 105 Jahren darauf hingewiesen, daß sein Modell dann nicht mehr funktioniert: die Gasblasen behindern mechanisch die Perfusion und somit auch die Entsättigung ([5], S. 351 & 424).

Zwischenzeitlich wurde aber ebenso klar, daß es für die Auslösung einer DCS etwas mehr braucht, als nur eine Gasblase, die ein Blutgefäß blockiert. Die aktuelle DCS-Forschung beobachtet ein ganzes Arsenal von bio-physikalischen und bio-chemischen

Effekten, primärer und sekundärer Natur, schwer zu reproduzieren und noch schwerer zu verstehen! Sogar die kleinsten Mikro-Blasen, die nicht mal dazu taugen, auch nur die dünnste Kapillare zu blockieren, und bisher als "silent", als pathologisch nicht auffällig oder nicht messbar bezeichnet wurden, finden sich in diesem Arsenal. Bereits das bloße Vorhandensein einer Gasblasen-Oberfläche, das sogenannte "gas-blood interface" gehört nun zum Kreis der üblichen Verdächtigen.

Aus diesem Grunde denken die Verfechter der Blasen-Modelle, daß diese den Perfusions-Modellen überlegen sind. Dies verhält sich in etwa so wie Einsteins Relativitätstheorie zur Newton'schen Mechanik. Es ist sicherlich richtig, allerdings nur in einigen ausgewählten Aspekten. Für tag-tägliche Aktivitäten wie spazierengehen oder im Auto fahren ist die Überlegenheit der Relativitätstheorie für uns Otto-Normal-Gas-Atmer völlig bedeutungslos.

Deshalb werfen wir einen kurzen und oberflächlichen Blick auf das bekannteste der Blasen-Modelle, das VPM (*Varying Permeability Model*). Für unsere Betrachtungen hier im Teil II vernachlässigen wir das RGBM (*Reduced Gradient Bubble Model*): es gibt hierfür keine vollständige und nachprüfbare Dokumentation.

Das VPM berechnet die Inertgaspartialdrücke in den Kompartimenten mit den gleichen Methoden wie die Perfusionsmodelle und benutzt in etwa auch die gleichen Halbwertszeiten. Zur Bestimmung der "sicheren Tiefe des Aufstiegs", also des tiefsten Dekompressions-Stopps, werden allerdings noch ein paar weitere Parameter benötigt. Diese Parameter werden nun aber nicht aus Naturgesetzen oder aus ersten Prinzipien abgeleitet, sondern über einen "best fit": einer Anpassung der Parameter an traditionelle Tauchtabellen. Die verwendeten Tabellen sind die alte USN und die RNPL-Lufttabelle. Weiterhin wurden für den best fit die Ergebnisse der TEKTITE-Sättigungstauchgänge herangezogen. Die TEKTITE-Experimente fanden um 1971 in der Karibik, nahe der Insel St. Johns, statt. Die für das VPM ausgewerteten Tauchgänge wurden mit Nitrox10 auf einer Tiefe von 100 feet und der Dauer von 60 Tagen durchgeführt.

Andererseits bedeutet es bei Perfusions-Modellen mit Kompartimenten, deren Halbwertszeiten > 600 min betragen, daß bereits implizit Blasen mathema-

tisch simuliert werden. Derart große Halbwertszeiten sind äquivalent zu sehr, sehr geringen Perfusionsraten. Diese sind dann aber so gering, daß von erfolgreicher Perfusion, d.h. Sauerstoff-Versorgung zur Aufrechterhaltung einer sinnvollen Organ-Funktion, eigentlich keine Rede mehr sein kann. Ergo ähnelt dies der Situation in einer Kapillare, die mittels einer Gasblase verstopft ist.

Mein Modell ist besser als Deins!

Hmmmmmm; prinzipiell: NEIN! Alle Modelle sind falsch: ALLE! Grundsätzlich! Und einige sind sogar "falscher" als andere. Aber immerhin kann man eine Handvoll davon gebrauchen, um wenigstens ein bisschen was Sinnvolles auszurechnen. Hier nur ein paar der prominentesten Schwächen, die jedem Dekompressionsmodell innewohnen, egal ob Perfusions- oder Blasenmodell:

- keine Berücksichtigung der seriell geschalteten Organe (z.B.: Milz-Leber und Darm-Leber)
- keine Berücksichtigung von Bradycardie und Vaskokonstriktion bei hohem pO_2
- keine Berücksichtigung der Zuschaltung von Ruhekapillaren bei Arbeitslast
- beim Einsatz von Helium wird traditioneller Weise der Faktor 2,65 zur Skalierung der Kompartiments-Halbwertszeiten von Stickstoff benutzt. Auch dies scheint fraglich zu sein [6]
- keine Berücksichtigung von: Hydratation, Hauttemperatur, etc. etc. ...

Das alle diese Modelle auch noch „altersblind“ sind, sei nur am Rande vermerkt. Das tatsächliche Problem beim praktischen Tauchen ist dann dies: sobald eine Zahl, egal ob auf der Deko-Software des PCs oder dem digitalen Display eines Tauchcomputers erscheint, manifestiert sich eine Art „Taucher-Alzheimer“. Diese Zahlen werden für bare Münze genommen und es wird vergessen, das es sich um modellhafte Berechnungen handelt. Alle Dekompressions-Modelle haben mit der physiologischen Realität in etwa so viel zu tun wie eure Modell-Eisenbahn im Hobby-Keller mit Stuttgart 21. Der digitale Output gehört somit in das Reich der Schätzwerte!

Kein Ausweg in Sicht?

Die oben beschriebene Methode, d.h. die Berechnung der P(DCS) aus einer „a posteriori“-Analyse der beobachteten Dekompressionen und der Oberflächenpausen ist ein Weg, den einige Marinen dieser Welt von geraumer Zeit schon erfolgreich beschritten haben: eine detaillierte Liste dazu im Teil III. Dieser Weg wäre auch eine Lösung für Sporttaucher und Tekkies, wenn sie denn gewillt sind, ihre Tauchgangsprofile beizutragen. Es gibt seit 1999 ein großes Projekt von DAN USA sowie eines von DAN Europe, diese Daten einzusammeln. Caisson berich-

ten von Perfusions- und/oder Blasenalgorithmen, kombiniert mit den Ergebnissen von Ultraschall-Doppleruntersuchungen. Einer dieser Hybride ist das „COPERNICUS“-Modell. Es basiert auf einem Blasenmodell, gestützt von einer breiten Skala biometrischer Einflußgrößen wie: Geschlecht, Alter, aerobe Kapazität, BMI und Arbeitslast. Die Kombination mit den Dopplermessungen ergibt eine neue Kenngröße, den sogenannten „deco stress“. Diesen kann man sich als Hyperfläche, aufgespannt über alle Kenngrößen, vorstellen. Mathematisch wird nun versucht, den deco stress über eine Evolutionsstrategie zu minimieren, d.h. es wird ein Tief- oder Sattelpunkt



Nähere Informationen über das PDE-Projekt (Project Dive Exploration) von DAN USA finden Sie unter dem QR-Code und unter dem folgenden Link: http://www.diversalernetnetwork.org/research/studies/project_dive_exploration



Nähere Informationen über das europäische DSL (Diving Safety Laboratory, das Tauchsicherheitslabor) von DAN Europe finden Sie unter dem QR-Code und unter dem folgenden Link: <http://www.daneurope.org/send-your-dive-profile>

tete darüber: caisson 26.Jg/2011/Nr.2, S.6: Mach' mit: mach' Tauchen noch sicherer!

Im Rahmen des PDE und des DSL Projektes werden die digitalisierten Tauchgangsprofile, die Beobachtungen während der Oberflächenpause und einige biometrische Daten eingesammelt und anonymisiert ausgewertet. Beim DSL wurden bis 2013 ca. 40.000 Profile ausgewertet, davon waren weniger als 200 mit DCS behaftet ([7], Kapitel 1 und 4.)

Allerdings ist ein grundsätzliches Problem des bereits bestehenden riesigen Datengrabes bei DAN das zu wenig biometrische Daten und insbesondere die Arbeitslast und die Hauttemperatur nicht vorliegen. Nichtsdestotrotz ist es aus unserer Sicht ein wichtiger, erster Schritt in die richtige Richtung!

Und, noch was?

Ja! Denn seit kurz vor der Jahrtausendwende gibt es sogenannte „Hybrid-Modelle“. Dies sind Mischungen

der Hyperfläche gesucht. Da dies etwas aufwendiger zu programmieren ist, wird das nicht so einfach für einen Tauchcomputer zu kaufen sein.

Wenn wir nun in der Zusammenfassung die Teile I und II betrachten, können wir folgenden einfachen Schluß ziehen: **„It doesn't matter which model you use, provided it has a sound implementation!“** (A. Salm, Tech Austria, 2008). Sinngemäß: „Es ist eigentlich völlig egal, welchen Tauchcomputer (Deko-Software oder Tauchtabelle) man benutzt. Hauptsache, die Implementierung ist korrekt (d.h. das Ding macht keine Fehler)! Und damit sind wir beim „dicken Ende“ des Teils II angelangt und auch bei der Abbildung 1! Da diese Dinge ja üblicherweise nicht nur Meß- sondern auch Rechenfehler machen, stellt sich die Frage, ob die bei Tekkies bereits übliche Redundanz, nämlich die Benutzung zweier unterschiedlicher Mischgas-Tauchcomputer, zielführend ist. Wenn einer der beiden Computer was Falsches anzeigt: wie wird entschieden, welcher daneben liegt? Es muß also ein Dritter her, der unabhängige Schiedsrichter. Dieses

Ergebnis der Spieltheorie wird auch gerne in einem anderen Gebiet des technischen Tauchens angewandt: die Anzahl der Sauerstoffsensoren in einem Kreislauftauchgerät beträgt oft drei.

Albrecht Salm

Quellen zur vertieften Information

Zu VPM

- D.E. Yount, D.C. Hoffman, On the Use of a Bubble Formation Model to Calculate Diving Tables. Aviation, Space, and Environmental Medicine, February, 1986: 57: 149 - 156
- Dies ist die ursprüngliche Quelle; die vielen, vielen anderen "Quellen" aus dem Internet sind in der Regeln Wiederholungen und Zitate. Das eigentliche Konzept sowie die Grundzüge des Algorithmus werden in der Dissertation von Hoffman beschrieben:
- Donald Clinton Hoffman, Dissertation August 1985: On the Use of a Gas-Cavitation Model to generate prototypal Air and Helium Decompression Schedules for Divers. Sea Grant HAWAU-Y-84-003 C3

Zu COPERNICUS

- UHMS ASM (Undersea and Hyperbaric Medical Society, Annual Scientific Meeting) 2008 Session T134
- UHMS ASM 2010, Session F10: Copernicus Decompression Procedures: NTNU, Brubakk et al.
- A Dynamic Two-Phase Model for Vascular Bubble Formation During Decompression of Divers, Christian R. Gutvik and Alf O. Brubakk. In: IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 56, NO. 3, MARCH 2009.
- Christian R. Gutvik, Richard G. Dunford, Zeljko Djic, Alf O. Brubakk: Parameter estimation of the copernicus decompression model with venous gas emboli in human divers, Med Biol Eng Comput (2010) 48:625-636 DOI 10.1007/s11517-010-0601-6)

Zu U.S.N.

- U.S. Navy Department. U.S. Navy Diving Manual. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1970; NAVSHIPS 0994-001-9010.
- U.S. Navy Diving Manual, REVISION 6, SS521-AG-PRO-0100910-LP-106-0957, 15 APRIL 2008, Change A 5 October 2011

Zu DCIEM

- Defence and Civil Institute of Environmental Medicine: Diving Manual, Part 1 & 2, March 1992, DCIEM No. 86-R-35, published by UDT, Inc.

Zu Tektite

- Beckman EL, Smith EM. Tektite II: Medical supervision of the scientists in the sea. Tex. Rep. Biol. Med. 1972; 30:155-69.

Zu RNPL

- Air diving tables. Alverstoke, Hants; Royal Naval Physiological Laboratory, 1968. (London, HMSO, 1968).

Begriffs-Erklärungen

- **Bounce-/ Jump-/ Sprint-Dive:** engl. Bezeichnungen für relativ kurze & flache, oft nicht oberflächenversorgte Tauchgänge
- **Respiratorischer Quotient R_q:** Volumenverhältnis von Kohlendioxidproduktion zu Sauerstoffverbrauch, Durchschnittswerte sind: 200 ml Kohlendioxidproduktion / 250 ml Sauerstoffverbrauch pro Minute, d.h. ca. $R_q = 200 / 250 = 0,8$.
- **Air Break:** Luftpause während einer Dekompression mit Sauerstoff
- **SurDO₂:** surface decompression using O₂
- **Jesus Faktor:** empirische Verlängerungen von tabellierten Dekompressionszeiten
- **P(DCS):** statistical probability for decompression sickness
- **Ockhams Rasiermesser:** wissenschaftliche Methode, benannt nach dem englischen Philosophen William of Occam, 1288 - 134

Literatur

1. Tauchmedizin, Albert A. Bühlmann, Ernst B. Völlm (Mitarbeiter), P. Nussberger; 5. Auflage in 2002, Springer, ISBN 3-540-42979-4
2. NEDU (Navy Experimental Diving Unit) TR 09-05 / TA 8-20: Schedules in the Integrated Air Decompression Table of U.S. Navy Diving Manual, Revision 6: Computation and Estimated Risks of Decompression Sickness
3. Sterbenz, Pat H. 1974. Floating-Point Computation, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
4. Goldberg, I. Bennett 1967. 27 Bits Are Not Enough for 8-Digit Accuracy, Comm. of the ACM. 10(2), pp 105-106.
5. Boycott, A.E., Damant, G.C.C., & Haldane, J.S.: The Prevention of Compressed Air Illness, Journal of Hygiene, Volume 8, (1908), pp. 342-443.
6. Altering blood flow does not reveal differences between nitrogen and helium kinetics in brain or in skeletal muscle in sheep; David J. Doolette , Richard N. Upton , Cliff Grant Journal of Applied Physiology Published 1 March 2015 Vol. 118 no. 5, 586-594 DOI: 10.1152/jappphysiol.00944.2014
7. Balestra, Costantino; Germonpre, Peter (ed.) The Science of Diving: Things your instructor never told you (2015) Lambert Academic Publishing, ISBN: 978-3-659-66233-1

Zitierte Caisson-Ausgaben

- Caisson 30.Jg/2015/Nr.1,S.14-22: Yet another benchmark - Der etwas andere Vergleich - Teil I
- Caisson 26.Jg/2011/Nr.3,S.4-12: Dekompressionsberechnungen für Trimix-Tauchgänge mit PC-Software: Reparieren Gradientenfaktoren defekte Algorithmen oder defekte Software-Implementierungen?
- Caisson 26.Jg/2011/Nr.2,S.6: Mach' mit: mach' Tauchen noch sicherer!
- Caisson 2009; 24(2),S.9-15: Tauchmedizin: von einer Kunst zu einer Pseudo-Wissenschaft



Standardwerk.



Ch. Klingmann
K. Tetzlaff (Hrsg.)

Moderne Tauchmedizin

■ Handbuch für
Tauchlehrer,
Taucher und Ärzte

2. vollständige überarbeitete Auflage 2012
ISBN 978-3-87247-744-6
Gebunden, 844 Seiten, fünffarbig
€ 65,- ; sFr 80,-



Tauchtaug-
lichkeit.



Gesellschaft für Tauch- und
Überdruckmedizin (GTÜM)
Österreichische Gesellschaft für Tauch-
und Hyperbarmedizin (ÖGTH) (Hrsg.)

Checkliste Tauch- tauglichkeit

■ Untersuchungsstandards
und Empfehlungen der
Gesellschaft für Tauch-
und Überdruckmedizin
(GTÜM) und der
Österreichischen
Gesellschaft für Tauch-
und Hyperbarmedizin
(ÖGTH)

2., vollständig überarbeitete Auflage 2014
ISBN 978-3-87247-747-7
Gebunden, 384 Seiten
€ 40,- ; sFr 50,-



Management.



Mirko Obermann
Andreas Häckler
Nicole Kiefhaber (Hrsg.)

Modernes Tauchbasen- management

■ Handbuch für
Tauchschulen
Tauchbasen nach
ISO 24803

1. Auflage 2012
ISBN 978-3-87247-732-3
Gebunden, 496 Seiten, vierfarbig
€ 49,- ; sFr 60,-



Rettungsplan
Tauchunfall.



Hubertus Bartmann
Claus-Martin Muth (Hrsg.)

Notfallmanager Tauchunfall

■ Praxishandbuch für
Taucher
Tauchmediziner
Rettungsdienste

4. vollst. überarbeitete Auflage 2012
ISBN 978-3-87247-746-0
Gebunden, Taschenbuchformat
vierfarbig, 456 Seiten,
Preis € 40,- ; sFr 50,-

Grundlagen – Vorbeugung – Diagnose – Therapie
Management – Ausrüstung – Rettung



Gentner Verlag

Gentner Verlag • Buchservice Medizin
Postfach 101742 • 70015 Stuttgart
Tel. 0711/63672-857 • Fax 0711/63672-735
buch@gentner.de • www.asu-arbeitsmedizin.com/buecher • www.tauchmed.com

Mehr Informationen
und versandkostenfrei
online bestellen:



Rettung von Ertrinkungsopfern und Tauchern: Ist eine maschinelle Beatmung unter Wasser möglich?

Eine Pilotstudie.

Rescue of drowning victims and divers: is mechanical ventilation possible underwater?

A pilot study.



AUTOR

Dr. Bernd Winkler •

•
•
Universitätsklinikum
Würzburg •
•
Klinik und Poliklinik für •
•
Anästhesiologie •
•
Taucherarzt (GTÜM) •
•
Lehrtaucher (DLRG) •
•
Ausbilder Rettungstauchen •
•
(Wasserwacht) •
•
Einsatzleiter Wasser-
rettungsdienst •

Diving and Hyperbaric Medicine

The Journal of the South Pacific Underwater Medicine Society
and the European Underwater and Hyperbaric Society

SPUMS

Volume 43 No. 2 June 2013

EUBS



Recreational technical diving

Oxygen and carbon dioxide toxicity – 1944 revisited
Decompression in recreational technical diving
Recreational closed-circuit rebreather fatalities
Stress responses during breath-hold diving
Can a diver be mechanically ventilated underwater?

Pilot Print Approved PP-131758-0013

Dieser Artikel wurde erstveröffentlicht in
Diving and Hyperbaric Medicine

Winkler BE, Muth CM, Kaehler W, Froeba G, Georgieff M, Koch A. Rescue of drowning victims and divers: is mechanical ventilation possible underwater? A pilot study. Diving Hyperb Med. 2013 Jun;43(2):72-7.

Abdruck mit freundlicher Genehmigung der EUBS.



Als Mitglied der EUBS erhalten Sie "Diving and Hyperbaric Medicine" 4 Mal jährlich frei Haus.

Näheres unter www.eubs.org/Applicat.htm

Winkler, Bernd E.; Muth, Claus-Martin; Kaehler, Wataru; Froeba, Gebhard; Georgieff, Michael; Koch, Andreas

Zusammenfassung

EINLEITUNG:

Die Beatmung im Wasser während des Rettungsschwimmens wird in der aktuellen ERC Leitlinie empfohlen. Ein Beginn der maschinellen Beatmung unter Wasser könnte insbesondere dann in Erwägung gezogen werden, wenn ein direkter Aufstieg an die Wasseroberfläche unmöglich oder gefährlich ist. Die aktuelle Studie evaluierte daher die technische Machbarkeit einer solchen Beatmung unter Wasser.

METHODEN:

Ein Reanimationsphantom wurde mit Hilfe einer Interspiro® MK II Vollmaske bzw. mit einem Oxylator® Beatmungsgerät via Gesichtsmaske oder Larynxtubus bzw. Mund-zu-Larynxtubus-Beatmung beatmet. Hierbei wurden die mit den verschiedenen Beatmungsmethoden erzielten Tidalvolumina analysiert. Die Beatmungen erfolgten während Tauchgängen im Nasstank einer Druckkammer sowie in einem Binnensee. Die Beatmung wurde in Tiefen von 40, 30, 20, 12, 9 und 6 Metern analysiert.

ERGEBNISSE:

Bei Verwendung einer Beatmungsmaske war die Beatmung des Reanimationsphantoms unmöglich und nach ordnungsgemäßem Einbringen des Larynxtubus nur für wenige Atemzüge möglich. Die Beatmung mittels Larynxtubus führte zur Aspiration großer Wassermengen und die Beatmung mittels Larynxtubus schlug folglich während des Aufstieges fehl. Auch unter Verwendung der MK II Vollmaske war nur für einen kurzen Zeitraum eine effiziente Beatmung möglich. Zudem war eine absolut horizontale Position des Reanimationsphantoms für eine erfolgreiche Beatmung nötig, was im Freigewässer schwierig zu realisieren sein dürfte. Kleine Leckagen an der Dichtlippe der Vollmaske und der Beatmungsmaske sowie im Bereich des Cuffs der Larynxtubus führten zu einem sukzessiven Wassereintritt und nachfolgend zu einem kompletten Versagen der Beatmung.

SCHLUSSFOLGERUNGEN:

Die Effizienz einer Beatmung unter Wasser scheint mit allen im Rahmen dieser Studie evaluierten Tech-

Abstract

INTRODUCTION:

In-water resuscitation has recently been proposed in the European resuscitation guidelines. Initiation of mechanical ventilation underwater might be considered when an immediate ascent to the surface is impossible or dangerous. The present study evaluated the feasibility of such ventilation underwater.

METHODS:

A resuscitation manikin was ventilated using an Interspiro® MK II full-face mask or with an Oxylator® ventilator via a facemask or a laryngeal tube, or with mouth-to-tube inflation. Tidal volumes achieved by the individual methods of ventilation were assessed. The ventilation tests were performed during dives in the wet compartment of a recompression chamber and in a lake. Ventilation was tested at 40, 30, 20, 12, 9 and 6 metres' depth.

RESULTS:

Ventilation was impossible with the cuffed mask and only sufficient after laryngeal intubation for a small number of breaths. Laryngeal tube ventilation was associated with the aspiration of large amounts of water and the Oxylator failed during the ascent. Efficient ventilation with the MK II full-face mask was also possible only for a short period. An absolutely horizontal position of the manikin was required for successful ventilation, which is likely to be difficult to achieve in open water. Leakage at the sealing lip of the full-face mask and the cuff of the laryngeal tube led to intrusion of water and resulted in subsequent complete failure of ventilation.

CONCLUSIONS:

The efficacy of underwater ventilation seems to be poor with any of the techniques trialed. Water aspiration frequently makes ventilation impossible and might foster emphysema aquosum-like air trapping and, therefore, increase the risk of pulmonary barotrauma during ascent. Because the limitations of underwater ventilation are substantial even under ideal conditions, it cannot be recommended presently for real diving conditions.

KEYWORDS:

drowning; equipment; extraglottic airway devices; rescue; resuscitation; scuba diving; ventilators

niken gering zu sein. Die Aspiration von Wasser macht häufig eine Beatmung völlig unmöglich und könnte zudem ein Lungenemphysem als Folge eines Air Trappings im Sinne eines Emphysema aquosum begünstigen. Folglich könnte auch das Risiko für ein pulmonales Barotrauma in der Dekompressionsphase erhöht sein. Aufgrund der schwerwiegenden Einschränkungen, denen eine Beatmung unter Wasser selbst unter optimalen Bedingungen in einer Druckkammer unterliegt, kann diese aktuell nicht für reale Tauchgänge empfohlen werden.

SCHLAGWORTE:

Ertrinken; Ausrüstung; Supraglottische Atemwegshilfsmittel; Rettung; Reanimation; Gerätetauchen; Beatmungsgeräte

Einleitung

Ertrinken ist eine häufige Todesursache bei Erwachsenen und Jugendlichen mit deutlichem Schwerpunkt beim männlichen Geschlecht. Ertrinkungsunfälle gehen häufig mit schlechten Verläufen, hoher Letalität und langwierigem Krankheitsverlauf einher, besonders wenn sie im offenen Wasser auftreten [2,3]. Die gegenwärtigen Leitlinien für Wiederbelebung des Europäischen Rates für Wiederbelebung (ERC, European Resuscitation Council) empfehlen mit der Beatmung bereits im Wasser während des Rettungsschwimmens zu beginnen [4]. Für die Wiederbelebung von Ertrinkungsopfern hat sich der frühe Beginn einer Oxygenierung mit Beatmungsbeutel oder CPAP, und mit hoher inspiratorischer Sauerstoffkonzentration als vorteilhaft erwiesen [5-6]. Höhere Überlebensraten und eine Reduktion von ernsten neurologischen Schäden wurden dann berichtet, wenn die Wiederbelebungsmaßnahmen bereits im Wasser durchgeführt wurden [7]. Die Durchführbarkeit von Mund-zu-Nase-Beatmung ist im Schwimmbecken bereits demonstriert worden [8]. Über verschiedene Beatmungstechniken außerhalb und innerhalb des Wassers mit modifizierten Lungenautomaten und modifizierten geschlossenen Rebreathersystemen wurde ebenfalls berichtet [9-12]. Unsere Gruppe hat bereits die Möglichkeit einer Beatmung im Wasser mit dem Oxylator (CPR Medical Devices INC, Toronto, Canada) zeigen können [13].

Bei tödlich verlaufenden Tauchunfällen ist das Opfer regelhaft noch unter Wasser und hat einen Atemstillstand, daher wurde über Ertrinken als häufigste Ursache für tödliche Tauchunfälle berichtet [14-16]. Bei der Rettung von Tauchern mit Atemstillstand kann es mehrere Minuten dauern, bis die Oberfläche erreicht ist und die Beatmung beginnt. Vor allem in Situationen, in denen ein direkter Aufstieg unmöglich ist, könnte eine Beatmung unter Wasser vorteilhaft sein, um die Zeit zu überbrücken, bis die Oberfläche erreicht ist. Mögliche Szenarien sind Höhlentauchgänge oder Verletzungen bei Militärtauchern in feindlichen Gebieten, in welchen ein Aufstieg tödlich enden kann. In solchen Situationen ist es denkbar, dass eine Beatmung unter Wasser die Überlebensrate durch Reduktion der Hypoxie potentiell verbessern könnte. Des Weiteren könnte die Zeit des Kreislaufstillstands verkürzt werden und das Outcome der noch unter Wasser befindlichen ertrunkenen Patienten verbessert werden.

Rettungstaucher und Militärtäucher tauchen in der Regel mit Vollmasken, um das Gesicht vor kaltem Wasser und Schadstoffen zu schützen und es dem Taucher zu ermöglichen, über eine Freisprecheinrichtung zu kommunizieren. Wann immer ein Taucher, der eine Vollmaske trägt, bewusstlos wird und einen Atemstillstand hat, kann die Maske für eine unmittelbare Beatmung des Tauchers benutzt werden. Wenn Taucher nicht mit einer Vollmaske ausgestattet sind, oder wenn Ertrinkungsopfer von einem

Rettungstaucher gerettet werden müssen, müssen andere Lösungen als die Vollmaske in Erwägung gezogen werden. Mund-zu-Mund-Beatmung erscheint hier nicht praktikabel und gefährlich. Eine mögliche Lösung könnte darin bestehen, eine Beatmungsmaske zu benutzen, obwohl dies einige Erfahrung erfordert um sicher damit umgehen zu können. Alternativ sind supraglottische Atemwegshilfsmittel ein möglicher Weg, welche präklinisch und bei innerklinischen Notfällen bereits sehr häufig genutzt werden und relativ leicht anzuwenden sind. Der Larynxtubus ist ein solches supraglottisches Atemwegshilfsmittel, das einen distalen Cuff am Ösophagus besitzt, um die Regurgitation von Mageninhalt zu reduzieren.

Das Ziel dieser Studie war es die Wirksamkeit und die Durchführbarkeit der Beatmung unter Wasser mittels drei Hilfsmitteln zu evaluieren: Vollmaske, Beatmungsmaske und Larynxtubus.

Methoden

Die Tauchgänge wurden im Nasstank der Druckkammereinrichtung *Hydra 2000* des Schiffsfahrtmedizinischen Instituts der Marine in Kiel-Kronshagen (Deutschland) durchgeführt. In diesem wassergefüllten Bereich der Druckkammeranlage erfolgten die Tauchgänge bis zu einer maximalen Tiefe von 40 Metern (m) mit Zwischenstopps beim Auftauchen für weitere Messungen bei jeweils 30, 20, 12, 9, und 6 m Wassertiefe.

Testaufbau

Unter Verwendung eines Rückschlagventils wurde eine Maquet® Narkosegeräte-Testlung mit einem Reanimationsphantom der Firma Laerdal (Resuscitation Annie®, Laerdal medical, Stavanger, Norwegen) verbunden (Abbildung 1).

Der tracheaähnliche Schlauch des Reanimationsphantoms war am Einlass des Ventils angeschlossen und ein Schlauch für die Messung der Tidalvolumina war an der Auslassseite angeschlossen. Die Tidalvolumina wurden unter Verwendung eines skalierten Messzylinders gemessen. Die Präzision eines solchen Messzylinders ist an der Oberfläche geringer als die Präzision von Spirometriegeäten. Allerdings

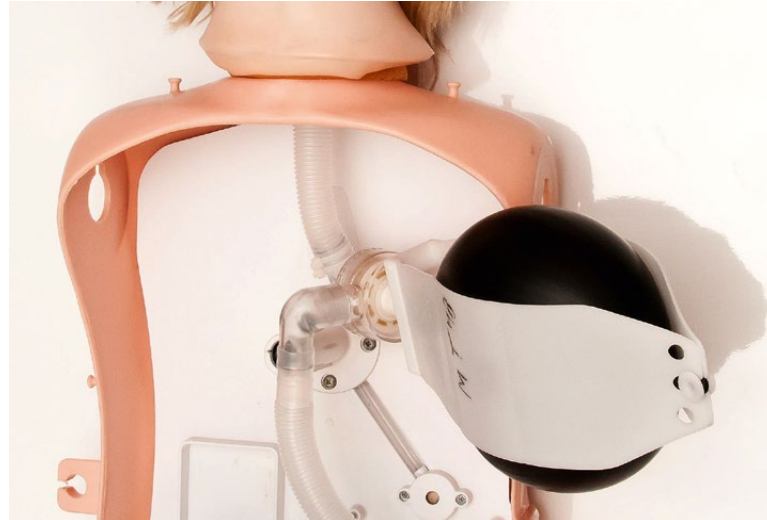


Abbildung 1
An das Reanimationsphantom angeschlossene Testlung

müssten Spirometriegeäten auf allen Tiefenstufen rekaliert werden und diese Geäten sind zudem nicht dafür konstruiert, auf einen Tiefenäquivalent von 40 m Wassertiefe zu funktionieren. Daher erfolgte die Messung der Tidalvolumen mit dem Messzylinder, um eine zuverlässige und fehlerfreie Methode zu nutzen. Die Tidalvolumina wurden von einer Person aufgezeichnet, die sich im trockenen Teil der Druckkammer aufhielt.

Beatmungstechnik

Die Beatmung wurde mit drei verschiedenen Geäten durchgeführt: einer Vollmaske, einer Beatmungsmaske und einem Larynxtubus. Zur Beatmung wurde ein Beatmungsgerät vom Typ Oxylator® benutzt. Der Oxylator® ist ein einfaches, wenig störanfälliges, druckkontrolliertes Notfallbeatmungsgerät, welches zuvor in einer trockenen Druckkammer unter Überdruck getestet wurde und das bei militärischen Spezialeinheiten Anwendung findet. In der vorliegenden Studie wurde der Oxylator® unter Wasser in Betrieb genommen und hat die notwendige Gasversorgung von einem normalen Tauchgerät zugeführt bekommen. Der Spitzendruck des Oxylator® wurde auf 45 hPa eingestellt und es wurde Druckluft statt Sauerstoff als Betriebsgas benutzt um einen kritischen Anstieg des Sauerstoffpartialdrucks in der Druckkammer zu vermeiden.

Interspiro® MK II Vollmaske (Abb. 2)

Die Interspiro® MK II Maske (Interspiro AB, Taeby, Schweden) ist eine der am weitest verbreiteten Vollmasken und wurde deshalb auch in dieser Studie genutzt. Die Maske wurde am Kopf des Reanimationsphantoms angebracht und das Eindringen von Wasser wurde durch Nutzung der Überdruckfunktion verhindert. Die linke Hand des Retters presste den oberen Teil der Maske an die Stirn und die rechte Hand drückte die Maske am Kinn der Puppe an und zwar bei gleichzeitigem Anheben des Kinns (Abb. 2). Beide Hände wurden zur Kopfüberstreckung genutzt. Die Luftdusche der Vollmaske wurde mit dem Daumen der rechten Hand über den Zeitraum von 5 sec. immer dann bedient, wenn eine Einatmung erfolgen sollte und für die Ausatmung losgelassen.



Abbildung 2
Interspiro® MK II Vollmaske (die linke Hand ist hier nicht wie beschrieben auf der Stirn positioniert, um für das Foto eine gute Übersicht zu geben)

Maskenbeatmung (Abb. 3)

Der Cuff der Beatmungsmaske (Fortune Medical Instrument Corp; Taipei, Taiwan) wurde vor der Versuchsdurchführung mit Wasser befüllt um druckbedingte Veränderungen des Volumens des Cuffs zu verhindern. Die Maske wurde mit zur Durchführung der automatischen Beatmung mit dem Oxylator® verbunden. Der dichte Sitz zwischen der Maske und dem Gesicht des Reanimationsphantoms wurde durch einen erfahrenen Anästhesisten gewährleistet.



Abbildung 3
Die Beatmungsmaske wird auf dem Gesicht des Reanimationsphantoms positioniert

Larynxtubus (Abb. 4)

Ein Einweg-Larynxtubus (VBM LTS-D Larynxtubus®, VBM Medical, Sulz, Deutschland) wurde zur Atemwegssicherung benutzt und der Cuff des Larynxtubus wurde ebenfalls mit Wasser geblockt, um auch hier druckbedingte Änderungen des Cuffvolumens zu verhindern. Das Einführen des Larynxtubus wurde von einem erfahrenen Anästhesisten durchgeführt und der Larynxtubus wurde danach mit dem Oxylator® verbunden, wobei die gleichen Spitzendruckeinstellungen wie bei der Maskenbeatmung Anwendung fanden. Bei geringeren Tauchtiefen erfolgte eine Mund-zu-Tubus Beatmung, wenn der Oxylator® ausfiel.

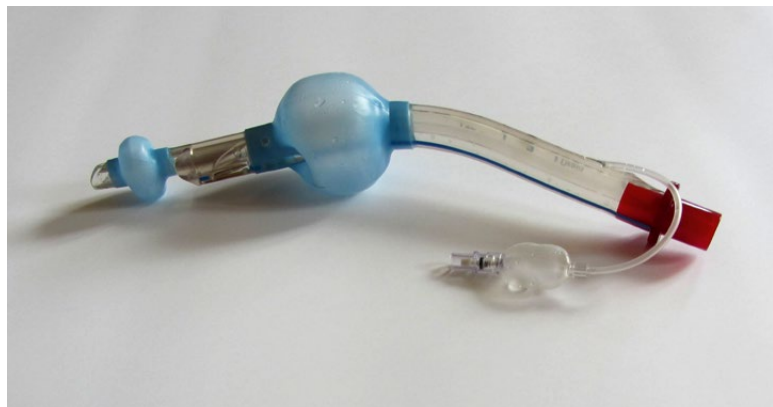


Abbildung 4
LTS-D Einweg-Larynxtubus®

Anwendung im Freiwasser

Die MK II Vollmaske und der Oxylator in Verbindung mit dem Larynxtubus wurden darüber hinaus im Freiwasser in einem Süßwassersee in einer Tiefe von 10 m getestet.

Statistik

Microsoft Excel 2007™, Microsoft Inc®, Washington, USA SPSS 19, SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA, wurden für die statistische Auswertung genutzt. Wegen der geringen Stichprobengröße war die statistische Auswertung auf die Anwendung einer rein deskriptiven Statistik limitiert.

Ergebnisse

Die Tidalvolumina, die mit den verschiedenen Arten der Beatmung erreicht wurden, sind in Tabelle 1 zusammengefasst dargestellt.

Vollmaske

Die Beatmung mit der Interspiro® MK II Vollmaske war initial zwar erfolgreich, allerdings kam es bereits nach nur ungefähr zwei Minuten der Beatmung zu einem größeren Einstrom von Wasser in das Reanimationsphantom und das, obwohl die Vollmaske mit dem Überdruckmodus betrieben wurde. Das Eindringen von Wasser hatte einen Abfall der Beatmungseffektivität zur Folge und machte die Beatmung schließlich unmöglich. Eine weitere Beatmung war nur möglich, nachdem an der Oberfläche das Wasser aus der Lunge und den Atemwegen des Reanimationsphantoms entfernt worden war. Die Menge des aspirierten Wassers betrug bei jeder Leerung der Lunge mehr als 500 ml.

Beatmungsmaske

Die Verwendung des Oxylator®-Beatmungsgeräts mit einer Beatmungsmaske führte jeweils schon nach einer einzigen Beatmung zur Fehlfunktion.

Tabelle 1

Tidalvolumina. Alle Werte sind als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung (Minimum-Maximum) angegeben. Die Mund-zu-Tubus-Beatmung wurde in 12m Tiefe aufgrund eines Gerätefehlers des Oxylators eingeleitet.

Tiefe	Interspiro MK II Vollmaske	Oxylator in Verbindung mit Larynxtubus	Mund-zu-Tubus-Beatmung
40 m	163 $\pm$ 31 (150-225) ml	356 $\pm$ 207 (150-600) ml	Nicht untersucht
30 m	193 $\pm$ 73 (150-300) ml	456 $\pm$ 174 (150-750) ml	Nicht untersucht
20 m	363 $\pm$ 177 (150-600) ml	450 $\pm$ 164 (300-750) ml	Nicht untersucht
12 m	425 $\pm$ 204 (150-750) ml	Gerätefehler	400 $\pm$ 249 (150-750) ml
9 m	214 $\pm$ 110 (150-450) ml	Gerätefehler	390 $\pm$ 171 (150-600) ml
6 m	477 $\pm$ 131 (150-600) ml	Gerätefehler	400 $\pm$ 87 (300-450) ml

Ursache hierfür war, dass größere Mengen Wasser sowohl in Mund als auch in die Trachea des Reanimationsphantoms eindringen konnten.

Larynxtubus

Die Beatmung mit dem Larynxtubus und dem Oxylator® war nur über 5-10 Beatmungen auf den Tiefenstufen 40, 30 und 20 m möglich. Auch hier war die Aspiration von Wasser der Grund für das Versagen der Beatmung und auch hier überstieg die Menge des aspirierten Wassers 500 ml. Wie schon bei der Vollmaske war die weitere Beatmung nur möglich, wenn das Wasser aus den Atemwegen und der Testlunge entfernt wurde. In 12 m Tiefe kam es zu einem Versagen des Oxylator®, bei dem beides, sowohl die automatische Beatmung als auch die Notfallluftdusche versagten. Auf Tiefe gab es keine Möglichkeit, das Beatmungsgerät zu öffnen um an die Ventile heranzukommen und so die Funktionsfähigkeit wieder herzustellen. Im Gegensatz dazu funktionierte der Druckminderer stets einwandfrei.

Zusätzlich wurde eine Mund-zu-Larynxtubus-Beatmung durchgeführt, obwohl das im ursprünglichen Studiendesign nicht vorgesehen war. Dies erfolgte, um eine Beatmung aufrecht zu erhalten und um ein Notfallvorgehen zu evaluieren, welches im Falle eines Ausfalls des Oxylator® eine Ausweichmöglichkeit bietet. Wie schon bei der mit dem Oxylator® durchgeführten Beatmung über den Larynxtubus war auch hier die Zahl der erfolgreich durchgeführten Beatmungen geringer als 10 und mehr als 500 ml Wasser gelangten in die Lunge.

Anwendung im Freigewässer

Die in einer Tiefe von 10 m in Freigewässer durchgeführten Versuche bestätigten das Problem des Eindringens von Wasser, wie es auch in der Druckkammer beobachtet worden war. Außerdem war es technisch außerordentlich schwierig das Reanimationsphantom in einer horizontalen Position zu halten und das sogar dann, wenn ein Taucher am Kopf des Phantoms die Reanimation durchführte und zwei andere Taucher das Auftauchen assistierten. Die Testlunge konnte nicht belüftet werden, wenn sich der Thoraxbereich des Phantoms deutlich unter dem Tiefenniveau des Beatmungsgerätes befand. Dafür kam es zu einer Überblähung, wenn sich der Thorax über dem Beatmungsgerät befand. Darüber hinaus kam es häufig zu einer behinderten Expiration, was ebenfalls zu einer Überblähung führen könnte.

Diskussion

Die Beatmung unter Wasser war mit allen in dieser Studie getesteten Hilfsmitteln schwierig und ging mit ernstzunehmenden Problemen einher.

Beatmung mit der Vollmaske

Die Interspiro MK II Vollmaske verfügte nur am Anfang über eine ausreichende Dichtigkeit. Eine Hebung des Kinns und eine Reklination des Kopfes waren notwendig um die Atemwege zu öffnen und eine Belüftung zu erreichen. Als Folge dieser Maßnahme rutschte die Maske aufgrund der rutschigen Oberflächen unter Wasser ständig aus der Idealposition. Die Leckagen waren so groß, dass der erhöhte Innendruck in der Maske nicht ausreichte, um dies zu kompensieren. Wasser drang in den Rachen der Versuchspuppe ein und sorgte für ein Versagen der Beatmung. Vor allem war das mit der MK II Vollmaske erreichte Tidalvolumen sehr abhängig von der Tauchtiefe.

Beatmung mittels Oxylator und Beatmungsmaske

Die Verwendung des Oxylators in Kombination mit einer Beatmungsmaske war technisch nicht machbar. Eine ausgeprägte Leckage führte zum Eindringen von Wasser, obwohl eine Gesichtsmaske mit einer weichen, wassergefüllten Silikonmanschette benutzt wurde und die Maskenbeatmung von einem erfahrenen Anästhesisten durchgeführt wurde. Wenn ein Anästhesist mit täglicher Routine in der Maskenbeatmung nicht in der Lage ist, ausreichende Bedingungen für eine Beatmung mit der Beatmungsmaske zu erzielen, ist es für Rettungsdienstpersonal und Laien extrem unwahrscheinlich, unter realistischen Bedingungen im Freigewässer mit einer Maske zu beatmen.

Beatmung mittels Oxylator und Larynxtubus

Mit dem Larynxtubus waren die Bedingungen für eine Beatmung vor allem aufgrund der besseren Abdichtung des Cuffs verglichen mit der Maske besser. Dennoch drang noch Wasser in den Rachenraum ein, was dazu führte, dass die Beatmung nach fünf bis zehn Beatmungen fehlschlug. Nach dem Aufstieg

auf 12 m schlug die Beatmung mit dem Oxylator völlig fehl. Die wahrscheinlichste Erklärung für Versagen dieses Geräts ist, dass Luft im Gerät eingeschlossen wurde und sich bei Dekompression ausdehnte, weil das Gerät während des Aufstiegs abgeschaltet wurde. Als Konsequenz kam es vermutlich zu einem exzessiven Überdruck in dem Gerät und nachfolgendem Geräteversagen.

Selbst wenn der Oxylator normal arbeitet, gibt es verschiedene Probleme, die beachtet werden müssen. Erstens kann die Höhe des PEEP (positive end expiratory pressure) nicht manuell eingestellt werden und ist auf ungefähr 3-5 hPa eingestellt, was für Ertrinkungsopfer niedrig ist [17]. Zweitens ist der Oxylator ein druckkontrolliertes Beatmungsgerät, d.h. das zugeführte Tidalvolumen ist stark von der Compliance der Lunge des Patienten abhängig [18]. Daher können die Tidalvolumina während des Rettungsprozesses variieren [19]. Nichtsdestotrotz gibt es auch Studien, die über eine geringere Überblähung des Magens, mehr Tidalvolumen und eine größere Chance auf Normokapnie berichten, wenn der Oxylator im Vergleich zum Beatmungsbeutel benutzt wird [20,21]. Des Weiteren könnten hypo- und hyperkapnische Zustände durch die Tatsache gefördert werden, dass die durch den Oxylator zugeführten Tidalvolumina druck- und tiefenabhängig waren.

Undichtigkeiten und Aspiration

Alle getesteten Beatmungssysteme führten zu relevanter Wasseraspiration. Bei den meisten Versuchen überstieg das Volumen des aspirierten Wassers in der Testlunge eine Menge von 500 ml. Des Weiteren war der transparente Schlauch, der den Rachen der Versuchspuppe mit der Testlunge verband, komplett mit Wasser gefüllt, so dass Luft nicht passieren konnte. Das zeigt, dass die Aspiration von Wasser schnell zu einem Versagen der Beatmung führt. Unter den idealen Testbedingungen im Nassteil der Druckkammeranlage konnte das Reanimationsphantom leicht aus dem Wasser gehoben werden, um das Wasser aus der Testlunge, dem Trachea-ähnlichen Verbindungsschlauch und Mund und Rachen zu entfernen, aber bei einem realistischen Ertrinkungsszenario gibt es keine Möglichkeit das Wasser aus den Atemwegen des Patienten zu entfernen. Daher ist es sehr unwahrscheinlich, dass eine Beatmung für mehr als 5-10 Atemzüge durchgeführt werden kann.

Selbst wenn das aspirierte Wasser nicht zu einem Fehlschlagen der maschinellen Beatmung führen

würde, käme es zu einer erheblichen Beeinträchtigung des pulmonalen Gasaustauschs. Die durchschnittliche Menge von aspirierter Flüssigkeit beim Ertrinken ist vergleichsweise klein und übersteigt kaum die Menge von ca. 2,2 ml kg⁻¹ KG [22]. Auf der anderen Seite spielt die Menge von aspirierter Flüssigkeit eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der Hypoxie, an der Ertrinkungsopfer leiden, da selbst kleine Mengen von aspirierter Flüssigkeit (schon 1-2,2 ml / kg KG) zu einem signifikanten Abfall des arteriellen Sauerstoffs führen [22-24]. Daher dauert es verglichen mit einer Situation ohne Aspiration von Flüssigkeit viel länger, bis, im Falle einer Aspiration, eine adäquate Oxygenierung wieder hergestellt ist [25-27].

Tiefenabhängige Druckunterschiede und Einschränkungen bei der Beatmung

Selbst wenn eine optimale Dichtigkeit erzielt werden könnte, ist der hydrostatische Druck des Wassers ein wichtiges zusätzliches Problem. Bei unseren Versuchseinstellungen wurde ein Druck in Höhe von 45 hPa (der mit einem Oxylator maximal erreichbare Druck) benutzt, was für Atemwege, die nicht mit einem Endotrachealtubus gesichert sind, relativ hoch ist. Es ist unklar, ob der Oxylator unter Wasser bei der Inspiration tatsächlich diesen Maximaldruck erreichte oder ob er schon früher von der Inspiration zur Expiration gewechselt hat. Leider waren wir unter Wasser nicht in der Lage, die Beatmungsdrücke zu messen. Während der Maskenbeatmung sollten die Spitzendrücke 15-20 hPa nicht überschreiten, da die Risiken von Magenblähung, Erbrechen und konsekutiver Aspiration von Mageninhalt bei erhöhtem Druck in den oberen Atemwegen steigen.

Im Hinblick auf die Beatmung mit dem Oxylator (45 hPa) bedeutet dies, dass der daraus resultierend Druck in der Lunge 25 hPa beträgt wenn sich die Lunge 20 cm unter dem Oxylator befindet oder 65 hPa wenn sich die Lunge 20 cm über dem Oxylator befindet. Wenn das Beatmungsgerät auf 45 hPa eingestellt wird und der Patient sich in einer aufrechten Position befindet, was während der Rettungsverfahren für Taucher üblich ist, kommt es nur zu einem minimalen Beatmungsdruck in der Lunge und es besteht die Gefahr eines Versagens der Beatmung. Ist die Brust des Patienten über dem Beatmungsgerät, kann der Druck in der Lunge leicht einen Druck von 70 hPa erreichen und übersteigen, was potentiell zu

einer pulmonalen Überblähung und einem Lungenbarotrauma führt.

Ertrinken führt zu einer veränderten Lungencompliance, zusätzlich trägt die Tauchausrüstung und hier vor allem der Tauchanzug zu einer verminderten Brustwandflexibilität bei. Basierend auf diesen beiden Faktoren sind hohe Beatmungsdrücke nötig, um suffiziente Atemzugvolumina zu erreichen. Der mittlere Druck, bei dem es beim Larynxtubus zu einer Leckage kommt, beträgt nur 28 hPa und der Leckagedruck des Kombitubus – welcher unter den supraglottischen Atemwegen den höchsten Druck toleriert bevor eine Undichtigkeit auftritt – beträgt nur 34 hPa [28]. Die notwendigen Spitzendrücke für eine Unter-Wasser-Beatmung könnten deshalb höher sein, als der maximale Leckdruck, was möglicherweise die Anwendbarkeit von supraglottischen Atemwegshilfen für eine Beatmung unter Wasser limitiert.

Unter der Berücksichtigung des pulmonalen Barotraumas ist das sogenannte *emphysema aquosum* ein weiterer kritischer Aspekt. Über das *emphysema aquosum* bei Ertrinkungsopfern wurde von Pathologen, Radiologen und Gerichtsmedizinern berichtet [29-31]. Wasser in den Bronchiolen verursacht entweder Bronchospasmen oder arbeitet wie ein Ventil, indem es den Luftaustausch zwischen Alveole und Bronchiole limitiert. Wird die Wasseraspiration durch die Beatmung unter Wasser verstärkt, kann dies die Entstehung des *emphysema aquosum* z.B. durch Lufteinschluss im Sinne eines Air-trappings begünstigen. Während des Aufstiegs könnte diese eingeschlossene Luft durch die Volumenexpansion gemäß des Gesetzes von Boyle-Mariotte zu einem pulmonalen Barotrauma führen. Da das pulmonale Barotrauma mit einer hohen Morbidität und auch Mortalität assoziiert ist, scheinen die Vorteile einer Beatmung unter Wasser fragwürdig, selbst wenn die Wasseraspiration minimal ist.

Praktische Anwendung im Freiwasser

Betrachtet man die erheblichen Schwierigkeiten, eine horizontale Position des Patienten zu erreichen, die Aspiration größerer Mengen Wasser und die geringe Effektivität, erscheint die Unter-Wasser-Beatmung im Freiwasser mit den getesteten Techniken praktisch unmöglich.

Schlussfolgerungen

Die beobachteten Einschränkungen sind zu gravierend, um die Beatmung unter Wasser mit einer der hier getesteten Methoden zu ermöglichen. Daher kann keine dieser Methoden empfohlen werden. Der Eintritt von Wasser in die Atemwege limitiert sehr schnell die Effektivität der Beatmung. Eine solche Aspiration kann zu einem ventil-ähnlichen Mechanismus führen, der dann zu einem *emphysema aquosum* führt, welches ein pulmonales Barotrauma begünstigen kann. Des Weiteren war eine absolut horizontale Position der Beatmungspuppe erforderlich, um wenigstens für kurze Zeit eine erfolgreiche Beatmung durchzuführen. Dies erscheint unrealistisch, wenn im Realfall Ertrinkungsopfer im Freiwasser gerettet werden müssen. Auch wenn eine Beatmung unter Wasser theoretisch unter speziellen Umständen wie Höhlentauchen und Tauchen in speziellen militärischen Situationen sinnvoll erscheint, limitieren die praktischen Probleme die Anwendbarkeit der Unter-Wasser-Beatmung. Neue Erfindungen und Ansätze werden möglicherweise in der Zukunft die beachtlichen Probleme lösen, welche zur Zeit die Anwendbarkeit der Beatmung unter Wasser limitieren.

Danksagungen

Die Autoren danken der Firma Panomed (Wessling, Germany) für die kostenlose zur Verfügung Stellung eines Oxylator Beatmungsgerätes, ebenso wie dem Druckkammerteam des Schifffahrtmedizinischen Instituts der Marine für ihre Hilfe und Unterstützung.

Bernd Winkler

Literaturverzeichnis

1. Peden MM, McGee K. The epidemiology of drowning worldwide. *Inj Control Saf Promot.* 2003;10:195-9
2. Weiss J. Prevention of drowning. *Pediatrics.* 2010;126:e253-62.
3. Suominen P, Baillie C, Korpela R, Rautanen S, Ranta S, Olkkola KT. Impact of age, submersion time and water temperature on outcome in near-drowning. *Resuscitation.* 2002;52:247-54.
4. Soar J, Perkins GD, Abbas G, Alfonso A, Barelli A, Bierens JJ, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 8. Cardiac arrest in special circumstances: Electrolyte abnormalities, poisoning, drowning, accidental hypothermia, hyperthermia, asthma, anaphylaxis, cardiac surgery, trauma, pregnancy, electrocution. *Resuscitation.* 2010;81:1400-33.
5. O'Driscoll BR, Howard LS, Davison AG. BTS guideline for emergency oxygen use in adult patients. *Thorax.* 2008;63 (Suppl 6):1-68.
6. Modell JH, Calderwood HW, Ruiz BC, Downs JB, Chapman R, Jr. Effects of ventilatory patterns on arterial oxygenation after near-drowning in sea water. *Anesthesiology.* 1974;40:376-84.
7. Szpilman D, Soares M. In-water resuscitation – is it worthwhile? *Resuscitation.* 2004;63:25-31.
8. Perkins GD. In-water resuscitation: a pilot evaluation. *Resuscitation.* 2005;65:321-4.
9. March NF, Matthews RC. New techniques in external cardiac compressions. *Aquatic cardiopulmonary resuscitation.* JAMA. 1980;244:1229-32.
10. March NF, Matthews RC. Feasibility study of CPR in the water. *Undersea Biomedical Research.* 1980;7:141-8.
11. Mutzbauer TS, Neubauer B, Tetzlaff K, Mueller PH. Modified closed circuit underwater breathing apparatus LAR VII and laryngeal mask airway as adjuncts for dive buddy artificial ventilation. *Mil Med.* 1999;164:535-9.
12. Mutzbauer TS, Neubauer B, Mueller PH, Tetzlaff K. Modification of the closed circuit underwater breathing apparatus LAR V makes it suitable for cardiopulmonary resuscitation (CPR). *Resuscitation.* 1998;39:75-80.
13. Winkler BE, Froeba G, Koch A, Kaehler W, Muth CM. Oxylator® and SCUBA regulators: Useful tools for in-water-ventilation. *Anesthesiology and Intensive Care (Anästhesiologie und Intensivmedizin).* 2012;53; supplement 1|2012: German Interdisciplinary Emergency Medicine Congress):4.
14. Divers Alert Network. DAN annual diving report – 2008 edition. Durham, NC: Divers Alert Network; 2008.
15. Divers Alert Network. Report on decompression illness, diving fatalities and Project Dive Exploration. The DAN annual review of recreational scuba diving injuries and fatalities based on 2004 data. Durham, NC: Divers Alert Network; 2006.
16. Divers Alert Network. Report on decompression illness, diving fatalities and Project Dive Exploration. The DAN annual review of recreational scuba diving injuries and fatalities based on 2003 data. Durham, NC: Divers Alert Network; 2005.
17. Moran I, Zavala E, Fernandez R, Blanch L, Mancebo J. Recruitment manoeuvres in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome. *Eur Respir J.* 2003;42 (Suppl):S37-S42.
18. L'Her E, Roy A. Bench tests of simple, handy ventilators for pandemics: performance, autonomy, and ergonomics. *Respir Care.* 2011;56:751-60.
19. Noordergraaf GJ, Van Dun PJ, Schors MP, De Jong W, Noordergraaf A. Efficacy and safety in patients on a resuscitator, Oxylator® EM-100, in comparison with a bag-valve device. *Am J Emerg Med.* 2004;22:537-43.
20. Noordergraaf GJ, van Dun PJ, Kramer BP, Schors MP, Hornman HP, de Jong W, et al. Airway management by first responders when using a bag-valve device and two oxygen-driven resuscitators in 104 patients. *Eur J Anaesthesiol.* 2004;21:361-6.
21. Noordergraaf GJ, van Dun PJ, Kramer BP, Schors MP, Hornman HP, de Jong W, et al. Can first responders achieve and maintain normocapnia when sequentially ventilating with a bag-valve device and two oxygen-driven resuscitators? A controlled clinical trial in 104 patients. *Eur J Anaesthesiol.* 2004;21:367-72.
22. Modell JH, Graves SA, Ketover A. Clinical course of 91 consecutive near-drowning victims. *Chest.* 1976;70:231-8.
23. Weinstein MD, Krieger BP. Near-drowning: epidemiology, pathophysiology, and initial treatment. *J Emerg Med.* 1996;14:461-7.
24. Modell JH. Drowning. *N Engl J Med.* 1993;328:253-6.
25. Halmagyi DF. Lung changes and incidence of respiratory arrest in rats after aspiration of sea and fresh water. *J Appl Physiol.* 1961;16:41-4.
26. Halmagyi DF, Colebatch HJ. Ventilation and circulation after fluid aspiration. *J Appl Physiol.* 1961;16:35-40.
27. Colebatch HJ, Halmagyi DF. Lung mechanics and resuscitation after fluid aspiration. *J Appl Physiol.* 1961;16:684-96.
28. Baker PA, Webber JB. Failure to ventilate with supraglottic airways after drowning. *Anaesth Intensive Care.* 2011;39:675-7.
29. Kohlhasse C, Maxeiner H. Morphometric investigation of emphysema aquosum in the elderly. *Forensic Sci Int.* 2003;134:93-8.
30. Christe A, Aghayev E, Jackowski C, Thali MJ, Vock P. Drowning – post-mortem imaging findings by computed tomography. *Eur Radiol.* 2008;18:283-90.
31. Fornes P, Pepin G, Heudes D, Lecomte D. Diagnosis of drowning by combined computer-assisted histomorphometry of lungs with blood strontium determination. *J Forensic Sci.* 1998;43:772-6.

Leitlinie zur Rettung nicht-reagierender Taucher aus der Tiefe

Guidelines for rescue of an unresponsive diver from depth



AUTOR

Dr. Simon J Mitchell •
Head of Department •
Department of •
Anaesthesiologie •
University of Auckland •

On behalf of the UHMS •
Diving Committee •
Email: •
sj.mitchell@auckland.ac.nz •



Dieser Artikel wurde erstveröffentlicht in
Diving and Hyperbaric Medicine

Simon J Mitchell
Guidelines for rescue of an unresponsive
diver from depth
Diving Hyperb Med. 2013 Sep;43(3):168-70.

Abdruck mit freundlicher Genehmigung
der EUBS.



Als Mitglied der EUBS erhalten
Sie "Diving and Hyperbaric Medi-
cine" 4 Mal jährlich frei Haus.

Näheres unter www.eubs.org/Application.htm

In diesem caisson und in Diving and Hyperbaric Medicine ist jeweils nur eine Zusammenfassung eines ausführlicheren Artikels abgedruckt. Die 10seitige Original-Veröffentlichung aus Undersea & Hyperbaric Medicine aus 2012 (s. Reference 2) steht unter dem unten genannten Link oder dem QR-Code zum kostenlosen Download zur Verfügung.
<http://archive.rubicon-foundation.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/10161/23342767.pdf?sequence=1>





Übung zur Rettung eines bewusstlosen Tauchers im Rahmen eines Taucherarzt-Refreshers (Foto taucherarzt.at)

Introduction

The management of drowning (and other emergencies) has been the subject of periodic evidence-based review by panels of experts who publish consensus guidelines [1]. In response to questions from the American Academy of Underwater Sciences and the Professional Association of Diving Instructors, the Diving Committee of the Undersea and Hyperbaric Medical Society conducted a similar review of methods for rescue of an unresponsive diver from depth [2]. The committee recommended actions on finding an unresponsive diver underwater in circumstances either where the disabling event is witnessed or where the period of unresponsiveness is uncertain and resuscitation must, therefore, be considered possible. The scope of diving to which the recommendations apply was limited to compressed gas bounce dives (dives in which the duration from leaving to returning to surface is of the order of minutes or hours) using a half-face mask, separate mouthpiece, and either open-circuit scuba equipment or a rebreather.

The rescue process was subdivided into three phases: preparation for ascent; retrieval to the surface;

and procedure at the surface. A series of questions pertinent to each phase was researched, debated and answered. A decision tree for rescue of an unresponsive diver was constructed (Figure 1) [2]. The process and logic underpinning the recommendations are fully described in the original publication, but several of the committee's important decisions on controversial matters are discussed briefly here [2].

Underwater seizure

Where unresponsiveness is the result of an ongoing seizure, the recommended action depends on whether the mouthpiece remains in the mouth or not (Figure 1). If it is retained, then attempts should be made to hold it in the mouth and the rescuer should wait for the clonic phase of the seizure to subside before initiating ascent. If it is out of the mouth (anecdotally the most common scenario), the committee recommends bringing the diver straight to the surface even if the seizure continues. This contradicts a long standing belief that a seizing diver must be held at depth until the seizure has terminated to avoid pulmonary barotrauma precipitated by closure

of the glottis during the ictal period. The committee reviewed the experimental evidence which suggests that the glottis does not completely close during the clonic phase of a seizure, and drew on its members' experience of being able to manually ventilate patients during a seizure [3]. On this basis it was judged that if the airway is completely unprotected the risk of pulmonary barotrauma during ascent while seizing is probably outweighed by the risk of drowning if ascent is delayed until the seizure finishes. In contrast, the small measure of airway protection afforded by a retained mouthpiece partly mitigates this concern and made the committee reluctant to abandon the 'traditional' advice under these circumstances. This dichotomy is reflected in the decision-making process depicted in Figure 1.

In-water rescue breathing

The committee considered the potential value of in-water rescue breaths administered to a non-breathing victim after surfacing. We found compelling evidence that there is frequently an interlude between respiratory and cardiac arrest in drowning, and that restoration of oxygenation during this period may prevent progression to full cardiac arrest; Survival in the field after cardiac arrest is extremely unlikely and the committee, therefore, recognized the lifesaving potential of early lung ventilation. Although delivery of in-water rescue breaths might delay removal of the victim onto surface support for definitive cardiopulmonary resuscitation, the committee endorsed their use unless the rescuer is incapable of administering them, or removal from the water can be achieved virtually instantaneously.

Cardiopulmonary resuscitation

The committee reviewed the recent advocacy for 'compression only' CPR which has caused confusion for diver training organizations in relation to what method should be taught. This issue has also been confronted by experts whose primary interest is resuscitation in drowning scenarios where respiratory arrest is (as in diving) most likely to be due to asphyxia, and where there may be a significant interval between respiratory and cardiac arrest as discussed above [1]. Not surprisingly, commentators representing expert groups have argued that in drowning

victims the correction of hypoxia is the first priority, and failure to provide ventilation to the victim may jeopardize outcome [1,5]. On this basis, the committee determined that the current advocacy for compression-only resuscitation in community cardiac arrest may not be relevant to diver rescue situations, and that initial in-water rescue breathing and subsequent pulmonary ventilation in conjunction with chest compressions during CPR are appropriate.

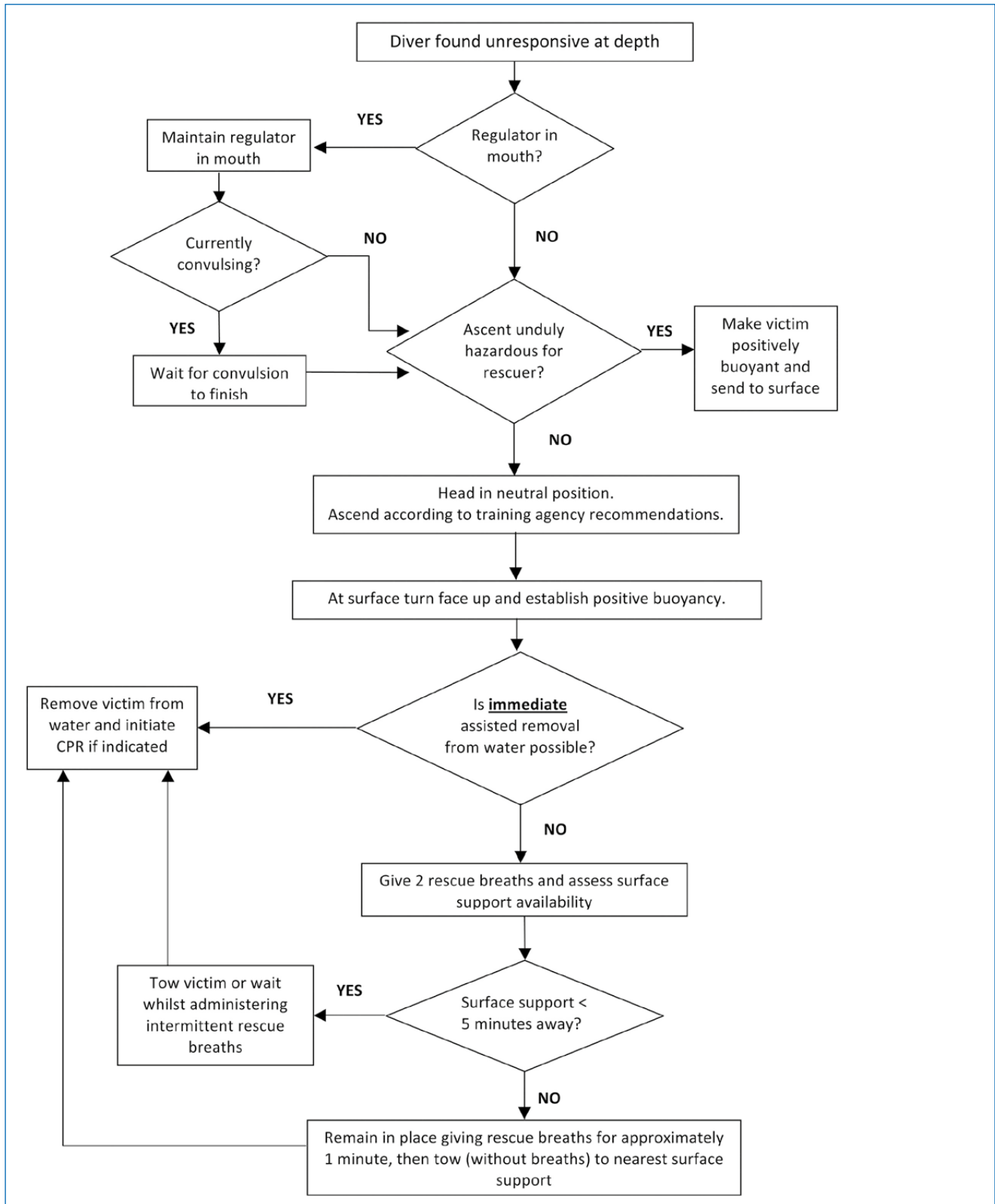
The committee was careful to contextualize their prescription of an approach to diver rescue with the observation that there is a high probability of a poor outcome when a diver becomes unconscious underwater, even when the rescue is executed in a 'text-book' fashion. The recommendations are a living document and will be periodically updated.

References

1. Soar J, Perkins GD, Abbas G, Alfonzo A, Barelli A, Bierens JJ, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 8. Cardiac arrest in special circumstances: Electrolyte abnormalities, drowning, accidental hypothermia, hyperthermia, asthma, anaphylaxis, cardiac surgery, trauma, pregnancy, electrocution. *Resuscitation*. 2010;81:1400-33.
2. Mitchell SJ, Bennett MH, Bird N, Doolette DJ, Hobbs GW, Kay E, et al. Recommendations for rescue of a submerged unresponsive compressed gas diver. *Undersea Hyperb Med*. 2012;39:1099-108.
3. Leaming JM, Terndrup TE, Ognibene S. Glottal patency during experimental cortical seizures in piglets. *Acad Emerg Med*. 1999;6:682-7.
4. Szpilman D, Soares M. In-water resuscitation - is it worthwhile. *Resuscitation*. 2004;63:25-31.
5. Perkins GD, Handley AJ. Chest-compression-only versus standard CPR (letter). *Lancet*. 2011; 377:716.

The above is a summary of the published recommendations of the Undersea and Hyperbaric Medical Society Diving Committee. Figure 1 is reprinted with kind permission from: Mitchell SJ, Bennett MH, Bird N, Doolette DJ, Hobbs GW, Kay E, et al. Recommendations for rescue of a submerged unresponsive compressed gas diver. *Undersea Hyperb Med*. 2012;39:1099-108.

Figure 1
Decision tree for the retrieval and resuscitation of an unconscious diver at depth (from reference 2)



Juristische Aspekte

zur ärztlichen Untersuchung der Tauchtauglichkeit



AUTOR

Benno Scharpenberg •

Leiter GTÜM-
Fachbereich Recht •

DLRG-Examiner •

Präsident des
Finanzgerichts Köln •

Pflichten des untersuchenden Arztes

Allgemeine Anforderungen; Fürsorge- und Sorgfaltspflichten

Mit dem im Februar 2013 in Kraft getretenen **Patientenrechtegesetz** wurden die Rechte von Patienten bei ärztlichen Untersuchungen und Behandlungen, die bis dahin überwiegend durch die Rechtsprechung entwickelt worden waren, in das Bürgerliche Gesetzbuch (§§ 630a bis h BGB) übernommen. Diese Bestimmungen sind auch im Rahmen von Tauchtauglichkeitsuntersuchungen zu beachten; auf sie wird im Folgenden an geeigneten Stellen hingewiesen.

a) Anamnese

Voraussetzung für die Feststellung der Tauchtauglichkeit ist die Erhebung einer umfassenden und gewissenhaften Anamnese. Hierbei sind insbesondere **tauchspezifische Risikofaktoren** abzufragen. Dies wiederum setzt zwingend voraus, dass die untersuchende Person über die hierfür notwendige Ausbildung verfügt (§ 630h Abs. 4 BGB). Da es keine gesetzlich festgelegten Anforderungen an die Ausbildung und Kenntnisse von Ärztinnen und Ärzten gibt, die Tauchtauglichkeitsuntersuchungen durchführen, ist jeder Untersuchende selbst dafür verantwortlich, dass er sich die hierfür erforderlichen besonderen Kenntnisse der Tauchphysik, der Tauchpraxis und der Tauchmedizin aneignet. Dies kann z.B. durch die Absolvierung einer eigenen Tauchausbildung und der zusätzlichen Teilnahme an für die Durchführung von Tauchtauglichkeitsuntersuchungen qualifizierenden Fortbildungsveranstaltungen der GTÜM oder anderer Anbieter sicher erfolgen.

Eignet sich die untersuchende Person die notwendigen besonderen Kenntnisse auf andere Weise an, dürfte dies den ihr im Rahmen möglicher juristischer Auseinandersetzungen wegen behaupteter ärztlicher Pflichtverletzungen obliegenden Nachweis ihrer **Befähigung zur Durchführung von Tauchtauglichkeitsuntersuchungen** möglicherweise erheblich erschweren.

Im Rahmen der **Untersuchung Minderjähriger** sind bereits bei der Erhebung der Anamnese Besonderheiten zu beachten. Minderjährige sind oftmals nicht in der Lage oder auch nicht ernststen Willens, zu ihrer bisherigen Krankheitsgeschichte verlässlich Auskunft zu erteilen. Nicht alle durchlebten Erkrankungen sind ihnen oftmals noch präsent oder sie werden als nicht erwähnenswert angesehen. In diesem Zusammenhang darf auf die Darstellung eines Tauchunfalls eines 11-jährigen Mädchens durch Dr. Christian Beyer in Caisson (Nr. 3, 2014, S. 14-17) hingewiesen werden, dessen Ursache nur durch ausführliche gewissenhafte Anamnese geklärt werden konnte, die bis in die Neugeborenen-Zeit zurückreichte, in der die Patientin einen Pneumothorax erlitten hatte. Gerade bei einer erstmaligen Tauchtauglichkeitsuntersuchung von Minderjährigen ist daher die **Hinzuziehung und Befragung eines Erziehungsberechtigten** dringend zu empfehlen.

b) Aufklärung und Einwilligung

Da für eine umfassende Tauchtauglichkeitsuntersuchung Eingriffe in die Unversehrtheit des Körpers des zu Untersuchenden erforderlich sind, ist von der untersuchenden Person vor Durchführung derartiger Untersuchungsmaßnahmen deren Einwilligung einzuholen (§ 630d BGB). Damit der Patient die Einwilligung wirksam erteilen kann, ist Voraussetzung, dass die untersuchende Person ihn zuvor mündlich umfassend aufklärt über **Art, Umfang, Risiken, Notwendigkeit und Alternativen des jeweiligen Eingriffs** (§ 630e BGB). Ferner hat die Aufklärung auch die voraussichtlich anfallenden **Kosten** zu enthalten, da nicht jede Krankenkasse diese vollumfänglich ersetzt (§ 630c Abs. 3 BGB).

Im Falle der **Untersuchung Minderjähriger** ist für die Wirksamkeit der Aufklärung und Einwilligung entscheidend, ob diese nach ihrer geistigen und sittlichen Reife die Bedeutung und Tragweite des Eingriffs und seiner Gestattung einzuschätzen vermögen. Feste Altersgrenzen bestehen hier nicht.

Es ist aber – gerade bei einer geringen Intensität der im Rahmen einer Tauchtauglichkeitsuntersuchung vorzunehmenden Eingriffe in die körperliche Unversehrtheit – davon auszugehen, dass die Einsichtsfähigkeit regelmäßig etwa ab dem 14. Lebensjahr, jedenfalls aber ab dem 15. Lebensjahr vorliegt. In jedem Fall muss die behandelnde Person aber konkret ermitteln, ob die **Einsichtsfähigkeit** eines Minderjährigen gegeben ist. Sollte dies nicht der Fall sein, ist die Einwilligung zumindest eines Erziehungsberechtigten einzuholen. Bei Routinefällen, wie die Durchführung einer Tauchtauglichkeitsuntersuchung, ist vorbehaltlich gegenläufiger Erkenntnisse im Einzelfall regelmäßig davon auszugehen, dass ein mit dem Minderjährigen erscheinende Elternteil ermächtigt ist, die Einwilligung auch für den abwesenden Elternteil zu erteilen (vgl. Urteil des Bundesgerichtshofs – BGH – vom 15. Februar 2000 VI ZR 48/99, BGHZ 144, 1, NJW 2000, 1784).

c) Untersuchungsumfang

In der Regel werden sich der Umfang der Untersuchung und damit die einzelnen Untersuchungselemente nach festgelegten Untersuchungsrichtlinien richten (z.B. die in der „Checkliste Tauchtauglichkeit“ niedergelegten **Untersuchungsstandards und Empfehlungen** der GTÜM oder anderer Verbände bzw. arbeitsmedizinische Untersuchungsgrundsätze wie G 31). Sofern nach solchen Richtlinien untersucht und anschließend eine dahingehende Bescheinigung ausgestellt wird, hat die untersuchende Person sämtliche der in diesen Richtlinien verpflichtend vorgesehenen Untersuchungselemente auch tatsächlich durchzuführen und zwar in der dort vorgeschriebenen Weise. Ferner hat die untersuchende Person die dort vorgeschriebene Sachkunde bzw. Befähigung innezuhaben.

Die vorgenannten Richtlinien definieren zugleich den gültigen Standard, nach dem Tauchtauglichkeitsuntersuchungen in Deutschland durchgeführt werden. Wird mithin nicht bescheinigt, eine Untersuchung nach bestimmten Untersuchungsrichtlinien durchgeführt zu haben, muss die Tauchtauglichkeitsuntersuchung dennoch dem in diesen Richtlinien definierten Standard entsprechen. Weicht eine untersuchende Person hiervon ab, hat sie im Rahmen möglicher juristischer Auseinandersetzungen darzulegen, weshalb bestimmte Untersuchungselemente oder die Art ihrer Durchführung bei dem einzelnen Patienten nicht erforderlich waren.

d) Schutz- und Obhutspflichten während der Untersuchung

Der untersuchende Arzt hat sowohl als Inhaber einer Praxis, als auch als lediglich die Untersuchung durchführende bzw. leitende Person die **allgemeinen Verkehrssicherungspflichten** zu beachten. Er hat die Ausstattung der Räumlichkeiten und den Zustand der für die Untersuchung verwendeten Hilfsmittel so zu gestalten, dass niemand zu Schaden kommt. Sofern sich in seinem Verantwortungsbereich eine Gefahrenquelle befindet oder von ihm eine besondere Gefahrenlage geschaffen wird, ist er verpflichtet, die ihm möglichen und zumutbaren Maßnahmen und Vorkehrungen zu treffen, die notwendig sind, um hiervon ausgehende Gefahren für Leib und Leben seiner Patienten abzuwehren. Dies reicht von der Verpflichtung, die berühmte auf dem Boden liegende und erkannte Bananenschale zu entfernen bis zur Verpflichtung, nur **Untersuchungsgeräte** und -mittel zu verwenden, die **funktionstüchtig und gewartet** sind.

Bei der Durchführung der einzelnen Untersuchungselemente hat die untersuchende Person dem Patienten alle notwendigen Schutz- und Hilfsmaßnahmen zukommen zu lassen (z.B. Hilfe beim Auf- bzw. Absteigen auf oder vom Ergometer).

e) Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Die Auswertung der im Rahmen der Tauchtauglichkeitsuntersuchung gewonnenen Untersuchungsergebnisse hat mit besonderem Bezug zu den sich aus den Ergebnissen ergebenden spezifischen **Risiken für den Tauchsport** zu erfolgen. Der Patient ist über die sich aus den Untersuchungsergebnissen ergebenden Einschränkungen für die Ausübung des Tauchsports aufzuklären; hierbei sind insbesondere auch risikobehaftete Verhaltensweisen beim Tauchen anzusprechen. Sofern der Patient einer Gruppe mit tauchspezifischem Risikopotential angehört (z.B. Schwangere, Kinder, junge Jugendliche) ist er auch bei uneingeschränkter Tauchtauglichkeit über die gerade ihn betreffenden möglichen medizinischen Risiken bei der Ausübung des Tauchsports aufzuklären. Dies setzt insgesamt selbstverständlich ebenso wie die fachgerechte Erhebung einer Anamnese anlässlich einer Tauchtauglichkeitsuntersuchung (s. oben unter a.) entsprechende tauchphysikalische und tauchmedizinische **Kenntnisse der untersuchenden Person** voraus. Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse Minderjähriger sind

abhängig von Alter und Verstandesreife des Patienten und der Bedeutung der sich aus den Untersuchungsergebnissen ergebenden Einschränkungen bzw. der ansonsten anzusprechenden Risiken die Erziehungsberechtigten hinzuzuziehen.

Dokumentation der Untersuchung

Die untersuchende Person ist verpflichtet, in unmittelbarem zeitlichen Zusammenhang mit der Untersuchung sämtliche aus fachlicher Sicht für die derzeitige und künftige Behandlung wesentlichen Maßnahmen und deren Ergebnisse aufzuzeichnen, insbesondere die Anamnese, Diagnosen, die einzelnen durchgeführten Untersuchungen, deren Ergebnisse, Befunde, Einwilligungen und Aufklärungen (§ 630 f BGB).

Lücken in der Dokumentation bewirken im Falle juristischer Auseinandersetzungen insofern Beweiserleichterungen für den Patienten, als dann Behandlungsfehler – widerlegbar – als bewiesen gelten, wenn sie ernsthaft in Betracht kommen. Wird eine medizinisch gebotene Untersuchung oder deren dokumentationspflichtiges Element **nicht dokumentiert**, wird vermutet, dass diese **nicht durchgeführt** worden sind (§ 630 h BGB: „Not documented, not done“). Hieraus kann in der Folge der Vorwurf des groben Verschuldens erwachsen.

Ausstellen der Untersuchungsbescheinigung

Aus der dem Patienten auszustellenden Tauchtauglichkeitsbescheinigung muss zu entnehmen sein, was Inhalt der Untersuchung war. Dies erfolgt am einfachsten durch Bezugnahme auf bestimmte Untersuchungsrichtlinien bzw. -Standards (z.B. GTÜM). Dadurch bestätigt der Aussteller, dass die Untersuchung gemäß diesen Richtlinien, Standards oder Empfehlungen durchgeführt worden ist. Zudem ist die **ärztliche Qualifikation zur Durchführung von Tauchtauglichkeitsuntersuchungen** anzugeben.

Ferner ist zu bescheinigen, ob eine uneingeschränkte Tauchtauglichkeit festgestellt worden ist, oder welche genau zu bezeichnenden Einschränkungen bei der Ausübung des Tauchsports einzuhalten sind.

Die Bescheinigung sollte, damit sie zur Vorlage auf Tauchbasen etc. geeignet ist, auf jeden Fall mit

einer **Gültigkeitsdauer** versehen sein. Gesetzliche Vorgaben hierfür bestehen nicht, so dass jede untersuchende Person sie letztlich selbst festlegt. Sofern eine uneingeschränkte Tauchtauglichkeit vorliegt, empfiehlt es sich, bei Personen bis zum 40. Lebensjahr keine über 3 Jahre hinaus gehende Gültigkeitsdauer und bei älteren Personen eine auf ein Jahr beschränkte Gültigkeitsdauer anzugeben, da dies den Regelungen der tauchmedizinischen Verbände (in Deutschland GTÜM) entspricht.

Haftung des untersuchenden Arztes

Im Falle eines Schadenseintritts beim Patienten haftet die untersuchende Person für den Schaden, wenn und soweit dieser Schaden darauf beruht, dass die untersuchende Person eine oder mehrere der vorgenannten ihr obliegenden **Sorgfaltspflichten im Rahmen der Durchführung der Tauchtauglichkeitsuntersuchung verletzt** hat. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn der Patient aufgrund Tauchuntauglichkeit einen Tauchunfall erleidet und die untersuchende Person diese Untauglichkeit bei sachgemäßer bzw. vollständiger Untersuchung hätte feststellen können oder wenn der Patient durch eine Untersuchungsmaßnahme zu Schaden kommt.

Ferner kommt eine Haftung in Betracht, wenn der Patient beim Tauchen einen Schaden erleidet, weil er von der untersuchenden Person **unzutreffend oder unzureichend** über die sich aus den Untersuchungsergebnissen ergebenden spezifischen Risiken für die Ausübung des Tauchsports **aufgeklärt** worden ist und sich eines dieser Risiken verwirklicht hat. Mangelnde tauchsportmedizinische Kenntnisse vermögen die untersuchende Person nicht zu exkulpieren.

Eine mögliche Haftung erstreckt sich in diesen Fällen insbesondere auf die Kosten der Heilbehandlung, Verdienstausfall, Rente bei Invalidität und Schmerzensgeld. Es gelten insoweit die **allgemeinen Haftungsgrundsätze**, weshalb eine Haftungsbeschränkung für den Fall möglicher Körperschäden vollkommen unwirksam ist und im Übrigen nur für normale und leichte Fahrlässigkeit zulässig ist (§ 309 BGB). Für das Verschulden der von der untersuchenden Person bei der Durchführung der Untersuchung

eingesetzten Hilfskräfte haftet die untersuchende Person in gleichem Umfang, wie für eigenes Verschulden (§ 278 BGB).

Umsatzsteuerpflicht von Tauchtauglichkeitsuntersuchungen

Leistungen eines Arztes sind nur dann **umsatzsteuerfrei**, wenn sie der medizinischen Betreuung von Personen durch das Diagnostizieren und Behandeln von **Krankheiten oder anderen Gesundheitsstörungen** dienen (vgl. Urteil des Europäischen Gerichtshofs – EuGH – vom 14.09. 2000 C-284/98, UR 2000, 432). Eine steuerfreie Heilbehandlung setzt mithin voraus, dass ihr Hauptziel der Schutz der Gesundheit ist (vgl. Urteil des Bundesfinanzhofs – BFH – vom 13.07.2006 V R 7/05, BStBl II 2007, 412).

Bestehen die Leistungen in der Untersuchung von Personen und der Erstellung ärztlicher Eignungsbescheinigung, ist für die Bestimmung des Hauptzwecks der Leistung der Kontext zu berücksichtigen, in dem sie erbracht werden.

Handelt es sich hierbei um eine **Eignungsbescheinigung**, deren Vorlage an einen Dritten Voraussetzung dafür ist, dass der Betroffene (Patient) eine bestimmte Tätigkeit ausüben kann, die eine gute körperliche Verfassung erfordert, so besteht der Hauptzweck der vom Arzt erbrachten Leistung darin, dem Dritten die Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Eine solche ärztliche Leistung zielt nicht in erster Linie auf den Schutz der Gesundheit der Person ab, die eine bestimmte Tätigkeit ausüben möchte, und ist daher **nicht von der Umsatzsteuer befreit** (vgl. EuGH-Urteil vom 20.11.2003 C-307/01, BFH/NV 2004, Beilage 2, 115).

Bei **Tauchtauglichkeitsuntersuchungen** steht, ebenso wie bei Flugtauglichkeitsuntersuchungen, die Frage im Vordergrund, ob der Untersuchte für eine bestimmte Tätigkeit – hier der Ausübung des Tauchsports – aus medizinischer Sicht tauglich ist. Es handelt sich hierbei mithin nicht um Vorsorgeuntersuchungen. Zudem dient die als Ergebnis der Tauchtauglichkeitsuntersuchung ausgestellte Bescheinigung über die Tauchtauglichkeit des Untersuchten dazu, Dritten – nämlich Tauchscho-

Tauchlehrern und Tauchpartnern – vorgelegt zu werden, damit sich diese von der Tauchtauglichkeit der betreffenden Person überzeugen können und in der Folge darin einwilligen diese auf der Basis tauchen zu lassen bzw. mit ihr zu tauchen. Der Hauptzweck der Tauchtauglichkeitsuntersuchung besteht mithin darin, diesem Personenkreis die Entscheidungsfindung gerade hierüber überhaupt erst zu ermöglichen, so dass die Untersuchung **nicht umsatzsteuerbefreit** ist.

Sofern die untersuchende Person umsatzsteuerbare Umsätze ausführt, wie z.B. aus der Untersuchung auf Tauchtauglichkeit, wird bei ihr jedoch dennoch **keine Umsatzsteuer** erhoben, wenn sämtliche von ihr im vorangegangenen Kalenderjahr getätigten steuerbaren Umsätze insgesamt nicht mehr als 17.500 EUR einschließlich Umsatzsteuer betragen haben und im laufenden Kalenderjahr 50.000,- EUR voraussichtlich nicht übersteigen werden (§ 19 des Umsatzsteuergesetzes – UStG –). Umsatzsteuer-

erfreie Umsätze aus echten ärztlichen Heilbehandlungen zählen in diese Grenzbeträge nicht hinein. Wer als Ärztin/Arzt mit seinen mehrwertsteuerbaren Leistungen unter diesen Grenzbeträgen bleibt, ist mithin nicht verpflichtet, für die Durchführung von Tauchtauglichkeitsuntersuchungen von seinen Patienten Umsatzsteuer zu erheben und diese an das Finanzamt abzuführen. In diesem Fall darf allerdings in den Rechnungen auch keine Umsatzsteuer ausgewiesen werden.

Wer hingegen als Ärztin/Arzt mit seinen gesamten umsatzsteuerpflichtigen Leistungen die vorgenannten Beträge überschreitet, hat für die von ihm durchgeführten Tauchtauglichkeitsuntersuchungen Umsatzsteuer an das Finanzamt abzuführen. Diese sollte dann auch dem Patienten als Endverbraucher in Rechnung gestellt und damit wirtschaftlich letztlich von diesem getragen werden.

Benno Scharpenberg

Anzeige

Lassen Sie sich shanghaien... und arbeiten Sie, wo die dicken Pötte liegen!

Etablierte internistisch-arbeitsmedizinische Partnerpraxis bietet einer dynamischen und belastbaren Kollegin mit ausgeprägtem Interesse an Tauch-, Hyperbar- und Druckluftmedizin in Praxis und Theorie in der Hamburger Hafencity / Shanghaiallee eine Weiterbildungsmöglichkeit in maritim geprägter Arbeitsmedizin sowie in Allgemeinmedizin. Wir begrüßen auch Bewerbungen von männlichen Kollegen...

Näheres über uns und Kontakt unter www.schlaichpartner.de

Argon als Füllgas in Trockentauchanzügen

Diskussion der Kenntnis- und Studienlage

AUTOR

Dr. Dietmar Berndt
(Physiker / EURING)

Öffentlich bestellter u. vereidigter Sachverständiger für „Tauchausrüstungen – Unfallursachenermittlung u. Technikbewertung“, Labordienstleister für TÜV, BG, FTH (GB) zur thermischen Leistungsfähigkeitsmessung v. Tauch- und Überlebensanzügen gemäß EN 14225-xx u. MSC 81.(70)

Email: dietmar_berndt@t-online.de



Auslöser dieses Beitrages ist die einerseits physikalisch zweifelsfrei bessere thermische Isolation von Argon gegenüber Luft sowie die von Abertauchenden von Tauchern seit Jahren geübte Praxis, zur besseren Wärmedämmung Argon an Stelle von Luft als Füllgas für den Trockentauchanzug zu verwenden und, auf der anderen Seite, die veröffentlichte Studienlage, wonach ein solch besserer Wärmedämmeffekt von Argon gegenüber Luftfüllung im Praxistest nicht nachweisbar sei [1,2].

Um diesen ganz offensichtlichen und ebenso eklatanten Widerspruch aufzulösen, bedarf es der Betrachtung der Sachlage aus unterschiedlichen Blickwinkeln:

1. Was ist nach der physikalischen Theorie erwartbar?
2. Was ergibt ein entsprechendes physikalisches, eindeutig definiertes und reproduzierbares Experiment?
3. Worauf basieren die Erfahrungswerte der Argon-Nutzer und

4. Wieso widerspricht die Studienlage scheinbar den physikalischen Sachverhalten sowie der Erfahrung und Handlungsweise einer räumlich weit verbreiteten großen Anzahl von Tauchern über einen langen Zeitraum hinweg?

Was ist nach der physikalischen Theorie erwartbar?

Zur Ermittlung der wärmeenergetischen Bilanz beim Tauchen wird in erster Linie der Wärmeverlust des Tauchers durch den Tauchanzug betrachtet. Dieser wird, neben anderen Parametern, wie z. B. Temperaturgefälle, Austauschfläche, etc. im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit des Materials bestimmt, welches den Taucher von dem umgebenden Wasser isoliert. Je größer die Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK], umso größer ist bei Beibehaltung aller übrigen Parameter der Wärmeverlust. Der direkte Vergleich der hier diskutierten Gase Luft und Argon weist als Tabellenwerte [3] für Luft 0,026 W/mK und für Argon 0,0173 W/mK, für Luft gegen-

über Argon also einen um $\approx 50\%$ höheren Wert aus.

- Es ist mithin im Laborexperiment wie auch im kontrollierten bemannten Praxistest ein deutlicher Unterschied im Wärmeenergieverlust zu erwarten.

Was ergibt ein entsprechendes, eindeutig definiertes und reproduzierbares Laborexperiment?

Der klassische Weg, Wärmeenergieverlust quantitativ zu bestimmen, ist die Messung mittels eines Kalorimeters. Um allerdings Isolationsmaterialien, wie z. B. Neopren für Tauchanzüge unter Wasser und auch auf unterschiedlichen Tauchtiefen messen zu können, bedarf es gegenüber einem handelsüblichen Kalorimeter einer Reihe von Modifikationen.

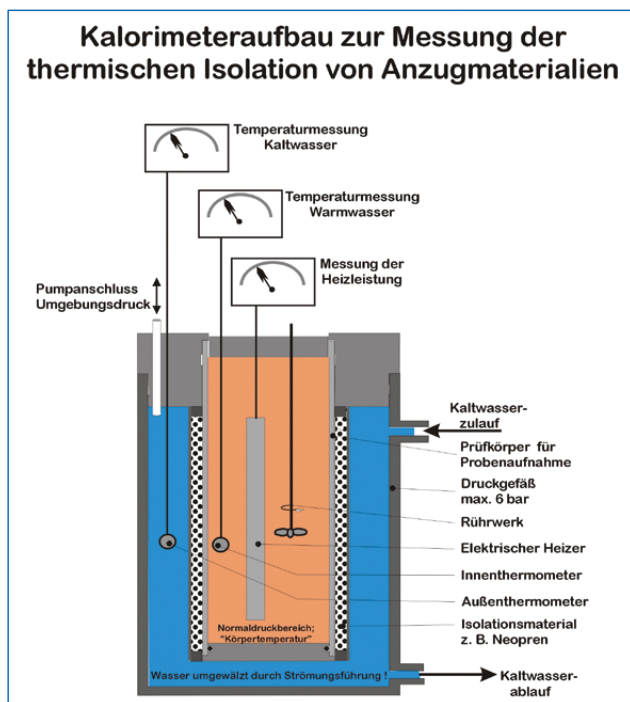


Abbildung 1

Abb. 1 zeigt ein Kalorimeter, wie es bei der Baumusterprüfung von Tauchanzügen im Rahmen der PSA-Richtlinie 89/686 EWG (PSA = Persönliche Schutzausrüstung) Anwendung findet. Innerhalb eines wasserdurchströmten Druckgefäßes befindet sich ein zweites, seinerseits mit Wasser gefülltes Gefäß. Die Druckfestigkeit der Gefäße ist erforderlich, um Tauchtiefen bis zu 50 m messtechnisch darstellen zu können. Die zu messende Probe wird form- und materialschlüssig außen um den Prüfkörper zur Probenaufnahme gelegt. In den Gefäßen befinden sich

Temperatursensoren und Aufzeichnungsgeräte. Beide Wasservolumina müssen bewegt werden, damit eine homogene Temperaturdurchmischung sichergestellt ist. Dies geschieht im äußeren Gefäß durch die erzwungene Strömung und im inneren Gefäß durch ein Rührwerk.

Die Messaufgabe besteht nun darin, durch den elektrischen Heizer soviel (elektrische) Heizenergie einzubringen, dass eine konstante Temperatur im Prüfkörperwasser gegenüber der niedrigen Wassertemperatur im äußeren Gefäß beibehalten werden kann. Vorzugsweise wird hier ein Temperatur-Wertepaar genutzt, das die tatsächlichen Verhältnisse bei einem Kaltwassertauchgang möglichst realistisch nachbildet. Die Temperaturwerte von $\approx 4 \pm 0,2^\circ\text{C}$ in A und $\approx 30 \pm 0,2^\circ\text{C}$ in B haben sich mittlerweile als Standard etabliert.

Die elektrische Energie, die, abhängig von den thermischen Isolationseigenschaften der zu messenden Probe, erforderlich ist, um gegen die Umgebungswassertemperatur von ca. 4°C die Innentemperatur von ca. 30°C dauerhaft stabil zu halten, kann wegen der physikalischen Äquivalenz unterschiedlicher Energieformen in Wärmeenergie umgerechnet werden.

Um allerdings die thermische Isolationswirkung einer Gasschicht zu messen, bedarf es am oben beschriebenen Kalorimeter einiger weiterer technischer Anpassungen. Insbesondere muss eine Membran in einem definierten Abstand gasdicht um die Außenwand des Prüfkörpers installiert werden (Abb. 2). Das so entstandene Volumen zwischen Außenwand des Gefäßes und der Membran kann nun druckkontrolliert mit dem zu prüfenden Gas gefüllt und nach den selben Maßgaben wie z. B. zuvor eine Neoprenprobe vermessen werden.

Derart unter definierten Verhältnissen gemessene Gasfüllungen mit Luft bzw. Argon zeigen den erwarteten Unterschied in dem thermischen Isolationsverhalten dieser beiden Gase. Abb. 3 [4] zeigt den tiefenabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten k [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]. Gegenüber der Wärmeleitfähigkeit λ hat die Darstellung des Wärmedurchgangskoeffizienten k den Vorteil, dass sie auf 1 m^2 Übergangsfläche normiert eine direkte Vergleichbarkeit von Prüflingen unterschiedlicher Materialien, Dicke, Leitfähigkeit, etc. rlaubt. Von Prüflingsmustern also, wie sie im Tauchanzug tatsächlich verbaut sind. Zudem ist der Wärmedurchgangskoeffizient die direkte Entsprechung zum physiologisch relevanten Wärmeenergieverlust beim Tauchen.

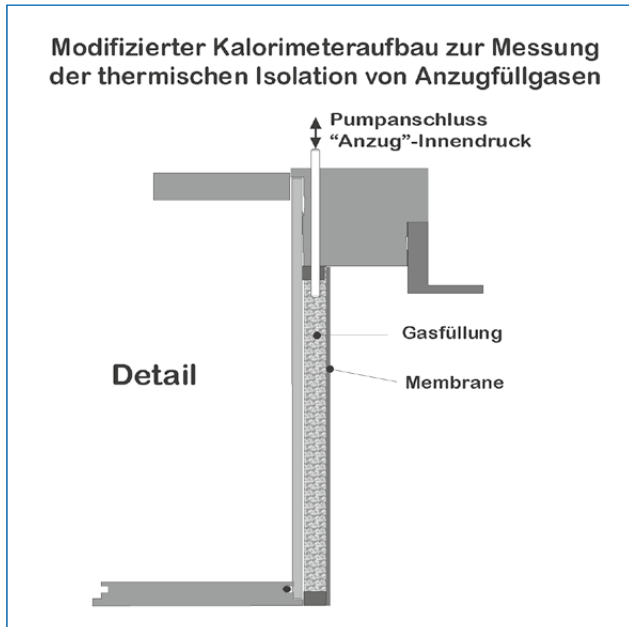


Abbildung 2

In Abb. 3 ist der signifikant höhere Wärmeenergieverlust durch die Luftschicht gegenüber einer gleich dicken Argonschicht augenfällig. Tatsächlich beträgt der Wärmeverlust durch die Luftschicht unter Atmosphärenbedingungen mit $7,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ recht genau

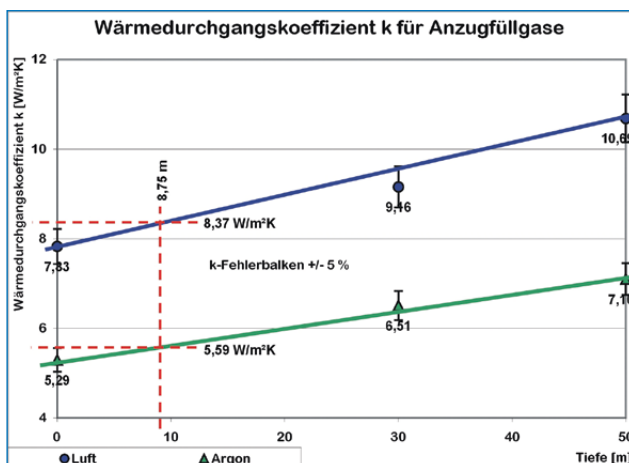


Abbildung 3

50% mehr gegenüber der Argon-Füllung mit einem Wärmeenergieverlust von $5,29 \text{ W/m}^2\text{K}$. Diese Differenz setzt sich mit zunehmender Tauchtiefe bei konstanter Gasschichtdicke (dies sind die realistischen Betriebsbedingungen eines Trockentauchanzugs = KVA „Konstantvolumenanzug“) im gleichen Verhältnis fort. So beträgt der Wärmeenergieverlust durch die Test-Luftschicht auf 50 m nunmehr $\approx 10,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, durch Argon dagegen lediglich

$7,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die rot gestrichelten Linien und die dazugehörigen Werte werden weiter unten besprochen.

Dass der Wärmeverlust durch eine reine Gasschicht selbst bei konstanter Schichtdicke mit der Tiefe ansteigt, ist eine Folge der zunehmenden Gasdichte $\rightarrow$ mehr Moleküle im konstanten Volumen $\rightarrow$ mehr Stöße / Zeit- und Flächeneinheit $\rightarrow$ steigende Impulsübertragung $\equiv$ steigende Wärmeleitung.

- Unter kontrollierten und reproduzierbaren Bedingungen eines Laborexperimentes zeigt sich bei Atmosphärenbedingungen der Unterschied im Wärmeenergieverlust zwischen Luft und Argon quantitativ geradezu lehrbuchhaft gemäß den Tabellenwerten.
- Mit steigender Tauchtiefe steigt der Wärmeverlust für beide Gase gleich proportional an. Physiologisch relevant ist der absolute Wärmeenergieverlust, was für die Betrachtungen weiter unten von besonderer Bedeutung ist.
- Im Übrigen wird auch in der hier behandelten Studie [2] ein - allerdings nur qualitativer - Versuch mit einer mit Temperatursensoren bestückten „thermischen Puppe“ zitiert, der den „signifikanten Vorteil für Argon“ als Isolationsgas ebenfalls bestätigt.

Praktische Erfahrungen mit Argon

Beim Tauchen, insbesondere beim so genannten „Technischen Tauchen“, also bei besonders tiefen und langen Tauchgängen, häufig in kaltem Wasser, finden unterschiedliche Reingase und Gasgemische für die Atmung und Tarierung Anwendung. Die Erfordernis, auch den Trockentauchanzug als KVA mit Gas zu befüllen, lenkte die Aufmerksamkeit bald auf die Wärmeisolationseigenschaften der unterschiedlichen Gase.

Solange nur mit Druckluft getaucht wird, stellt sich die Frage nicht so dringend, spätestens aber, wenn andere Gase, wie z. B. Heliumanteile im Atemgas verwendet werden, ist wegen der mit $\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$ sehr hohen Wärmeleitfähigkeit des Heliums (nahezu 6-fach höher als bei Luft) insbesondere bei Heliumanteilen von 30% oder höher eine Anzugbefüllung mit diesem Gasgemisch nicht zu empfehlen; z. B. Lit. [5]. Also wurden Gase gesucht, die gegenüber Luft einen Zusatznutzen hinsichtlich Wärmeisolation aufweisen. Nach den reinen Tabellenwerten bietet

sich eine ganze Reihe von möglichen Gasen, wie z. B. Krypton, Xenon, Butan, Kohlendioxid, Methylchlorid, Argon, etc. an. Allerdings scheiden außer eben Argon die alternativen Gase wegen Seltenheit / Kosten / Gaslogistik, Brennbarkeit, Hautirritationen oder Giftigkeit aus.

- Seit der zunehmenden Verbreitung des „Technischen Tauchens“ hat sich Argon als Füllgas für den Trockentauchanzug als ein Standard etabliert [5,6] und es wird vom bei weitem überwiegenden Teil der Taucher von einem spürbar positiven Kälteschutzeffekt berichtet.

Gleichwohl ist zu konstatieren, dass es einzelne Stimmen gibt, die diesen Effekt für sich nicht bestätigen können, z.B. Lit. [5]. Wie das, wenn es doch objektiv die Unterschiede gibt?

- Hier wird eine der Schwachstellen bemannter Tests sichtbar, bei denen subjektive Einschätzungen in das Testergebnis einfließen. So, dies ist auch unsere Alltagserfahrung, können unterschiedliche Individuen objektiv gleiche thermische Verhältnisse durchaus vollkommen unterschiedlich empfinden und beurteilen.

Eine weitere Imponderabilie ist, wie weiter unten ausgeführt, die benutzte Tauchausrüstung.

Wieso widerspricht die Studienlage scheinbar den physikalischen Sachverhalten?

Hintergrund

Studien wie die hier in Frage stehenden ohne jedweden subjektiven Einfluss und absolut determiniert und reproduzierbar durchzuführen, ist überaus schwierig, wenn nicht nachgerade unmöglich. Neben den bereits erwähnten und weiter unten noch näher beleuchteten subjektiven Einflüssen geht eine große Anzahl von Parametern in ein experimentelles Setup für eine solche Studie ein. In erster Linie sind die Beiträge für die Wärmebilanz einer Testperson

Körperinneres:

+ Wärmeproduktion

Körperoberfläche:

- Leitungseffekte (Konduktion)
- Strömungseffekte (Konvektion)
- Strahlungseffekte (Radiation)

- Verdunstungseffekte (Evaporation - Verdunstungskälte)

Atmung:

- Atemluftbefeuchtung (Verdampfungswärme)
- Atemluftwärmerückgewinnung (Konduktion)

Weitere Effekte:

- Wasserschichtwärmerückgewinnung in Nasstauchanzügen
- Ausscheidungen

Spannend ist nun, dass jeder einzelne Beitrag seinerseits von einer ganzen Reihe von Parametern abhängig ist, wie z. B. von der Statur und der Momentanform der Testperson, der geleisteten Arbeit, der Tauchtiefe, der Art des Tauchgerätes (SCUBA oder Regenerationstauchgerät), der Wassertemperatur, der Art des Tauchanzuges und eben schließlich auch von dem Anzugfüllgas.

Damit ist nachvollziehbar, dass die ganz wesentlichen Grundbedingungen, ohne die jedes (natur-)wissenschaftliche Experiment zur Makulatur wird:

1. geeignete Fragestellung, um das Problem zu erfassen und zu beschreiben,
2. geeigneter experimenteller Setup,
3. geeigneter Parametersatz, der sicherstellt, dass die Experimentdeterminanten nicht am oberen oder unteren Rande oder gar außerhalb der Messbereiche verlaufen und schließlich
4. möglichst ein-eindeutige Parameterkorrelationen, zumindest aber eindeutige Reproduzierbarkeit des kompletten Experimentes

vorliegend ganz besonders schwierig sicherzustellen sind.

Im Folgenden sollen die Studien [1,2] theoretisch nachmodelliert werden, um den Effekt der Füllgase zu quantifizieren und ggf. nachvollziehen zu können, wieso der „Argoneffekt“ nicht bestätigt wurde. Hierzu bedarf es eines Modells für eine repräsentative Testperson aus der Gruppe der Studienteilnehmer sowie der Kenntnis der wärmetechnischen Eigenschaften der in den Studien verwendeten Tauchanzüge.

Wegen der relativ geringen Beiträge zur Gesamtwärmebilanz und zur Vereinfachung der nachfolgenden Berechnungen werden Strahlungs- und Transpirationseffekte (Verdunstungskälte) sowie thermische Effekte nach Diurese nicht einbezogen; Erwärmung einer Wasserschicht ist bei einem Trockentauchanzug bestimmungsgemäß nicht erforderlich. Eine detaillierte und quantitative Betrachtung aller wärmebilanzwirksamen Effekte wurde bereits im Caisson publiziert [7].

Diskussion Studie 1 (Norwegen)

Experimentelle Randbedingungen der norwegischen Untersuchung:

- Medizinisch gesunde und trainierte Marinetaucher
- Mittleres Körpergewicht 80,8 kg
- Tauchgerät SCUBA 2 x 10 l, 200 bar
- Taucher bekleidet mit 6,5 mm Poseidon Neopren-Trockentauchanzug und Faserpelz-Unterzieher
- Mittlere Wassertemperatur + 2°C
- Tauchtiefen ca. 7,5-10 m → im Mittel 8,75 m.
- Tauchprozedur: Ruhiges, möglichst inaktives Liegen am Grund des Wasserkörpers
- Je ein 60-minütiger Tauchgang mit Ar- und Luftfüllung (einfach blind) in 24-stündigem Abstand
- Temperaturmonitoring während der Tauchgänge: Rektaltemperatur, Hauttemperatur an mehreren Stellen.
- In 15-minütigem Abstand wurden die Taucher nach ihrem Wärme-/Kälteeindruck auf einer 6-teiligen Skala von „sehr warm“ bis „unerträglich kalt“ befragt.

Die Kenntnis dieses Datensatzes sowie der Wärmedurchgangszahlen für den bei den Tests benutzten Tauchanzug auf verschiedenen Tiefen erlaubt eine für den vorliegenden Zweck hinreichend genaue Nachrechnung des experimentellen Setups und in der Folge einen Vergleich mit alternativen Setups. Hierfür greife ich auf Archivdaten von Messergebnissen des hier verwendeten Anzugstyps zurück [4].

Im Folgenden werden die Rechnungen nur ein Mal exemplarisch explizit entwickelt und vorgestellt. Die darauf folgenden Betrachtungen basieren auf denselben Grundlagen und Rechenregeln und werden nur im Resultat wiedergegeben.

Wärmeverlust über die Atmung - Erwärmung der Atemluft

Da bei einem SCUBA mit Druckluft auf Grund des Joule-Thomson-Effekts die Atemluft in der 1. Stufe des Atemreglers sehr stark abkühlt, bis unter - 25°C sind durchaus möglich (obere, rote Temperaturkurve „1. Stufe“ in Abb. 4) [8], kommt die Atemluft nach teilweiser Erwärmung im Mitteldruckschlauch in der 2. Stufe mit ca. - 6°C an und wird mit dieser Temperatur eingeatmet (untere, blaue Temperaturkurve „Kipphebel“ in Abb. 4).

Da die Luft im Wesentlichen mit Kerntemperatur von ca. +37°C ausgeatmet wird, muss sie in der Lunge

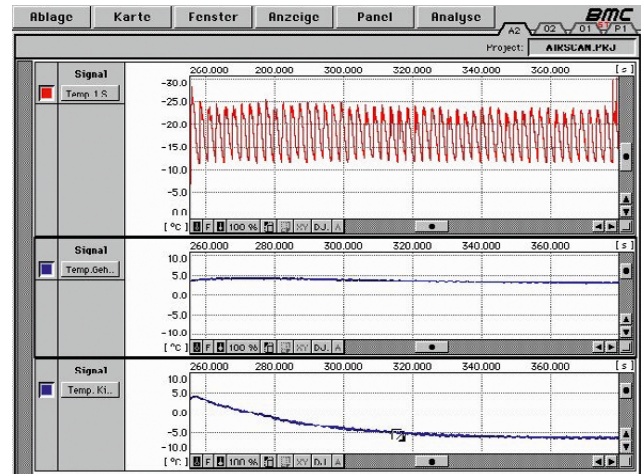


Abbildung 4

erwärmt werden. Um die für den einstündigen Tauchgang hierfür erforderliche Wärmemenge zu ermitteln, muss das zu erwärmende Luftvolumen angesetzt werden. Dieses lässt sich über das AMV der „mittleren Testperson“ errechnen. Hierzu bedarf es zunächst der Körperoberfläche A_K , die sich gemäß der empirischen Formel

$$A_K = 0,202 \times G^{0,425} \times H^{0,725}$$

mit G = Körpermasse [kg] und H = Körpergröße [m] errechnen lässt [9].

Das mittlere Körpergewicht der Testpersonen wurde mit 80,8 kg angegeben, als mittlere Körpergröße nehme ich 1,8 m an. Mit diesen Modelldaten ergibt sich für $A_K = 2,0 \text{ m}^2$.

Daraus nun lässt sich bei bekannter Arbeitsleistung das AMV der Testperson feststellen [10,11].

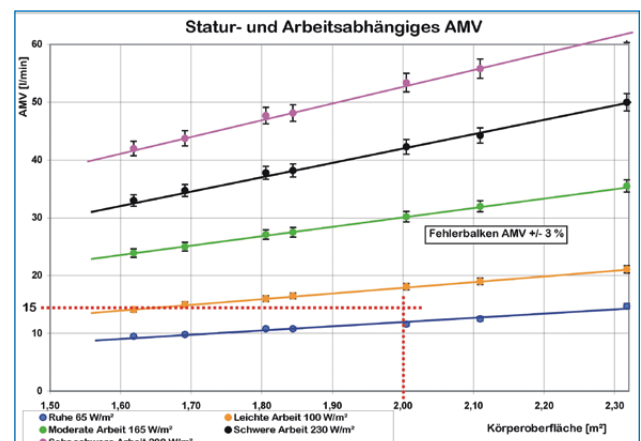


Abbildung 5

Abb. 5 weist unter den oben genannten Bedingungen für die Unterwasseraktivitäten zwischen Ruhe (65 W/m²) und leichter Arbeit (100 W/m²) im Mittel also $\approx 82,5$ W/m² ein AMV von ≈ 15 l/min aus. Über die Zeit des Testtauchgangs von einer Stunde bedeutet dies ein veratmetes Luftvolumen von 900 l unter Atmosphärenbedingungen, auf der mittleren Tauchtiefe von 8,75 m mithin $900 \text{ l} \times 1,875 \text{ bar} \approx 1688 \text{ barl}$.

Um diese Luftmenge nun von -6°C auf + 37°C zu erwärmen, bedarf es der Wärmeenergie Q [kJ] von allgemein

$$\Delta Q = c \times m \times \Delta T$$

für Gase speziell

$$\Delta Q = c_p \times \rho_{NN} \times p_{\text{Tiefe}} / p_{NN} \times V_{\text{Luft (Tiefe)}} \times \Delta T = 176,78 \approx 177 \text{ kJ}$$

mit

c_p = Wärmekapazität bei $p = \text{const.}$ [kJ/kgK]
 ρ_{NN} = Dichte bei Atmosphärenbedingungen [kg/m³]

$p_{\text{Tiefe}} / p_{NN}$ = tiefenabhängige Druckfaktor [bar]

$V_{\text{Luft (Tiefe)}}$ = auf Tiefe veratmetes Volumen [m³]

ΔT = Temperaturunterschied vor/nach Ein-/Ausatmung [K]

Wärmeverlust über die Atmung - Befeuchtung der Atemluft

Druckluft zum Atmen bei einem SCUBA muss der DIN EN 12021 [12] genügen. Darin ist u.a. bei 200 bar Flaschendruck eine maximale Luftfeuchte von < 50 mg/m³ bei 20°C gefordert. Wird diese Luft auf Umgebungsdruck entspannt, sinkt die absolute Luftfeuchte entsprechend. Da der Flaschendruck aber nicht über den gesamten Testtauchgang konstant 200 bar ist, muss der Mittelwert festgestellt werden. Es ist das Anfangsgasvolumen mit $2 \times 10 \text{ l} \times 200 \text{ bar} = 4000 \text{ barl}$ bekannt, ebenso der Luftverbrauch beim Testtauchgang mit 1697 barl. Daraus ergibt sich während des Testtauchgangs für den mittleren Flaschendruck

$$p_{\text{mittel}} = ((4000 \text{ barl} - 1697 \text{ barl}) + 4000 \text{ barl}) / 2 / 20 \text{ l} \approx 158 \text{ bar}$$

Der Umgebungsdruck bei dem Testtauchgang beträgt 1,875 bar, die absolute Feuchte nunmehr also

$$F_{\text{abs (U)}} = F_{\text{abs (200)}} \times 1,875 \text{ bar} / 158 \text{ bar} = 50 \text{ mg/m}^3 \times 1,875 \text{ bar} / 158 \text{ bar} \approx 0,59 \text{ mg/m}^3$$

mit

$F_{\text{abs (U)}}$ = absolute Luftfeuchte bei Umgebungsdruck [mg/m³]

$F_{\text{abs (200)}}$ = absolute Luftfeuchte bei 200 bar [mg/m³]

Dies entspricht bei Atemwegstemperatur einer relativen Luftfeuchte von

$$F_{\text{rel (U)}} = 100 \% \times F_{\text{abs (U)}} / F_{\text{max (37°C)}} = 100 \% \times 0,59 \text{ mg/m}^3 / (43,95 \times 10^3) \text{ mg/m}^3 \approx 0,0013 \%$$

mit

$F_{\text{rel (U)}}$ = relative Luftfeuchte bei Umgebungsdruck [%]

$F_{\text{max (37°C)}}$ = maximale Luftfeuchte bei 37°C [mg/m³]

Dies ist absolut trockene Luft, die in den Atemwegen auf $F_{\text{rel (U)}} \approx 100\%$ angefeuchtet werden muss. Die hierfür erforderliche Wärmeenergie entspricht der Verdampfungswärme; allgemein:

$$\Delta Q [\text{kJ}] = r [\text{kJ/kg}] \times m [\text{kg}]$$

mit

r = spezifische Verdampfungswärme für Wasser [kJ/kg]

Speziell gilt für die erforderliche Wasserdampfmenge (die Luftbefeuchtung ist druck- bzw. tiefenunabhängig!):

$$\Delta Q [\text{kJ}] = r [\text{kJ/kg}] \times F_{\text{max (37°C)}} [\text{kg/m}^3] \times V_{\text{Luft NN}} [\text{m}^3]$$

$$\Delta Q = 2257 \text{ kJ/kg} \times 43,95 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 \times 0,9 \text{ m}^3 = 89,28 \text{ kJ} \approx 89 \text{ kJ}$$

mit

$V_{\text{Luft NN}}$ = Luftvolumen unter Atmosphärenbedingungen [m³]

Wärmeverlust durch den KVA und die Gasfüllung

Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen seien die thermischen Verhältnisse zunächst modellhaft betrachtet. In Abb. 6 links (die Grafik

rechts „Membran-KVA“ wird weiter unten benötigt) sind die relevanten Schicht- und Temperaturverhältnisse schematisch dargestellt (Schichtungen nicht proportional / maßstäblich):

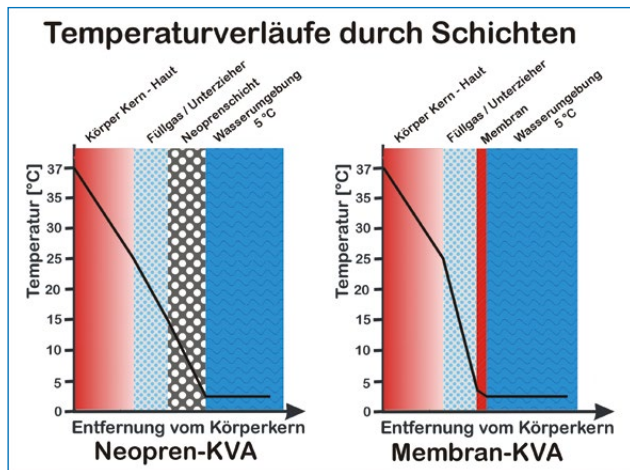


Abbildung 6

Bei etwa vergleichbaren Verhältnissen stellt sich im KVA eine Hauttemperatur von ca. 25 °C ein [13]. Daraufhin folgt eine Gasschicht, wahlweise Luft oder Argon, die zum im Mittel 2 °C warmen Wasser hin mit dem Neoprenmaterial des KVA abgeschlossen wird. Das heißt, die Temperatur fällt von 25 °C durch die Schichten hindurch auf + 2 °C ab. Je nach thermischem Isolationsvermögen der beiden Schichten Gas / Neopren kann der Temperaturabfall darin jeweils anteilig unterschiedlich sein.

Während die Dicke des Neoprenmaterials bekannt ist, muss für die Schichtdicke des Füllgases eine plausible Annahme getroffen werden: zuvor wurde festgestellt, dass der Taucher und mithin der KVA eine Oberfläche von $A = 2 \text{ m}^2$ aufweist. Dies gilt dann zwingend auch für die Gasfläche. Nimmt man eine Gasfüllung von $V = 6 \text{ l}$ an (diese muss durch Tariergewichte kompensiert werden, kann also nur in vernünftigen Grenzen gesteigert werden), so ergibt sich eine effektive „Gasdicke“ D von im Mittel $V / A = 3 \text{ mm}$.

Mit diesen Vorgaben und der Kenntnis der Neopren-daten kann nun der Wärmeverlust des Tauchers bei Luftfüllung berechnet werden:

a) Wärmedurchgangskoeffizienten einzeln

Aus Tabellenwerten ergibt sich für Atmosphärenbedingungen [3]:

$$k_{\text{Luftschicht}} [\text{W/m}^2\text{K}] = \lambda [\text{W/mK}] / l [\text{m}] = 0,026 \text{ W/mK} / (3 \times 10^{-3} \text{ m}) = 8,666 \approx 8,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Für die Tiefenkorrektur auf 8,75 m (siehe rot gestrichelte Linien in Abb. 3 - die Gasschichtdicken bei der Kalorimetermessung und dem hier angenommenen Modell sind unterschiedlich und so auch die k -Werte!) ergibt sich ein Faktor $8,37 / 7,83 = 1,069$ mithin

$$k_{\text{Luftschicht}} (\text{Tiefe}) = 8,7 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1,069 \approx 9,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Aus Messdaten für das Neoporenmaterial des KVA (siehe blaue Kurve in Abb. 7 - die rote Kurve „Membran“ wird weiter unten benötigt) [4] ergibt sich:

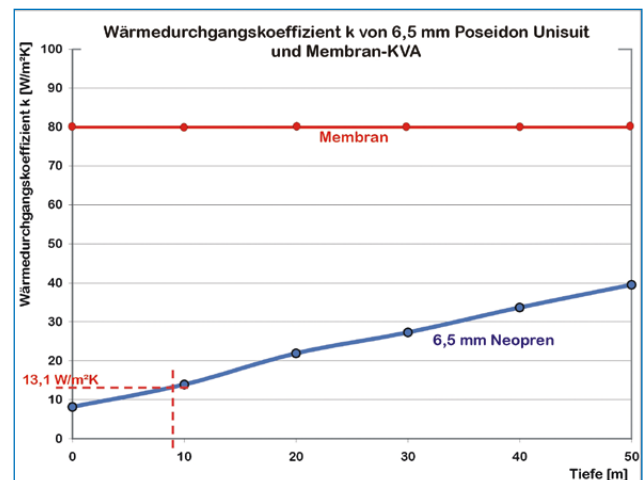


Abbildung 7

$$k_{\text{Neopren}} (\text{Tiefe}) = 13,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

b) Effektiver Wärmedurchgangskoeffizient

Um den resultierenden, effektiven, Wärmedurchgangskoeffizienten zu berechnen, müssen die einzelnen thermischen Widerstände R_{ct} addiert werden. Wegen

$$R_{\text{ct}} = 1/k$$

gilt (zur Vereinfachung ohne Einheiten)

$$R_{\text{ct ges}} = R_{\text{ct Luftschicht}} + R_{\text{ct Neopren (Tiefe)}} = \frac{1}{k_{\text{Luftschicht}}} + \frac{1}{k_{\text{Neopren (Tiefe)}}} = \frac{1}{9,26} + \frac{1}{13,1} = 0,184$$

Und damit

$$k_{\text{eff}} = 1 / R_{\text{ct ges}} = 5,427 \approx \underline{5,43 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Daraus ergibt sich wegen

$$\Delta Q [\text{J}] = k_{\text{eff}} [\text{W/m}^2\text{K}] \times A [\text{m}^2] \times t [\text{s}] \times \Delta T [\text{K}]$$

mit
t = Tauchzeit [s]

ein Wärmeverlust über Wärmeleitung durch den KVA mit Luftfüllung von

$$\Delta Q [\text{J}] = 5,43 \text{ W/m}^2\text{K} \times 2 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ s} \times 23 \text{ K} = 899,2 \text{ kJ} \approx \underline{899 \text{ kJ}}$$

Resultierender Gesamt-Wärmeverlust

Dieser stellt sich aus der Summe aus Wärmeverlusten durch Atmung sowie durch Wärmeleitung dar, also zu

$$177 \text{ kJ} + 89 \text{ kJ} + 899 \text{ kJ} = \underline{1165 \text{ kJ}}$$

Argonfüllung statt Luft

Nach den vorherigen Betrachtungen lässt sich nun sehr einfach ein Vergleich mit einer Argonfüllung an Stelle von Luft anstellen. Da alle anderen Parameter des Testtauchgangs unverändert bleiben, hilft nun eine einfache Verhältnisrechnung betreffend das alternative Füllgas weiter:

Mit Verweis nochmals auf Abb. 3 und nach dem oben beschriebenen Rechenweg ergibt sich nun an Stelle des Luft-Wertes mit Tiefenkorrektur für Argon als Füllgas:

$$k_{\text{Ar-Schicht (Tiefe)}} \approx \underline{6,09 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Die Daten für das Neoprenmaterial des KVA bleiben mit 13,1 W/m²K unverändert. Der effektive Wärmedurchgangskoeffizient ergibt sich damit zu

$$R_{\text{ct ges}} = \frac{1}{k_{\text{Ar-Schicht}}} + \frac{1}{k_{\text{Neopren (Tiefe)}}} = \frac{1}{6,09} + \frac{1}{13,1} = 0,2404$$

Und damit

$$k_{\text{eff}} = 1 / R_{\text{ct ges}} \approx \underline{4,16 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Daraus ergibt ein Wärmeverlust durch den KVA mit Argonfüllung von

$$\Delta Q [\text{J}] = 4,16 \text{ W/m}^2\text{K} \times 2 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ s} \times 23 \text{ K} = 688,81 \text{ kJ} \approx \underline{689 \text{ kJ}}$$

Der resultierende Gesamt-Wärmeverlust mithin

$$177 \text{ kJ} + 89 \text{ kJ} + 689 \text{ kJ} = \underline{955 \text{ kJ}}$$

Wieso können die Testpersonen diesen Unterschied nicht feststellen?

Zunächst ist der Unterschied im Gesamt-Wärmeverlust von ca. -17% bei Argon- gegenüber Luftfüllung objektiv nicht unerheblich. Für eine weitere Bewertung der subjektiven Urteile der Testpersonen, wie aber auch der objektiven Messergebnisse (Haut- und Rektaltemperatur) müssen jedoch zwei praktisch nicht normierbare Faktoren betrachtet werden:

1. Die individuelle physische Disposition der Testpersonen
2. Die physiologischen Abhängigkeiten des Wärmeenergiehaushalts beim Menschen

Die individuelle physische Disposition der Testpersonen

Dieser Punkt kann, ja muss, kurz abgehandelt werden, da sich physische Dispositionen einer strikten Quantifizierbarkeit entziehen. An dieser Stelle hierzu nur soviel: Bereits eingangs wurde das z.Tl. massiv unterschiedliche Empfinden identischer thermischer Verhältnisse durch Individuen angesprochen. Hinzu mag kommen, dass die Testpersonen „trainierte Marinetaucher“ waren. Menschen also, denen auf Grund von Selektion und Training gegenüber dem Bevölkerungs(Taucher-)durchschnitt eine gewisse Unempfindlichkeit, insbesondere auch gegenüber thermischen Gegebenheiten unterstellt werden darf. Dies gilt erst recht, wenn die Versuche für die Studie

unweit der thermischen Komfortzone durchgeführt wurden. Hierzu ist nun der nächste Punkt detaillierter zu betrachten.

Physiologische Abhängigkeiten des Wärmeenergiehaushalts beim Menschen

Wesentlich für das Wärme-/Kälteempfinden auf Dauer ist der Netto-Wärmeenergieabfluss, also die Differenz zwischen Wärmeproduktion und Wärmeabfluss. Steigt der Wärmeabfluss über das thermische Gleichgewicht, dann steigt auch die Wärmeproduktion, jedoch ist diese immer geringer als der Wärmeabfluss und je weiter sich dieser vom Gleichgewicht entfernt, um so größer wird die absolute Differenz, also der physiologisch wirksame Netto-Wärmeabfluss. Abb. 8 und 9 zeigen die Verhältnisse gemäß Lit. [14], jedoch auf die Körperstatur der oben betrachteten „mittleren Testperson“ umgerechnet. Hier ist nun abzulesen, dass z. B. eine ungeschützte

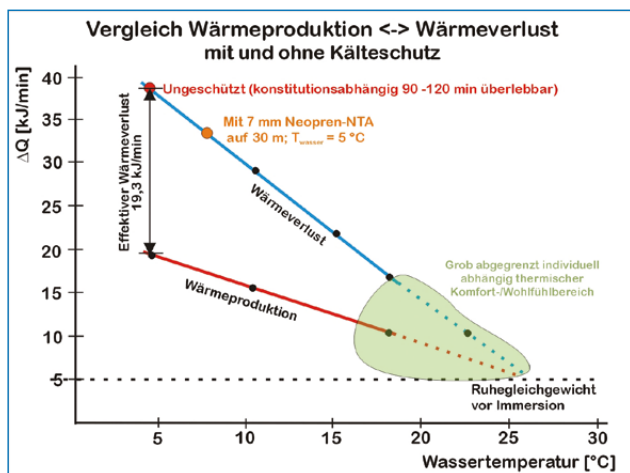


Abbildung 8

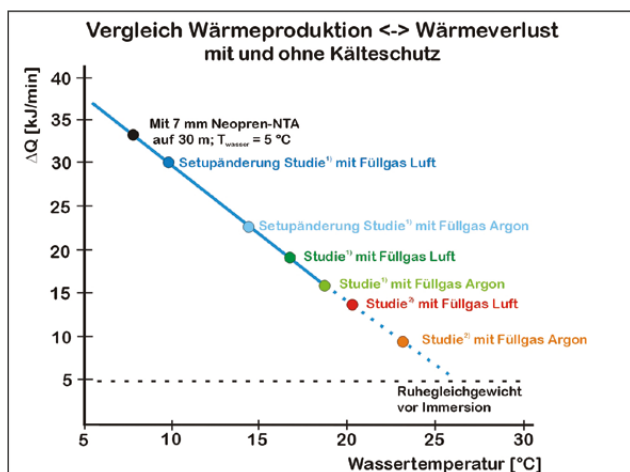


Abbildung 9

Person in ca. 5°C warmem Wasser bei einem Netto-Wärmeenergieverlust von ca. 19,3 kJ/min konstitutionsabhängig nur 90-120 Minuten überleben kann, Kälteschutz tut also Not. Bereits ein Tauchgang mit einem 7 mm-Nasstauchanzug auf 30 m Tiefe in ebenfalls 5°C warmem Wasser kann erfahrungsgemäß, wenn thermisch auch nicht sehr komfortabel, für durchaus eine Stunde durchgeführt werden, ohne ernsthaft körperlichen Schaden zu nehmen. Der grün unterlegte Bereich markiert grob die - individuell unterschiedlichen - Grenzen des thermischen Komfort-/Wohlfühlbereiches für einen einstündigen Tauchgang.

Die hier in Frage stehenden Testtauchgänge wurden für die Tauchdauer von einer Stunde nahe / in der thermischen Komfortzone durchgeführt (grüne Markierungen / Beschriftungen in Abb. 9).

Dies bedeutet, den Testpersonen war bereits mit Luftfüllung „angenehm warm“. Da macht auch der physikalisch nachweisbare Unterschied Luft - Argon nichts mehr aus. Dies gilt nicht nur für das subjektive Empfinden, sondern eben auch für die der Messung zugänglichen Werte für Rektal- und Hauttemperatur.

Zudem war auf Grund der geringen Tauchtiefe und der Dicke des Neoprentauchanzuges bereits dessen anteiliges Isolationsvermögen mit knapp 60% bei Luftfüllung und gar knapp 70% bei Argonfüllung so gut, dass der Unterschied zwischen den Gasfüllungen weitgehend in den Hintergrund rückte.

Insofern war das experimentelle Setup für die Fragestellung absolut ungeeignet. Eine aussagekräftigere Studie wäre bei Veränderung der Parameter, wie z. B. deutliche Verlängerung der Tauchzeit (physiologische Toleranz des Wärmeenergieabflusses über die Zeit), deutlich größere Tauchtiefe (Reduktion des Beitrags der thermischen Isolation des KVA-Materials) oder die Benutzung eines Membran-KVA (keine wesentliche thermische Isolationseigenschaft des KVA-Materials) oder Kombinationen daraus durchaus möglich gewesen.

Lässt sich ein solcher Versuch sinnvoll durchführen?

Beispielhaft sei folgender erfolgversprechender experimenteller Setup durchgespielt: Bei Beibehaltung aller übrigen individuellen und technischen Parameter:

1. Verwendung eines Membran-KVA. Hierbei übernimmt die Membran, anders als ein Neoprenmaterial, praktisch keine Wärmedämmung; die gesamte effektive Wärmedämmung findet in der Füllgasschicht statt (siehe nochmals Abb. 6, rechts).
2. Tauchtiefe 15 m (maximale Tiefe, in der die Tauchzeit von 60 min noch sicher innerhalb der Nullzeit liegt - nach z. B. DECO 2000: 15 Tiefe → 72 min).

Bei einem Testtauchgang unter diesen Voraussetzungen ergibt sich bei Luftfüllung ein Gesamtwärmeverlust von 1827 kJ, also gegenüber der Studie 57 % mehr und damit eine deutliche Verschiebung weg vom thermischen „Wohlfühlbereich“ (blaue Markierungen/Beschriftungen in Abb. 9. Bei Verwendung von Argon als Füllgas sinkt der Gesamtwärmeverlust auf ca. 1374 kJ, also um 453 kJ.

Nicht nur durch die Verschiebung zu deutlich spürbarerem Wärmeverlust hin sondern auch durch die gegenüber der durchgeführten Studie (210 kJ) mit einem Unterschied von 453 kJ mehr als doppelt so große Wärmeverlustdifferenz zwischen Luft- und Argonfüllung wäre nach objektiven Messergebnissen und subjektivem Empfinden der erwartbare Unterschied deutlich festgestellt worden.

Nur der Vollständigkeit halber sei hier noch erwähnt, dass die „Tec-Taucher“ in aller Regel weder auf 8,75 m noch nur für eine Stunde, sondern eher auf 80 m und - mit Austauschprozeduren - für mehrere Stunden unterwegs sind. Vom negativen thermischen Effekt der Atemgaskomponente Helium noch ganz abgesehen. Im Übrigen kommen auf Grund der Robustheit und der geringeren Packmaße besonders in diesem Bereich überwiegend Membran-KVA zum Einsatz.

Diskussion Studie 2 (Niederlande)

Immerhin wurden, wie oben vorgeschlagen, bei dieser Studie (Gummi-)Membran-KVA eingesetzt. Sollte sich hier nicht ein deutliches Studienergebnis im Sinne der Erwartung einstellen?

Experimentelle Randbedingungen dieser Untersuchung:

- Marinetaucher Spezialkräfte
- Mittlere Körpermasse 87,0 kg
- Mittlere Körpergröße 183 cm
- Regenerationstauchgerät LAR VII O2
- Taucher bekleidet mit (Gummi-)Membran-KVA und wollenem Unterzieher

- Mittlere Wassertemperatur +13°C
- Tauchtiefe ca. 3 m.
- Tauchprozedur: Aufrechte Position, sitzend auf einer Bank am Grund des Wasserkörpers
- Je ein 60-minütiger Tauchgang mit Argon- und Luftfüllung (einfach blind)
- Temperaturmonitoring während der Tauchgänge: Kerntemperatur über Schlucksonde
- Direkt vor, zu Tauchgangsmitte und direkt danach Abfrage des subjektiven Wärme-/Kälteeindrucks mittels Fragebogen.

Um es kurz zu machen und ohne explizite Ausführung der Rechengänge: Tatsächlich ist dieses experimentelle Setup noch weit ungeeigneter für die Fragestellung, als jenes in der norwegischen Studie:

1. Die Tauchtiefe mit nominell 3 m, aber bei auf einer Bank am Grund sitzenden Menschen von im Mittel 1,83 m Körpergröße effektiv maximal 2,5 m (für die Berechnung angenommen), ist bei weitem zu gering.
 2. Die Wassertemperatur mit 13°C ist bei weitem zu hoch.
- Ganz entscheidend aber:
3. Die Taucher waren mit O₂-Kreislaufgeräten unter Wasser. Da aus diesem Gerätetyp funktionsgemäß aus dem CO₂-Absorber vorgewärmtes und befeuchtetes Atemgas eingeatmet wird, entfallen die beiden Wärmeverluste für Erwärmung und Befeuchtung der Atemluft ersatzlos.

Dieses Setup hatte zur Folge, dass der Versuch, der über mehr oder weniger Kälteempfinden entscheiden sollte, noch deutlicher als bei der norwegischen Studie im Bereich der Komfort- oder Wohlfühltemperatur stattfand, was über die Tauchzeit zu Wärmeverlusten von lediglich ≈ 839 kJ bei Luft- und ≈ 577 kJ bei Argonfüllung führte. In Abb. 8 b werden die Verhältnisse durch die roten/orangen Markierungen/Beschriftungen dargestellt.

Zusammenfassung

Seit Jahren findet, vor allem im Bereich des „Technischen Tauchchens“, also bei langen und tiefen Tauchgängen in meist kaltem Wasser, Argon als KVA-Füllgas an Stelle von Luft breite Verwendung. Der positive thermische Effekt wird weithin bestätigt.

Entgegen dieser weit verbreiteten Übung und Erfahrung sowie entgegen der Erwartung gemäß den physikalischen Eigenschaften der beiden Füllgase haben zwei voneinander unabhängige und aufwendig

durchgeführte Studien weder mittels Messergebnissen von Kern- und/oder Hauttemperatur noch nach dem subjektiven Empfinden der Testpersonen den positiven thermischen Effekt von Argon gegenüber Luft bestätigt.

Um diesen Widerspruch aufzuklären, wurden vorliegend beide Studien hinsichtlich aller für den Wärmeverlust beim Tauchen relevanten Faktoren im Detail analysiert.

Es konnte gezeigt werden, dass für beide Studien für die vorliegende Fragestellung untaugliche Parametersätze sowie ungeeignete Tauchausrüstung verwendet wurden. Diese experimentellen Setups hatten zur Folge, dass die Effekte Argon vs. Luft in den Hintergrund gedrängt wurden.

Beide Studien haben so mit sehr hohem Aufwand den trivialen Sachverhalt bestätigt, dass ein Taucher, der bereits einen sehr guten Kälteschutz hat, von weiteren Kälteschutzmaßnahmen nicht mehr profitiert und gehen so ins Leere.

Es konnte weiter gezeigt werden, dass sich bei geeigneter Ausrüstungs- und Parameterwahl der erwartete Unterschied zwischen den KVA-Füllgasen Argon und Luft sehr wohl deutlich einstellt.

Der thermisch positive Effekt von Argon an Stelle von Luft als KVA-Füllgas bleibt mithin unwidersprochen.

Dietmar Berndt

Literatur

1. Undersea & Hyperbaric Medicine Vol. 28 Nr. 3, Fall 2001: "Thermal insulation properties of argon used as a dry suit inflation gas" (J. Risberg and A. Hope); Norwegian Underwater Institute / Royal Norwegian Navy, Bergen.
2. Extrem Physiology & Medicine 2013, 2:17: "Argon used as dry suit insulation gas for cold-water diving" (XCE Vrijdag, PJ AM van Ooij, RA van Hulst)
3. Tabellenwerte aus: H. Kuchling - Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig, 1996
4. Messdaten aus Messreihe durchgeführt Team Neotherm: Ing.-Büro - dr. berndt -, Tauchen & Technik, Städtoldendorf
5. Brun, Bernabé, Strazzera et. al.: „Handbuch Technisches Tauchen, Müller-Rüschlikon, 2009, S. 127, 128
6. Aspacher: „Enzyklopädie des Technischen Tauchens, Eigenverlag, 2000, S. 308
7. Berndt: „Wärmeenergieverlust und Kälteschutz beim Tauchen“, Caisson, März 2011 / Nr.1
8. Messdaten aus Datenpool Fa. Tauchen & Technik, Städtoldendorf, 2014
9. DIN EN ISO 8996: Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes
10. ISO/TS 16976-1: Atemschutzgeräte - Physiologische Faktoren des Menschen - Teil 1: Arbeitsleistung und Atemminutenvolumina
11. Berndt: „Dicke Luft? Tief durchatmen ... und was uns daran hindern kann“, DIVEMASTER Nr. 72, S. 43 ff. mti-press
12. DIN 12021:2014 - „Atemgeräte - Druckgase für Atemschutzgeräte“
13. A. H. Wolff et al. - Heat exchanges in wet suits, Journal of applied physiology, 1985 Mar; 58(3):770-7.
14. J. S. Hayward et al.- Thermal Balance an Survival Time Prediction of Man in Cold Water, CJP & P, Vol. 53, 1975

Ein neuer Weg unter Wasser



AUTOR

Dr. med.
Karl-Peter Faesecke
Facharzt für Arbeitsmedizin
Taucherarzt (Bw/USNavy)

Praxis
Dr. Clara C. Schlaich MPH
& Dr. Karl P. Faesecke
Shanghaiallee 14
20457 Hamburg

Noch während die bemannten Unterwasserstationen im Einsatz waren (s. caisson Nr. 2/2015), liefen ab 1977 bei der GKSS in Geesthacht, elbaufwärts bei Hamburg, die Planungen für eine Unterwasser-Simulationsanlage an. Warum dort und wofür stand eigentlich GKSS? Die „Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt“ war ein Kind der bundesrepublikanischen Atomeuphorie der 50er Jahre, an deren Folgen dieses Land noch bis weit in die Zukunft zu tragen haben wird. Ein sichtbares Ergebnis dieser Bestrebungen war der nuklearbetriebene Erzfrachter „NS Otto Hahn“, der 1968 in Fahrt kam, aber nach zehn Jahren konventionell umgerüstet wurde: keine Reederei war an dem Antrieb interessiert und die meisten wichtigen Handelshäfen hatten den Zutritt verweigert. Der Reaktor wurde dann in Geesthacht an Land gestellt und noch einige Jahre bespielt; auch geriet er in den Verdacht, für eine unerklärliche häufig bösartiger Erkrankungen in der Nachbarschaft verantwortlich zu sein. Jedenfalls war die „Kernenergie“ in dem Namen begrifflich verbrannt und es wurde nur noch die Abkürzung verwendet. Inzwischen ist auch diese Historie.

Wie bereits beschrieben, hatten sich die Risiken für Mensch und Material beim Betrieb der Offshore-Habitats so drastisch gezeigt, dass die Planungen für eine Simulationsanlage an Land, in der alle Umweltparameter kontrollierbar sein würden, erheblich beschleunigt wurden. Der Bund und die Küstenländer investierten 45 Millionen DM, und die Lübecker Weltfirma Dräger baute in drei Jahren den abgebildeten

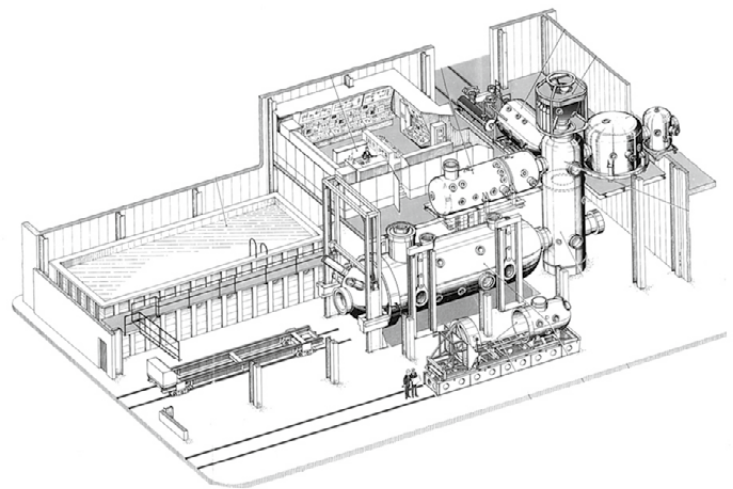


Abbildung 1
GKSS-Unterwasser Simulationsanlage „GUSI“, (Quelle: GKSS)

Komplex, wieder unter maßgeblicher Mitwirkung von Gerhard Haux.

Im Juni 1983 wurde die Einweihung der „GKSS – Unterwasser Simulationsanlage“, allgemein GUSI genannt, gefeiert. Dem Chronisten klingen noch die ambitionierten Aussagen der Ministerialen und Professoren über die glänzenden Perspektiven in den Ohren. Der zuständige Bundesforschungsminister ließ verlauten: „...den Techniken zum Schneiden und Schweißen unter Wasser kommt in der Zukunft steigende Bedeutung zu. Sie sind unverzichtbar, um die wertvollen Offshore-Anlagen zu warten und ggf. zu

reparieren.“ Man spekulierte hier offenbar auf internationale Aufträge für die deutsche Industrie, denn zu dieser Zeit existierte keine einzige deutsche Offshore-Konstruktion. Und, um es schon vorwegzunehmen, während heute in einem faszinierenden Tempo solche Anlagen in den Meeresboden von Nord- und Ostsee gestellt werden, wurde GUSI vor 25 Jahren mangels privater Aufträge und nachfolgend gestrichener staatlicher Zuwendungen geschlossen und die Hardware in alle Welt verstreut.

In der Tat wurden in erfolgreicher Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft bemerkenswerte F & E-Projekte zum UW-Schweißen, sowohl im Tauchbecken wie im trockenen Überdruck, abgewickelt. Zu dem angestrebten und immer wieder beschworenen Impact auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der einheimischen Unterwasser-Industrie soll hier nichts näher ausgeführt werden... Dafür blühte immerhin für knapp zwei Jahrzehnte an der Oberelbe die zivile wissenschaftliche Tauchmedizin und berechnete zu den schönsten Hoffnungen. Personifiziert wurden diese vor allem durch die Verpflichtung von Peter Bennett von der Duke University, der seine umfangreichen praktischen Erfahrungen aus der Sättigungstechnik mit nach Deutschland brachte. Als sein Adlatus vor Ort etablierte sich der unvergessene Fliegerkollege Justus Holthaus, der bereits die letzten Jahre der „Helgoland“ mitbetreut hatte und sich schnell und effizient in die Tauchmedizin einarbeitete. Von 1978 bis 1989 veröffentlichte er zehn umfassende Monographien mit Erkenntnissen aus der täglichen Begleitung der Taucher- und Druckluftensätze, die noch heute in jede Fachbibliothek gehören. Dem Chronisten begegnete er zuerst im Sommer 1979 bei der Einweihung von NUI in Bergen, und es entwickelte sich eine freundschaftliche Kollegialität, die bis zum vorzeitigen Tod von Justus Holthaus anhielt. Auch der Kontakt zu Peter Bennett war von internationaler Kollegialität geprägt und hält bis heute; sein Vortrag im ersten „großen“ Taucherarztlehrgang der Marine ist den Teilnehmern in bleibender Erinnerung - und so kam übrigens auch DAN nach Kopenhagen.

Während im Bereich der Technologieforschung die universitären Institute zielführend tätig waren, konnten sich für die tauchmedizinischen Herausforderungen keine ärztlich geführten wissenschaftlichen Einrichtungen erwärmen, obwohl allein vier Universitäten im Einzugsbereich lagen. Die kalte Schulter blieb das Leitsymptom aller Versuche, Kooperationen zu etablieren. Die Ergebnisse der medizinischen Studien und Erfahrungen wurden ausschließ-

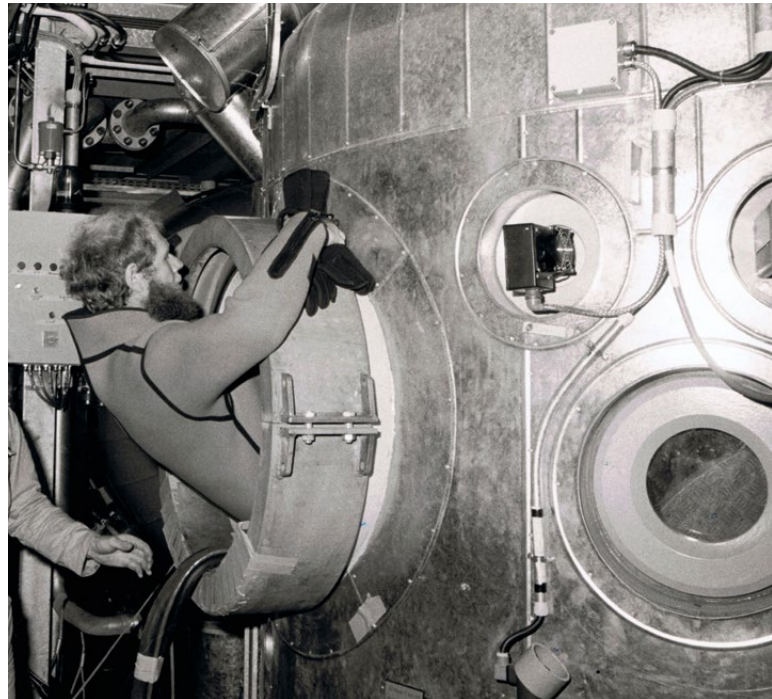


Abbildung 2
Taucher steigt in die Simulationsanlage (Foto: Faesecke)

lich international publiziert; federführend von der UHMS. Immerhin wurden in eigener Verantwortung 18 TriMix-Tauchgänge bis in Tiefen / Überdruckbereiche von 600 Metern (1987) unfallfrei durchgeführt und ausgewertet. Die Anlagen wurden ab 1989 auch ausländischen Forschungsgruppen zur Verfügung gestellt; der Chronist durfte noch als zuständiger Landesgewerbearzt die Arbeitsschutzaspekte mitverantworten. Als dann die staatliche Förderung ausblieb, wurde der gesamte Komplex sehr schnell kannibalisiert; einzelnen Komponenten konnte man noch nach Jahren an anderen Orten begegnen. Leider wurde auch die einzigartige Sammlung der medizinischen Fachbibliothek des Koll. Holthaus mit der Zeit in alle Winde verstreut.

1983 hatte der zuständige Minister dazu aufgerufen „GUSI zu einer internationalen Drehscheibe für die Unterwassertechnik werden zu lassen“ – sie drehte sich keine 10 Jahre. Auch dieser neue Weg unter Wasser soll also ein Irrweg gewesen sein? Diese Erkenntnis schmerzt zu einer Zeit, da die einheimische Offshore-Industrie sich internationale Reputation verschafft, während die unverzichtbare Tauchmedizin wie ein Schiff ohne Segel und Führung im Neerstrom dümpelt...

Karl-Peter Faesecke

HELIOX in der Druckkammer-Therapie akuter Tauchunfälle

Bericht über den EUBS 2015 Pre-Congress Workshop



AUTORIN

Dr. Roswitha Prohaska
ÖGTH-Präsidentin
Allgemeinmedizin,
Arbeitsmedizin, Notärztin,
Diving & Hyperbaric
Medicine Consultant ÖGTH
Seeböckgasse 17
A-1160 Wien

www.taucherarzt.at
prohaska@gmx.info

Am 19. Aug. 2015 fand im Universitätsklinikum in Amsterdam (AMC) vor dem EUBS-Kongress 2015 ein Pre Congress-Workshop zu Heliox statt. Genauer: Zur Heliox-Behandlung von Tauchunfällen. Erwartet wurden ca. 30 Teilnehmer, *Rob van Hulst*, AMC Amsterdam, konnte als Organisator des Workshops aber schließlich über 70 interessierte Kollegen begrüßen. Der kleine Hörsaal platzte damit fast aus den Nähten, die Stimmung war aber ausgezeichnet.

Ole Hyldegaard, Universitätsklinikum Copenhagen (DK), präsentierte zunächst den aktuellen Stand des Grundlagenwissens zu Heliox, anschließend berichtete *Adel Taher*, Hyperbaric Medical Center



Abbildung 1
EUBS 2015-Pre Congress Workshop zu Heliox als Therapie-Option für die Druckkammerbehandlung von Tauchunfällen
(Foto: Albert v. d. Brink, AMC).

Sharm el-Sheikh (Egypt), über seine klinischen Erfahrungen mit Heliox in der Druckkammertherapie von Tauchunfällen. *Emmanuel Gempp*, Marine Nationale, Toulon (F), präsentierte eine aktuelle Auswertung der Therapieergebnisse von Tauchunfall-Behandlungen in der französischen Marine Nationale mit Sauerstofftabellen (US-Navy Behandlungstabellen TT5 und TT6) und Heliox-Tabellen (Comex-Tabelle Cx30). *Gezina Oei*, AMC Amsterdam (NL), berichtete über aktuelle Forschungsergebnisse zu zellulären Effekten von Helium (...welches eben nicht Stoffwechsel-„inert“ ist!).

Die anschließende lebhaft geführte Diskussion machte klar, dass derzeit recht unterschiedliche Therapiemodalitäten in den verschiedenen Druckkammerzentren gelebt werden: es werden unterschiedliche Behandlungs-Tabellen verwendet (verschiedene Sauerstoff- und Heliox-Tabellen) und ebenfalls sehr unterschiedliche Parameter zur Entscheidung herangezogen, welche Tabelle für die 1. oder 2. Behandlung eines Tauchunfalles gewählt wird. Dass Heliox-Behandlungen in die Hand erfahrener Tauchmediziner gehören, vor allem bei individuellen Therapieentscheidungen, war jedoch klar. Außerdem wird für diese Behandlungen eine komplexere technische Ausrüstung und mehr Druckkammerpersonal benötigt als für Sauerstoff-Tabellen, um eine sichere Heliox-Behandlung zu gewährleisten. Selbstkritisch wurde von einigen Diskutanten herausgestellt, dass die individuelle ärztliche Behandlungsfreiheit in Abwesenheit guter Evidenz für oder gegen bestimmte Entscheidungen die Situation unübersichtlich macht und darüber hinaus verhindert, dass gesammelte Daten verschiedener Zentren verglichen werden können. Ohne ein strategisches Vorgehen werden wir an diesem Punkt aber wohl weiterhin auf der Stelle treten. Zum Ende des Workshops einigte man sich auf die folgenden Statements:

Statement 1

- There is growing evidence that helium is biochemically not inert and has biological effects on organs and tissues
- In experimental research helium reduces ischemia-perfusion damage in heart and the brain. Therefore helium mixtures could be advantageous and enhance the treatment of DCI
- Therefore, a systematic research programme is needed, including animal models and large human trials, to define the profit derived from the use of different treatment gases and depth profiles during recompression therapy

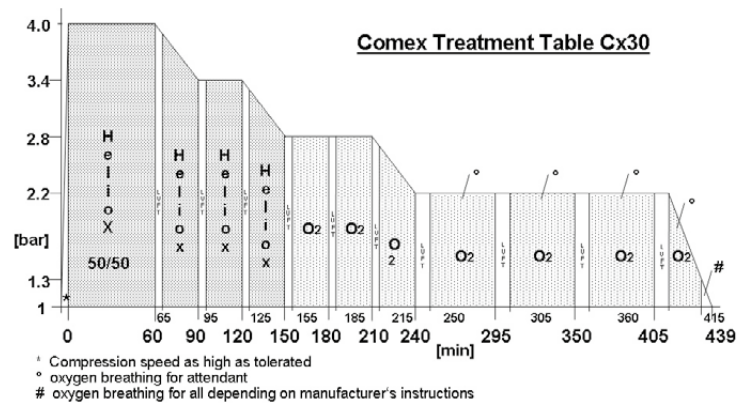


Abbildung 2
Comex-Behandlungstabelle Cx30 als Beispiel einer der diskutierten Therapietabellen für Tauchunfälle mit Heliox.

Statement 2

- The use of heliox treatment tables should be clearly addressed in the curricula for diving medicine courses. Currently most trials and treatments performed are more an "individual effort or experiment" performed by the treating physician
- Recommendations for the use of heliox treatment tables – when available – should be included in the guidelines for treating diving accidents and taught to young physicians

Statement 3

- There is a need to create a database for registration of heliox treated cases and to consolidate the data and treatment outcome
- There is a need to create a scientific body that gathers the diving physicians, physiologists and scientists interested in and working or experimenting with heliox

Statement 4

- Presenting the idea that would help to provide remote recompression chambers with a cheap / affordable system allowing the use of heliox: a modified CCR (Closed Circuit Rebreather) supplying 50/50 heliox

Prof. Robert van Hulst stellte sich als Kontaktperson für die weiteren Aktivitäten in dieser Hinsicht zur Verfügung. Email: r.a.vanhulst@amc.nl

Roswitha Prohaska

VORTRÄGE DES GTÜM-SYMPOSITIONS



AUTORIN

Dr. med.
Heike Gatermann

Gemeinschaftspraxis für
Innere und Allgemeinmedizin
im Hammonia Bad Hamburg
Fachärztin für Innere und
Allgemeinmedizin, Sportme-
dizin, Tauchmedizin GTÜM
Bundesverbandsärztin VDS
Lerchenfeld 14,
22081 Hamburg,
Email: medizin@vdst.de

Vortrag:

Tauchausbildung von Kindern & Jugendlichen in Deutschland

Bei der Ausbildung von Kindern und Jugendlichen gibt es in medizinischer, physiologischer und psychologischer Hinsicht einige Besonderheiten zu beachten. So reagiert diese Altersgruppe anders als Erwachsene auf Zwischenfälle und Gefahren, sie stellen keinen vollwertigen Partner in Buddy-System da. Die geforderte Tauchtauglichkeitsuntersuchung soll die Besonderheiten berücksichtigen und entsprechend kindgerecht sein, also auch das Kind/Jugendlichen selber mit einbeziehen. Außerdem soll ein besonders ausgebildeter oder geschulter Ausbilder die Ausbildung von dieser Altersgruppe übernehmen. Es gibt zwischen den (großen) Ausbildungsorganisationen nur wenig Standardisierung in dieser Hinsicht.

Viele Organisationen betreiben die Ausbildung von Kindern und Jugendlichen. Die in Deutschland für die Tauchausbildung von Kindern und Jugendlichen tätigen großen Organisationen (CMAS/VDST, PADI, SSI) zeigen deutliche Gemeinsamkeiten in Bezug auf:

- Einstiegsalter (bei allen Organisationen ab 8 Jahre möglich)
- Tiefenbegrenzung (Alters- und Brevetabhängig)
- Tauchdauerbegrenzung (Alters- und Brevetabhängig)
- Anforderungen an den Tauchplatz (Wassertemperatur, Sicht, ...)
- Selbstständige Schwimmfähigkeit
- Spezielle „Kinderprogramme“
- Ärztliches Attest zur Tauchtauglichkeit
- Ab 14 Jahre eingeschränkter Zugang zu den „Erwachsenenbrevets“

Dennoch gibt es deutliche Unterschiede in den Organisationen, die im Folgenden tabellarisch dargestellt werden:

„TAUCHEN MIT KINDERN & JUGENDLICHEN“

vom 7.3.2015

VERGLEICH NACH ALTERSSTUFEN

	CMAS/VDST	PADI	SSI
8 Jahre	Junior *	Bubblemaker Seal team	Scuba Rangers
10 Jahre	Junior **	Junior scuba diver / Junior OWD	Junior scuba diver
12 Jahre	Junior ***	Junior AOWD / Junior rescue diver / Junior master scuba diver	Jun. open water diver / Jun. Adv. adventurer / Jun. Speciality diver / Jun. Advanced open Water diver
14 Jahre	CMAS/ DTSA *	OWD	OWD

Abbildung 1
Vergleich der Ausbildungsstufen für Kinder und Jugendliche

TIEFENBEGRENZUNG NACH ALTER
(BREVETUNABHÄNGIG)

	CMAS/VDST	PADI	SSI
8 Jahre	5 m	4 m	4 m
10 Jahre	8 m	12 m (40 ft)	12 m (40 ft)
12 Jahre	12 m	15 m	18 m
14 Jahre	25 m	Nach Verbandsvorgaben	Nach Verbandsvorgaben
16 Jahre	Nach Verbandsvorgaben		

Abbildung 2
Vergleich der altersabhängigen Tiefenbegrenzungen

VERGLEICH NACH TIEFE /BREVET

	CMAS/VDST	PADI	SSI
4 Meter	Junior * max 5 m	Bubble maker / Seal Team	Scuba rangers
8 Meter	Junior **		
12 Meter	Junior ***	Junior open water diver / Jun. Advan. Open water / Junior rescue diver	Junior scuba diver / Jun. Open water diver
15 Meter		Jun. Master scuba diver	
18 Meter			Jun. Advan. adventurer / Jun. Speciality diver / Jun. AOWD

Abbildung 3
Vergleich der Tiefenbegrenzungen für verschiedene Brevets

Bei allen Ausbildungsorganisationen beginnt die Ausbildung im Pool/Schwimmbad. 8 Jahre sind der früheste Beginn einer Tauchausbildung mit Gerät. Es gibt eine Tiefenbegrenzung bis 14 Jahre und spezielle Kinderprogramme für 8- und 9 jährige Kinder. Bei PADI und SSI nehmen die Kinder zumindest in der Praxis ab dem 10. Lebensjahr an Erwachsenenkursen teil, bei VDST/CMAS erst ab 14 Jahren. Alle Organisationen stellen spezielle Anforderungen an den Buddy oder verlangen speziell geschulte Ausbilder, dazu gibt es eine Einschränkung in der Anzahl der Tauchgänge pro Tag.

Im Herbst 2014 entwickelte die Arbeitsgruppe Kindertauchen in der GPS (Gesellschaft für pädiatrische Sportmedizin) eine Selbstverpflichtungserklärung für die Tauchsportorganisationen, die eine sehr hohe Akzeptanz unter den Ausbildungsorganisationen erhielt. Bislang haben 15 Organisationen diese Erklärung unterzeichnet, unterstützt wird sie zudem von medizinischen Fachgesellschaften, Tauchsportversicherungen und der Tauchsportindustrie. Sie setzt einen Standard zur Ausbildung und dem Umgang mit Kindern und Jugendlichen in der Tauchausbildung.

Eisenacher Erklärung zum Tauchen mit Kindern und Jugendlichen

Tauchen ist ein sicherer Sport! Anfänger und ganz besonders Kinder und Jugendliche müssen aber vor den besonderen Gefahren geschützt werden, die durch Fehlverhalten entstehen können. Die unterzeichnenden Organisationen verpflichten sich, zum Schutz der Kinder und Jugendlichen folgende Grundsätze zu beachten.

1. Die Sicherheit und die Unversehrtheit der Kinder und Jugendlichen ist oberstes Gebot aller Tauchangebote.
2. Die Persönlichkeitsrechte der Kinder und Jugendlichen werden respektiert.
3. Jede Tauchaktivität erfolgt nur freiwillig.

4. Kinder müssen mindestens das 8. Lebensjahr vollendet haben, um mit einem Drucklufttauchgerät zu tauchen. Dabei ist der individuelle Entwicklungsstand des Kindes zu berücksichtigen.
5. Jede Ausbildung wird nur unter Aufsicht eines für diese Altersgruppe qualifizierten Tauchausbilders durchgeführt. Der Ausbilder muss während der gesamten Ausbildung in adäquater Reichweite des Kindes sein.
6. Die weiteren verantwortlichen Erwachsenen (Erziehungsberechtigte, begleitende Erwachsene beim Tauchen) müssen die besonderen Risikomomente beim Tauchen mit Kindern kennen.
7. Die ersten Tauchgänge finden im Schwimmbad/Pool oder einem begrenzten Tauchgewässer statt, dass vergleichbare Bedingungen hinsichtlich Tiefe, Temperatur und Sichtweite aufweist.
8. Freigewässertauchgänge nach der Ausbildung des Kindes werden nur in Begleitung eines qualifizierten Erwachsenen durchgeführt. Es gelten die Richtlinien der jeweiligen Ausbildungsorganisation.
9. Für Kinder gelten auch bei fortgeschrittenem Ausbildungsstand besondere Grenzen, um die physiologischen Risiken zu minimieren. Dazu haben die jeweiligen Tauchsportorganisationen altersabhängige Grenzen für Tauchdauer, Tauchtiefe und Umgebungsbedingungen festgelegt. Die Ausrüstung muss dem Kind angepasst sein.
10. Vor jeder Tauchaktivität wird das richtige Verhalten vor, während und

nach dem Tauchgang abgesprochen. Nur wenn dies vom Kind verstanden wird, darf getaucht werden.

11. Besonderer Wert wird beim Tauchen mit Kindern und Jugendlichen auf die erlebnispädagogischen, umweltgerechten und sportlichen Aspekte des Tauchens gelegt.
12. Die Unterzeichner verpflichten sich, bei Bekannt werden von Zuwiderhandlungen diese den zuständigen Stellen zu melden (z.B. der jeweiligen Ausbildungsorganisation).



.....

Zusammenfassend zeigt sich, dass viel Einigkeit unter den Ausbildungsorganisationen herrscht. Das kann aber alles nicht darüber hinwegtäuschen, dass wir dringend belastbare Daten zum Tauchen mit Kindern und Jugendlichen brauchen um das tatsächliche Risiko für diese Altersgruppen abschätzen zu können.

Heike Gatermann

Vortrag:

Kindertauchen aus HNO-Sicht - HNO-System und Erkrankungen

Die Zahl der Kinder, die mit Pressluftgerät tauchen, hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Die Mehrheit dieser Kinder und Jugendlichen sind im Alter zwischen 12 und 17 Jahre. Tauchsportverbände haben allerdings zunehmend jüngere Kinder ab 8 Jahre im Fokus, so bietet beispielsweise PADI (Professional Association of Diving Instructors) mit dem „Bubblemaker“, dem „SealTeam“ und dem „Junior Open Water Diver“ drei Kurse an, die Kinder unter 12 Jahren ansprechen. Dabei ist die wissenschaftliche Datenlage zum Tauchen besonders kleiner Kinder sehr dünn und kann mit der aktuellen Entwicklung des Kinderstauchens nicht Schritt halten.

Taucher berichten häufig über Beschwerden im HNO-Bereich und nicht selten wird ein HNO-Arzt konsultiert. Bei erwachsenen Tauchern sind über 3/4 der Tauchsporterkrankungen aus dem HNO-Bereich [1]. Dabei kommt es am häufigsten zu einer Entzündung des äußeren Gehörgangs. Wenn einfache Regeln zur Vorbeugung einer solchen teils sehr schmerzhaften Otitis externa beachtet werden, können massive Ohrenschmerzen vermieden und auch längere Tauchreisen ohne Unterbrechung „durchgetaucht“ werden. Zur Prävention reicht es meist nach dem Tauchgang den Gehörgang mit Süßwasser auszuspülen oder die Spülung der Gehörgänge z.B. mit Ehm'scher Lösung (antiseptische Ohrentropfen aus Wasser, Essig und Isopropanol).

Mittelohrbarotrauma

Häufig ist ebenfalls das Auftreten eines sogenannten Barotraumas der Ohren. Hier ist der Druckausgleich bei Abtauchen erschwert und es entsteht ein relativer Unterdruck im Mittelohr. Durch diesen Druckunterschied vor und hinter dem Trommelfell wird dieses dünne Häutchen schmerzhaft gedehnt und kann bei höherer Druckbelastung sogar perforieren. Eine Trommelfellperforation kann zu einem massiven Drehschwindel durch eine kalorische Reizung unter

AUTOR

Dr. med. •
Marsen Dirk Jumah •
HNO-Facharzt •
Plastische Operationen •
Schlafmedizin •
Schwarzwald-Baar Klinikum •
Villingen-Schwenningen •
Klinik für HNO-Heilkunde •
Klinikstr. 11 •
78052 Villingen- •
Schwenningen •



Wasser führen und damit den Anfang eines fatalen Tauchunfalls darstellen. Die Mittelohrbelüftung erfolgt über die Ohrtrompete (Tuba Eustachii). Dieser wenige cm lange Gang verbindet das nach außen durch das Trommelfell abgeschlossene Mittelohr mit dem Nasenrachen und sichert über diese Verbindung eine Belüftung, Drainage und einen Schutz des Mittelohres. Da das HNO-Krankheitsbild des Mittelohrbarotraumas eine große Bedeutung für Taucher hat, werden in Tabelle 1 wichtige Fakten dazu zusammengefasst.

Tauchtauglichkeit von Kindern aus HNO-Sicht

Bei Kindern ist die Mittelohrbelüftung häufig noch eingeschränkt, damit ist das Auftreten eines Barotraumas der Ohren häufiger und stellt eine wichtige Einschränkung für das Tauchen dar. Arbeiten zur Tauchtauglichkeit von Kindern und Jugendlichen aus Sicht des HNO-Arztes weisen darauf hin, dass der Druckausgleich von tauchenden Kindern sicher beherrscht werden muss [2]. Es wird empfohlen, dass eine Untersuchung der Kopf- und Halsregion, inklusive der Endoskopie des Nasen-Rachen-Raumes, wie sie jeder HNO-Arzt ausführen kann, erfolgen sollte,

wenn der Druckausgleich in der Vorgeschichte erschwert war. Eine Tauchtauglichkeit kann vom beurteilenden Arzt nur ausgesprochen werden, wenn eine regelrechte Funktion der HNO-Organen als Grundvoraussetzung zur Aufnahme einer Tauchausbildung gesichert ist [3].

Bei Kindern kommt es gehäuft zu akuten Entzündungen des HNO- und Respirationstraktes und damit zu einer Einschränkung der Tubenfunktion. Bei Kindern sind dabei häufig vergrößerte Rachenmandeln (Adenoide oder „kindliche Polypen“), die sich im Nasenrachen in unmittelbarer Nachbarschaft zum Eingang der Tuba Eustachii befinden, vorzufinden. Auch weitere anatomische Voraussetzungen können die Mittelohrbelüftung ungünstig beeinflussen. Die Tuba Eustachii verläuft in der Kindheit kurz und flach, zudem ist das Gewebe schlaffer aufgehängt, siehe Abbildung 3. Die zum Ausgleich eines Unterdruck im Mittelohr notwendige aktive muskuläre Öffnung ist daher erschwert und die Tubenfunktion bis zum 10. Lebensjahr schon aus rein anatomischen Gründen eingeschränkt [4]. Insgesamt ist die Mittelohrbelüftung durch den eingeschränkten Druckausgleich zwischen Nasenrachen und Mittelohr behindert und es ergibt sich ein höheres Risiko zum Auftreten eines Mittelohrbarotrauma beim Abtauchen.

Tauchunfälle bei Kindern gehen mit HNO-Beschwerden einher

In einer prospektiven Studie wurden Tauchunfälle bei Kindern zwischen 6 und 13 Jahren während der Tauchausbildung ausgewertet [5]. Aus dieser Gruppe waren $\frac{3}{4}$ im Alter zwischen 8 und 11 Jahren und 5% jünger als 8 Jahre. Die mit Abstand am häufigsten angegebenen Beschwerden waren bedingt durch eine gestörte Mittelohrbelüftung. Bei 80% der dokumentierten Tauchunfälle bei den Kindern handelte es sich um Trommelfellperforationen. Die Ergebnisse dieser und weiterer Studien unterstreichen, dass Probleme im HNO-Bereich bei Kindern während der Tauchausbildung häufig vorkommen [6,7].

Kann die Mittelohrbelüftung verbessert werden?

Mit der Laser-Ablation des epipharyngealen Tubenostiums steht ein ambulant Verfahren zur Verbesserung der Mittelohrbelüftung zur Verfügung. Hier werden Vernarbungen oder überschüssiges Gewebe im Nasenrachen so reduziert, dass die Ohrtrompete frei belüftet werden kann (siehe Abbildung 1). Es gibt dazu erste vielversprechende Studien bei Tauchern und Piloten [8]. Das Ziel war

hier die Wiederherstellung der Tauchtauglichkeit von aktiven Tauchern. Positive Erfahrungen mit dem Verfahren haben wir bei Kindern sammeln können, diese sind allerdings noch nicht in Studien ausgewertet. Die Ballon-Dilatation (Balloon Dilatation Eustachian Tuboplasty, BDET) bedient sich einer Druckapplikation im Lumen der Eustachischen Röhre (siehe Abbildung 2). Hier wurden ebenfalls sehr positive Ergebnisse publiziert [9]. Die Bewertung der Verfahren dadurch erschwert, dass die Mittelohrbelüftung nur mit aufwändigen Meßprozeduren gemessen werden kann [10]. Wissenschaftlich fundierte Langzeitergebnisse zu den Ergebnissen der vergleichsweise neuen Verfahren liegen nur lückenhaft vor und die Verfahren müssen zunächst mit Zurückhaltung bewertet werden [11].

Zusammenfassung

Die Mittelohrbelüftung ist bei Kindern häufig noch eingeschränkt. Dies ist auf eine Unreife der Mittelohrbelüftung bei anatomischen Besonderheiten, wie Adenoiden (kindliche Polypen) und das Auftreten von Infekten zurückzuführen. Tauchunfälle sind auch bei Kindern mit HNO-Problemen vergesellschaftet und ein Barotrauma des Mittelohres mit Schwindel kann zu fatalen Unfällen führen. Der HNO-ärztliche Fachbereich sollte bei tauchenden Kindern beachtet werden, nur so kann das Tauchen auch für Kinder sicher gestaltet werden.

Masen Dirk Jumah

Tabelle 1

Mittelohrbarotrauma: Diagnostik und Therapie

Pathomechanismus des Mittelohrbarotraumas
• Relativer Unterdruck, beim Abtauchen (Kompression)
Prädisponierende Faktoren für ein Mittelohrbarotrauma
• Atrophes Trommelfell • Störung der Tubenfunktion, Adenoide (Polypen)
Klinik, Befunde
• Schmerzen, Hörminderung, Tinnitus • Schwindel, bei kalorischer Reizung • Rötung bis zur Trommelfell-Perforation
Therapie des Mittelohrbarotraumas
• Abschwellende Nasentropfen • Tauchverbot bis zur Ausheilung • ggf. antibiotische Abschirmung (bei Defekt)

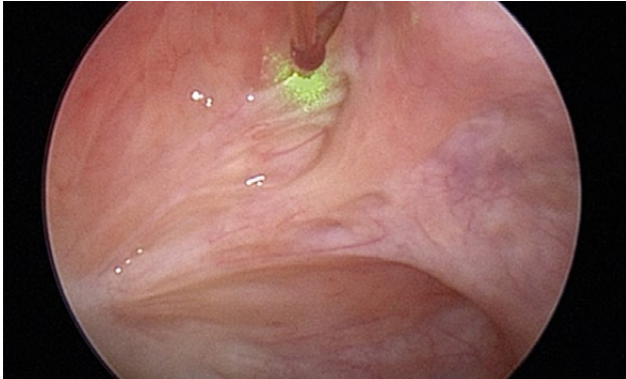
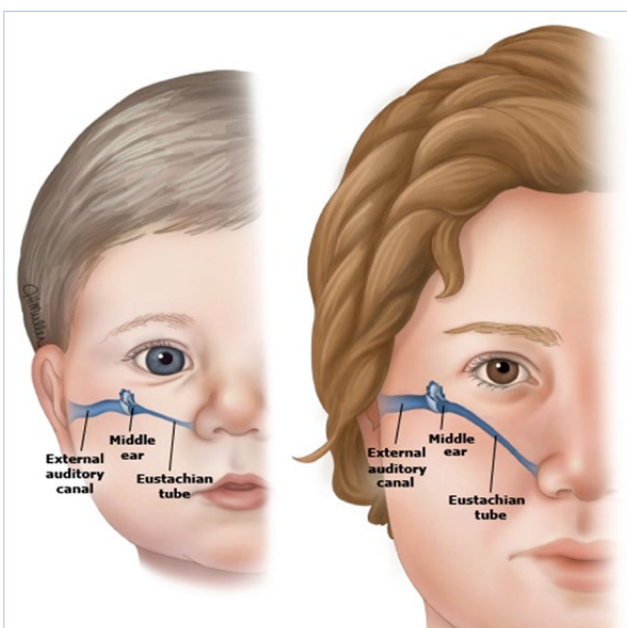


Abbildung 1
Nasenrachsenbefund links (0°), intraoperativ vor Laser-Ablation. Bei einer Vernarbung im Nasenrachsen, mit nach medial fixierter hinterer Tubenwulst, wird bei dem Ausgangsbefund eine Öffnung der Eustachischen Röhre verhindert.



Abbildung 2
Nasenrachsenbefund rechts (30° von ipsilateral) unauffälliger Nasenrachsen, Ballon-Dilatator im Tubenostium



Literatur

1. Strutz J (1993) Otorhinolaryngologische Aspekte zum Sporttauchen. HNO 41: 401-411
2. Tetzlaff K, Muth CM, Klingmann C (2008) Tauchtauglichkeit von Kindern und Jugendlichen. Bedeutung für den HNO-Arzt. HNO 56: 493-498
3. Klingmann C, Tetzlaff K (2007) Moderne Tauchmedizin. Gentner Verlag, Stuttgart
4. Bylander A, Ivarsson A, Tjernstrom O (1981) Eustachian tube function in normal children and adults. Acta Otolaryngol 92: 481-491
5. Vandenhoven G, Collard F, Schamp E (2003) Children and diving: medical aspects. Eight years' sports medical follow-up of the first scuba diving club for children in Belgium. SPUMS J 33: 70-73
6. Edmonds C (2003) Children and diving: a review of SPUMS articles. SPUMS J 33: 206-211
7. Winkler BE, Muth CM, Tetzlaff K (2012) Should children dive with self-contained underwater breathing apparatus (SCUBA)? Acta Paediatr 101:472-478
8. Jumah MJ, Jumah MD, Sedlmaier B (2013) Restoring middle ear pressure equalization in divers by laser Eustachian tuboplasty. Undersea Hyperb Med 40: 299-306
9. Ockermann T, Reineke U, Upile T, Ebmeyer J, Sudhoff HH (2010) Balloon dilatation eustachian tuboplasty: a clinical study. Laryngoscope 120: 1411-1416
10. Mikolajczak S, Meyer MF, Hahn M, Korthäuer C, Jumah MD, Hüttenbrink KB, Grosheva M, Luers JC, Beutner D (2015) Characterizing the active opening of the eustachian tube in a hypobaric/hyperbaric pressure chamber. Otol Neurotol 36: 70-75
11. Bluestone CD (2014) Balloon dilation of the eustachian tube is indeed a "gizmo" until future research proves safety and efficacy. Otolaryngol Head Neck Surg 151: 374

Abbildung 3
Schematische Darstellung der beim Kind (links) im Vergleich zum älteren Jugendlichen und Erwachsenen (rechts) kurz und flach verlaufenden Eustachischen Röhre (Quelle: www.UpToDate.com).

Vortrag:

Tauchtauglichkeit bei Kindern & Jugendlichen mit Diabetes Mellitus



AUTOR

Karsten Theiß
Facharzt für
Kinder- & Jugendmedizin
Diabetologe (DDG)
Taucherarzt (GTÜM)

Oststraße 68
66386 St. Ingbert
Email:
k.theiss@taucherarzt-theiss.de

Alle bis heute durchgeführten Auswertungen zeigten, dass für Taucher mit Diabetes Mellitus kein erhöhtes Risiko für einen Tauchunfall besteht. Insgesamt sind in alle Auswertungen über 10.000 Tauchgänge eingegangen (meist retrospektive Daten, die durch die Taucher selbst eingegeben wurden).

Voraussetzung für diese guten Ergebnisse und sichere Tauchgänge sind natürlich eine gute Selektionierung im Rahmen der Tauchtauglichkeitsuntersuchung sowie ein gutes Management des Diabetes Mellitus um den Tauchgang.

Grundvoraussetzung zur Tauchtauglichkeit bei Diabetes Mellitus ist immer eine stabile Stoffwechseleinstellung, eine gute Schulung der Patienten, eine intakte Hypoglykämiewahrnehmung und eine Freiheit von Komplikationen bzw. Folgeerkrankungen. Alle diese Aspekte müssen in guter Kooperation zwischen Diabetologen und Tauchmediziner beurteilt werden.

Im Rahmen der Tauchausbildung sollte möglichst frühzeitig die Einnahme von Kohlenhydratgels unter Wasser geübt werden, um im Bedarfsfall auch hier sicher eine Hypoglykämie ausgleichen zu können.

Aus Sicht des Autors stellt sich nunmehr die Frage, warum in der Checkliste Tauchtauglichkeit auch in der 2. Auflage die Gruppe der unter 18 jährigen Diabetiker weiterhin rigoros von der Tauchtauglichkeit ausgeschlossen ist.

Jugendliche mit Diabetes Mellitus sind fast immer an einem Diabetes Mellitus Typ 1 erkrankt und damit insulinpflichtig. Andere Diabetesformen spielen in dieser Altersgruppe nur eine sehr geringe Rolle und der Diabetes Mellitus Typ 2 fast gar keine. In den letzten Jahren ist ein klarer Trend zu frühen Krankheitsmanifestationen (Kindergarten / frühes Grundschulalter) zu beobachten. Diese Patienten können als Jugendli-

Bezüglich der Tauchtauglichkeit von Erwachsenen mit Diabetes Mellitus hat sich in den letzten Jahren ein steter Wandel vollzogen und die Erkrankten gelten heute oftmals als tauchtauglich. Anfang der 2000er Jahre wurden Taucher mit Diabetes Mellitus noch in den Bereich des Behindertentauchens verwiesen. Aktuell wird in der zweiten Auflage der Checkliste Tauchtauglichkeit (2014) immer mehr Menschen mit Diabetes Mellitus der Zugang zu dieser schönen Sportart durch differenzierte und individuelle Beurteilung ermöglicht.

In vielen Versuchsreihen mit insulinpflichtigen Diabetikern konnte gezeigt werden, dass Taucher mit Diabetes Mellitus ihre Tauchgänge sicher durchführen können. Eine kleine Untersuchung zeigte auch für Jugendliche keine Sicherheitsprobleme, diese Untersuchung war sogar an Tauchanfängern durchgeführt worden.

che oftmals bereits auf eine mehrjährige Erfahrung mit der Erkrankung zurückblicken. Sie wissen bereits wie Ihr Körper auf Aufregung oder sportliche Aktivitäten reagiert. Sie haben gelernt auch unter diesen Bedingungen adäquat zu reagieren und den Blutzucker stabil zu halten.

Folgeerkrankungen wie Nephropathie, Retinopathie, Neuropathie, etc. spielen im Jugendalter noch keine Rolle. Selbst bei frühem Erkrankungsbeginn ist die Diabetesdauer in der Regel einfach zu kurz. Wenn Einzelfälle dieser Folgeerkrankungen auftreten, dann wenn eine sehr schlechte Stoffwechseleinstellung besteht oder weitere Risikofaktoren (Rauchen!) bestehen. Die Leitlinie Kinderdiabetologie sieht regelmäßige Kontrollen auf diese Folgeerkrankungen vor, so dass ein Auftreten im Einzelfall bekannt sein sollte und diese Einzelfälle problemlos von einer Tauchtauglichkeit ausschliessbar wären.

Die Studie von Pollock (2006) zeigte an einer kleinen Gruppe (n=7), dass erfahrene diabetische Jugendliche (16-17 Jahre) auch als Tauchanfänger sichere Tauchgänge durchführen können.

Vor diesem Hintergrund ist es an der Zeit auch bei Jugendlichen mit Diabetes Mellitus eine Tauchtauglichkeit nach individueller Begutachtung zu ermöglichen und nicht kategorisch auszuschließen. Es muss die Möglichkeit einer Einzelfallentscheidung geben.

Zu fordern für eine Tauchtauglichkeit wäre:

- Mind. 4x tgl. Blutzuckerkontrolle mit entsprechender Therapieanpassung (ICT-Einstellung) seit mindestens 12 Monaten (bei Therapieumstellung auf Insulinpumpe mindestens 6 Monate Therapieerfahrung mit der Insulinpumpe)
- Sportliche Tätigkeit außerhalb des Tauchens und hierbei den Blutzucker konstant halten können
- Im letzten Jahr keine Entgleisungen die eine Fremdhilfe notwendig machten (Hypo- und/oder Hyperglykämie)
- Keine Störung der Hypoglykämiewahrnehmung
- Keine diabetischen Folgeerkrankungen und eine stabile Stoffwechseleinstellung

Unter dieser Prämisse und der Anwendung der übrigen Empfehlungen für das Tauchen von Diabetikern erwartet der Autor, dass auch für Kinder und Jugendliche mit Diabetes Mellitus die Ausübung des Tauchsports sicher möglich ist.

Karsten Theiß

Literatur

- GTÜM & ÖGTH: Checkliste Tauchtauglichkeit, 2. Auflage, Gentner (2014)
- Meissner T et al.: Diabetes bei Kindern und Jugendlichen - nicht immer Typ 1-Diabetes (2012)
- Kapellen T et al.: Insulinpumpentherapie - Standardtherapie für Diabetespatienten im Alter unter 5 Jahre (2013)
- Pollock NW et al.: Diabetes und recreational diving: Guidelines for the future (2005)
- Hofer et al.: Tracking of Metabolic Control from Childhood to Young Adulthood in Type-1 Diabetes (2014)
- van den Berg R: Diabetes und Tauchen: Empfehlungen für die Praxis, Caisson 2013; 28(4); 15-18
- Lormeau B: Diabète et Plongée Sous-Marine, Nutritons & Facteurs de Risque - Juin-Juillet 2005; 3:242-247
- Bonomo M et al.: Safety of recreational scuba diving in type 1 diabetic patients: the Deep Monitoring programme: Deutsche Übersetzung von Dr. Carola Deparade & JD Schipke; CAISSON 2013;28(4):8-14
- Adolfsson P et al.: The Benefits of Continuous Glucose Monitoring and a Glucose Monitoring Schedule in Individuals with Type 1 Diabetes during Recreational Diving (2008)
- Pollock NW et al.: Plasma glucose response to recreational diving in novice teenage divers with insulin-requiring diabetes mellitus (2006)
- Muth CM et al.: Tauchen mit Diabetes, Tauchen, 07/2015, 112-115

Orthopädische Aspekte des Kindertauchens



AUTORIN

Dr. Anke Fabian •
Ärztin für Tauch- und •
Überdruckmedizin, •
Medical Case •
Management, •
Kooperationsarzt der •
Deutschen Botschaft Kairo, •
Ägypten •

Einleitung

Kinder sind keine Erwachsenen in Miniaturformat. Die Gesetze der Tauchphysik lassen sich demzufolge auch nur in begrenztem Umfang auf sie anwenden. Zudem beobachten wir eine zunehmende Herabsetzung des Anfangsalters auf derzeit acht Jahre. Doch, gerade in dieser „vorpupertären Phase“ und in der sich anschließenden Pubertät zeigt der kindliche Organismus ein äußerst empfindliches Zusammenspiel von Entwicklung, Wachstum und Reifung, bei deren Störung lebenslange Einschränkungen die Folge sein können. Sind Herz und Lunge einigermaßen ausgereift, beginnt die nächste „störungsanfällige Entwicklungsphase“ im Bereich des Haltungs- und Bewegungsapparats, nämlich der pubertäre Wachstumsschub.

Die damit einhergehenden Veränderungen, vor allem die Umbauvorgänge im Bereich der Epiphysenfugen, die muskulären Dysbalancen sowie die wechselnde Leistungs- und Belastungsfähigkeit im psychischen Bereich sind Besonderheiten dieser Lebensphase.

Wachstumsphasen

Das Wachstum verläuft nicht gleichmäßig, sondern in Schüben und zeigt große individuelle Schwankungen. Postnatal unterscheidet man 3 **Wachstumsphasen**:

1. Geburt bis 5. Lebensjahr

Schnellstes Wachstum bis zum 2. LJ, danach deutliche Abnahme der Wachstumsgeschwindigkeit. Diese Phase zeichnet sich durch vermehrte Längenzunahme der Extremitäten aus, während die Größenzunahme des Kopfdurchmessers und des Rumpfes relativ gering ist.

2. 5. - 10. Lebensjahr

Die zweite Phase ist von relativ konstantem Wachstum von ca. 6 cm/Jahr geprägt. Dabei entfallen etwa 1/3 auf den Rumpf und 2/3 auf die Extremitäten. Durch die Längenzunahme der Extremitäten werden in dieser Zeit genetisch oder posttraumatisch bedingte Störungen sowie Gliedmaßenfehlbildungen besonders auffällig.

3. 10. - 16. Lebensjahr

Der **pubertäre Wachstumsschub** bringt die größten körperlichen Veränderungen mit sich. Diese Phase beginnt bei Jungen etwas später und ist stärker ausgeprägt als bei Mädchen. Der Gipfel des Wachstumsschubes liegt dementsprechend beim Jungen um das 14. LJ, beim Mädchen um das 12. LJ. Das verbleibende Längenwachstum entsteht nun – im Gegensatz zu den vorigen Phasen – zu 2/3 im Rumpfbereich und nur noch zu 1/3 im Bereich der unteren Extremitäten. Auch der Thorax zeigt ein intensives Wachstum und vergrößert in dieser Zeit sein Volumen um mehr als 50%. Entsprechend der Wachstumsgeschwindigkeit im Bereich der Wirbelsäule und der strukturellen Schwächung der Epiphysenfugen ist diese Phase für Ossifikationsstörungen (Osteochondrosen, aseptische Osteonekrosen wie Morbus Schlatter, Scheuermann, Köhler etc.),

Rupturen von Wachstumsfugen (Epiphysiolysis capitis femoris) und Verschlechterung von Skoliosen prädisponiert

Krisenzeit der Skelettentwicklung

Anorganische Mineralsalze, die Extrazellulärmatrix mit spezifischer Anordnung der Kollagenfibrillen, bzw. Knochenbälkchen geben dem Knochengewebe eine besondere mechanische Festigkeit. Während des Wachstums entsteht, vor allem im Bereich der Wachstumszonen, ein ausgeprägter Gestaltswandel von der mesenchymalen Knochenanlage bis zur formvollendeten Ausreifung nach der Pubertät.

Das Knochenwachstum kommt durch enchondrales Längenwachstum und durch periostales Breitenwachstum zustande. Die Wachstumsfuge ist zwischen der, jeweils sehr gut durchbluteten Epi- und Metaphyse zwischengeschaltet. Die Zellteilung und damit das enchondrale Längenwachstum erfolgt in der Proliferationszone. Das Längenwachstum wird einerseits durch eine rasche Zunahme der Chondrozytenanzahl, andererseits durch deren starke Volumenvergrößerung im Bereich der Blasenknorpelzone erreicht. Die blasig umgewandelten Knorpelzellen verkalken schließlich in der Ossifikationszone. Die Verkalkung der entstandenen Knorpelzellsäulen kann jedoch mit der Volumenzunahme des Wachstumsknorpels nicht Schritt halten. Die Wachstumsfuge wird weich. Dadurch ist die Ossifikationszone der schwächste Teil der Wachstumsplatte und prädisponiert für die Entstehung von Ossifikationsstörungen im Bereich von Epi- und Apophysen.

Die umspannenden Weichteile wie Sehnen, Bänder und die Muskulatur halten meist mit der hohen Wachstumsgeschwindigkeit der Knochen nicht Schritt und es entsteht eine relative Verkürzung dieser Strukturen. Dies führt zu der so genannten Pubertätssteife der Jugendlichen und häufig auch zu Koordinationsschwächen.

Überlegungen für den Tauchsport

Prinzipiell stellen sich aus orthopädischer Sicht fünf Kernfragen (s.u.). Es gibt wenig „harte Daten“ zu diesem Thema. Die folgenden Beurteilungen sind also eher theoretischer Natur und basieren auf den bekannten Grundlagen der Dekompressionsphysiologie und Biomechanik.

1. Führt eine erhöhte Stickstoffexposition bzw. auftretende „Microbubbles“ zu Schädigungen an den Wachstumsfugen?

Die Wachstumsfugen sind zwar sehr stoffwechselaktive Zonen, besitzen jedoch keine eigenen Blutgefäße. Der Knorpel wird lediglich durch Diffusion ernährt und zählt bei der Berechnung der Sättigungskinetik zu den langsamen Geweben (Halbwertszeit beim Erwachsenen: ca. 300-600 min). Die umliegenden Strukturen der Epi- und Metaphysen sind während des Wachstums sehr stark durchblutet und unterliegen wahrscheinlich kürzeren Halbwertszeiten für Stickstoff, als bei Erwachsenen. Genaue Untersuchungen bei Kindern liegen bislang nicht vor. Man geht jedoch davon aus, dass sich eventuell auftretende Mikrobläschen im stark durchbluteten Bereich zwar ansammeln könnten, jedoch auch wieder schnell herausgewaschen werden würden und es zu keiner kritischen Anreicherung von Stickstoff in der knorpeligen Wachstumsfuge kommt. Dies sind jedoch rein theoretische Überlegungen, da es keine Belege für eine gehäufte Prävalenz von Knochenerkrankungen durch den Tauchsport gibt.

2. Sind tatsächlich Microbubbles bei korrekt getauchten Kinderprofilen nachweisbar?

Studienlage:

Lemaitre et al.: Circulating venous bubbles in children after diving (2009).

Bei Untersuchung an 10 jungen Urlaubstauchern ohne Modifikation der Tauchgangsprofile (12 + 3m / 26 + 7min) konnten keine venösen Gasblasen nachgewiesen werden.

Vandenhoven et al.: Children and diving: medical aspects. Eight years' sports medical. Follow-up of the first scuba diving club for children in Belgium (2003).

Bei der prospektiven Untersuchung an 234 Kindern konnte nachgewiesen werden, dass es nach dem Tauchgang zu keinen messbaren Bläschen gekommen war.

Man geht davon aus, dass bei den für Kinder üblichen geringen Tauchtiefen und Tauchzeiten keine Mikroblasen auftreten, da es nicht zu einer Gewebssättigung kommt. Allerdings ist das untersuchte Kollektiv immer noch vergleichsweise gering und das real getauchte Profil entspricht nicht immer dem Idealzustand.

3. Diskrepanz Tauchtheorie und Praxis (*plan your dive and dive your plan*)

Plan your dive and dive your plan mit idealen Profilen lässt sich, wie unter Punkt 2 bereits erwähnt, bei Kindern erfahrungsgemäß nicht immer 1:1 in die Praxis umsetzen. Jojo-, Auf- und

Abstiege, Überbleiung, Ausrüstungsdefekte oder Missmanagement, kindliche Reaktionsweisen, unvorhersehbare Umwelteinflüsse wie Strömung können zu einem unerwarteten Ausgang des Tauchgangs führen. Das zeigen die Auswertungen der teilweise tödlichen Tauchunfälle bei jungen Tauchern (> 16J.) aus Frankreich, USA und Australien (Bsp. TU in Australien: 14 J. durch Überbleiung und Verlust des Tauchpartners Absacken auf 63 m, Notaufstieg nach Abwurf des Bleigurts).

4. Welchen Einfluss hat eine Druckbelastung auf das wachsende Skelettsystem?

Es gibt keine evidenzbasierte Datenlage über die Effekte einer Erhöhung des Umgebungsdrucks auf das kindliche Skelett. Am wachsenden Knochen spielen eher biomechanische axiale Belastungen durch das Körpergewicht, chronische Überlastungsschäden und Verletzungen eine Rolle. So führt im Tierexperiment eine biomechanische Kompression an den distalen Wachstumsfugen bei Kaninchen zu einer Wachstumshemmung, die den einwirkenden Kräften proportional ist (Bonnell 1983). Andererseits führt die zirkuläre Durchtrennung des Periosts am Röhrenknochen von Kaninchen zu einer Zunahme des Längenwachstums (Wilson-Mac Donald et al. 1990). Beim Tauchen entsteht lediglich eine Erhöhung des Umgebungsdruckes unter weitgehender Aufhebung des Körpergewichts. Dadurch sind - nach heutigem Wissensstand - keine Schäden des wachsenden Knochens zu erwarten.

5. Hat das Handling von schwerem Equipment negative Auswirkungen auf das Skelettsystem?

Die schwere Tauchausrüstung führt jedoch zu einer signifikanten Erhöhung der Gesamttraglast an Land mit erheblicher Steigerung der axialen Belastung für alle gewichttragenden Gelenke und der Wirbelsäule. Durch diese erhöhte Druckbelastung auf die, während den Wachstumsschüben sowieso weichen, Wachstumsfugen könnten Mikrotraumen ausgelöst werden, welche konsekutiv zu Durchblutungsstörungen oder Zerreißen der Wachstumsfugen und den entsprechenden Krankheitsbildern führen (s.o.). Eventuell vorbestehende Fehlstellungen mit Achsenabweichungen (z.B. Genua/Coxa valga/vara, Senkfuß, Skoliosen) verändern die Biomechanik und führen zu unphysiologischen Spitzenbelastungen außerhalb der anatomischen Hauptbelastungszonen. Gewichtsmäßige Mehrbelastung

kann in diesen Bereichen zu erheblichem Stress für die empfindlichen Strukturen führen.

Unter Wasser kann es durch übermäßige Bebleiung und/oder inkorrekt sitzende Ausrüstung, zu Fehlbelastungen der Wirbelsäule kommen. Zu große Flossenblätter erzeugen eine übermäßige Beanspruchung der Sprung- und Hüftgelenke sowie der Wadenmuskulatur.

Konsequenzen für den Tauchsport

Die sich daraus ergebenden Konsequenzen lassen sich leicht aus den vorangegangenen Ausführungen ableiten.

Anfangsalter

Betrachtet man die derzeitige angebotene Variation der Kinderausrüstung mit Manufaktur kleinster Größen, scheint das Eintrittsalter in den Tauchsport ständig zu sinken. Stringente Altersgrenzen sind gegenüber der Industrie und den Ausbildungsorganisationen jedoch nur schwer durchsetzbar und, in Anbetracht der großen individuellen Streubreite der kindlichen Entwicklung, auch aus medizinischer Sicht nur schwer pauschal festzulegen. Dies gilt auch für den Beginn der Wachstumsschübe, zumal dabei große Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen bestehen. Unterschiedliche Altersgrenzen, entsprechend dem Geschlecht, sind jedoch nicht haltbar. Meistens beginnen Kinder während der 2. oder 3. Wachstumsphase mit dem Tauchsport. Legt man die Wachstumsgeschwindigkeit und Prävalenz orthopädischer Krankheitsbilder zugrunde, besteht während des pubertären Wachstumsschubes aus orthopädischer Sicht die größte Gefährdung des wachsenden Knochens.

Tauchmedizinische Vorsorgeuntersuchung

Prinzipiell sollte jedes Kind vor seinem ersten Taucherlebnis tauchmedizinisch ausführlich untersucht werden. Erfahrungsgemäß liegt das Hauptaugenmerk zunächst auf dem Herz-Kreislaufsystem, der Lunge und dem HNO-Bereich. Die allgemeine orthopädische Untersuchung des gesamten Haltungs- und Bewegungsapparates darf darüber jedoch nicht zu kurz kommen. Sie beinhaltet eine ausführliche orthopädische Anamnese, eine klinische Untersuchung der Wirbelsäule, Gelenke, und Muskulatur mit Erfassung von Achsenabweichungen, Fehlstellungen und möglichen funktionellen Einschränkungen sowie eine Beurteilung des Gleichgewichts und Trainingszustand. Liegt eine Erkrankung des Skelettsystems vor, gilt diese bis zur endgültigen Abklärung oder Ausheilung als Kontraindikation für das Tau-

chen. Die Eltern, wie auch das Kind sollten über die Besonderheiten und Risiken, welche beim Tauchen auftreten können, aufgeklärt werden.

Empfehlungen für den Tauchsport aus orthopädischer Sicht

Tauchprofil

Da Mikrobläschen vorwiegend nach tieferen Tauchgängen auftreten, bestehen definierte Limitierungen bezüglich der Tauchtiefe (3 – 12 m) und Expositionszeit (30 - 40 min) für Kinder. Diese hängen vom Alter und dem Ausbildungsstand ab. Prinzipiell sind für Kinder und Jugendliche Tauchgänge außerhalb der Nullzeiten obsolet und jegliche Annäherung an dekompensionspflichtige Profile ist indiskutabel. Lange Oberflächenintervalle und Auslassen von Wiederholungstauchgängen ermöglichen dabei auch eine Entsättigung der langsamen Gewebe.

Tauchausrüstung

Größenangepasstes Equipment ist heutzutage kein Problem mehr, da die Industrie mittlerweile die Ausrüstung auch im XXS-Format anbietet. Aber nicht jede Tauchbasis hat die kleinen Größen auch vorrätig. Vor einer geplanten Tauchreise mit Kindern ist man gut beraten dies vorher abzuklären. Gut sitzende Tarierwesten und eine, auf das notwendige Minimum beschränkte Bebleiung beugen einer Hyperlordosierung unter Wasser vor. Kleine Pressluftflaschen reduzieren das zu tragende Gewicht auf das notwendige Minimum. Bei der Auswahl der Flossen ist ein eher kleines, weiches Blatt, welches die Hüft- und Sprunggelenke schont und Krämpfen vorbeugt einer Flosse, welche auf Vortrieb ausgelegt ist vorzuziehen. Zudem haben große Flossenblätter häufig so viel Auftrieb, dass kleinere Kinder durch die dadurch hervorgerufene Kniegelenksflexion keinen sauberen Flossenschlag durchführen können. Je nach Kopfumfang ist auf kleine Mundstücke zu achten, welche ohne forcierten Biss im Mund gehalten werden können.

Hilfestellung

Es ist keine Schande - weder für das Kind, noch für den Betreuer - wenn die kleinen Taucher jegliche Hilfestellung erhalten, die den Umgang mit der Ausrüstung erleichtert und den Bewegungsapparat schont. Dazu gehört nicht nur Hilfe beim Anziehen der Ausrüstung oder das Tragen von Flasche oder Bleigurt, sondern vielmehr auch schon die Vermeidung langer Wege mit voller Ausrüstung an Land oder schwierige

Einstiege in das Wasser. Eine individuelle Betreuung und, je nach Alter und Ausbildungsstand des Kindes, zum Teil sogar eine 1:1 Betreuung sind wünschenswert.

Zähne

Ein häufig vergessenes Merkmal während der 2. und 3. Wachstumsphase ist der Zahnwechsel. Manchmal kann man Kinder unter Wasser beobachten, die ihren Atemregler mit der Hand festhalten, um dessen Position im Mund zu unterstützen. Dies kann einerseits durch ein zu langes Mundstück oder zu großen Automaten mit unangenehmem Zug nach unten hervorgerufen werden, andererseits schmerzt aber auch der Biss auf das Mundstück bei „Wackelzähnen“. Sitzt der betroffene Zahn schon sehr locker, besteht die Möglichkeit des Zahnverlustes unter Wasser mit nachfolgender Aspirationsgefahr. Die kurze Frage nach dem Zahnstatus (und losen Zahnspangen) vor dem Tauchen beugt diesem Problemen vor.

Zusammenfassung

Belastbarkeit aus orthopädischer Sicht betrachtet, ist die Fähigkeit eines Organismus oder Struktur einer Beanspruchung ohne Schädigung zu widerstehen. Die Belastbarkeit des kindlichen bzw. jugendlichen Organismus kann demgemäß immer nur so groß sein, wie diejenige des schwächsten Gliedes. Zu dem Zeitpunkt, an dem die meisten Kinder mit dem Tauchsport beginnen, sind Herz und Lunge zwar weitgehend ausgereift, jedoch beginnt gerade dann die Phase des pubertären Wachstumsschubes. Wachstum erzeugt physiologische Schwachstellen im kindlichen Skelettsystem. Diese Schwachstellen müssen beim Tauchsport besonders beachtet werden. Dies geschieht durch eine gründliche tauchmedizinische Untersuchung der Kinder, durch die Anpassung einer geeigneten Ausrüstung, weiterführend durch Beachtung der tauchsportspezifischen Besonderheiten, fürsorgliche Hilfestellung und schlussendlich strenge Begrenzung der Tauchzeit und Tiefe.

Da mittlerweile zunehmend mehr Kinder unter 12 Jahren tauchen, können sich auch mehr empirische Daten zur weiteren Erforschung der Auswirkungen auf das wachsende Skelett ansammeln. Dies setzt jedoch voraus, dass diese Daten auch gesammelt, begutachtet und ausgewertet werden.

Anke Fabian

Urs Braumandl in Memoriam

Wir betrauern den tödlichen Unfall von Dr. med. Urs Braumandl am 4.6.2015. Bei einem Motorradausflug mit einem Freund kam Urs vermutlich wegen extrem schlechter Sicht bei tiefstehender Sonne und Blendung bei ca. 60 km/h auf die Gegenfahrbahn und konnte dem Gegenverkehr nicht mehr ausweichen. Alle notfallmedizinischen Bemühungen blieben erfolglos, so dass Urs noch an der Unfallstelle verstarb.

Als Leiter des Druckkammerzentrums in Regensburg (seit 1997) hatte Urs besonderes Augenmerk auch für die Einhaltung von Qualitätsstandards in der HBO Therapie – vor allem zum Schutz der anvertrauten Patienten aber auch zum Schutz unserer Therapieeinrichtungen. Über viele Jahre war Urs Mitglied des Vorstandes des Verbandes deutscher Druckkammerzentren (VDD e.V.). Hier hat Urs mit wesentlichen Impulsen substantielle Beiträge geleistet. Als Leiter des Fachausschusses für Qualitätssicherung erinnerte uns Urs dauernd, Qualität zu sichern und voranzutreiben.

Bereits seit 1988 war Urs Mitglied in der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.). Durch sein umfangreiches Engagement für die HBO-Therapie wurde Urs das höchste von der GTÜM vergebene Diplom „Tauch- und Hyperbarmedizin“ zuerkannt. Zu den so gewürdigten Aktivitäten gehörten: die Beteiligung an zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen und deren Veröffentlichung, die Organisation und Durchführung von zertifizierten Kursen für die Qualifizierung von Mitarbeitern in Druckkammern und Taucher-Ärzten, die Lehrtätigkeit für diese Kurse, besonders aber auch seine Vorlesungen an



der medizinischen Fakultät der Uni Regensburg. Unvergessen bleibt der von ihm organisierte Jahreskongress der GTÜM 2011 in Regensburg.

Leider hat sich im Verlauf der Jahre seit 1997 kein wirklicher Durchbruch der HBO im Bereich Regensburg eingestellt. Die Inanspruchnahme durch Kollegen und Kliniken war nach gutem Beginn nicht ausreichend, und die Finanzierung wurde zunehmend schwieriger. Trotz aller Mühen und damit verbundener persönlicher und finanzieller Entbehrungen war Ende des Jahres 2014 letztlich die Schließung des Instituts für Überdruckmedizin unvermeidlich.

Auch sein Einsatz für eine Verbesserung der Notfallversorgung mit HBO in Bayern konnte bisher nicht positiv zum Abschluss gebracht werden. Besonders bitter war dabei für Urs, dass seine Bemühung zur Verlagerung seines Institutes an eine Regensburger Klinik nicht genügend unterstützt worden war. Erst nach Verkauf seiner Druckkammeranlage wurden Mittel gefunden, die die Etablierung einer Einzelpersonen-Druckkammer dort – aber nur zur behelfsmäßigen Notfallversorgung – realisieren werden.

Mit Urs verliert die Gemeinschaft der Hyperbarmediziner in Deutschland einen ganz außerordentlich engagierten Streiter und Consultant für die HBO. Wir vermissen Urs und werden ihn nicht vergessen.

Dres. K. Hasmler und Chr. Heiden
für die GTÜM e.V. und den VDD e.V.

Kongresse der Fachgesellschaften



ÖGTH-Jahrestagung 2015

Termin: 12. - 13. Dezember 2015 (Sa/So)
Tagungsort: Wien, Universitäts-Sportzentrum Schmelz
Hörsaal 1, Auf der Schmelz 6, 1150 Wien

Nähere Auskünfte: www.oegth.at (Details folgen)

Anerkannt für ÖGTH- und GTÜM-Diplome I und IIa (Punktzahl folgt)



GTÜM-Symposium und Jubiläumsveranstaltung 20 Jahre Druckkammerzentrum Traunstein

Termin: Samstag, 5. März 2016
Tagungsort: Traunstein, Rokokosaal, Stadtplatz
Themenschwerpunkte: HBO-Therapie bei Knochenerkrankungen
Aktuelles zur Tauchunfallbehandlung
Spätschäden durch Tauchen

Ab sofort ist es möglich, Abstracts für Vorträge und Poster einzureichen.

Ansprechpartner: Frau Claudia Wölflé,
Druckkammerzentrum Traunstein,
hbo-traunstein@t-online.de

Anerkannt für GTÜM-Diplome, Punkte anrechenbar für Weiterbildung (Punktzahl folgt)

Kongresse der Fachgesellschaften



SPUMS 45th ASM 2016

Termin: 15. - 21. Mai 2016
Tagungsort: Fiji

Nähere Auskünfte: <http://www.spums.org.au/event/2016-spums-asm-fiji>

Anerkannt für GTÜM-Diplome, 16 Punkte anrechenbar für Weiterbildung



UHMS Annual Scientific Meeting 2016

Termin: 09. - 11. Juni 2016
Tagungsort: Las Vegas, USA

Nähere Auskünfte: www.uhms.org/annual-scientific-meeting/registration.html

Anerkannt für GTÜM-Diplome, 16 Punkte anrechenbar für Weiterbildung



42nd Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society (EUBS) Genf, Schweiz

Termin: 13. - 16. September 2016

Nähere Auskünfte: www.eubs2016.com
eubs2016@ch.kuoni.com

Anerkannt für GTÜM-Diplome, 16 Punkte anrechenbar für Weiterbildung

Kursangebote

Wenn auch Sie Ihre Institution und Seminare oder Kurse im caisson aufgeführt wissen wollen, senden Sie bitte Ihre Daten gemäß 'Hinweise für Autoren' an die Redaktion – bitte auf Datenträger oder via E-Mail: caisson@gmx.net. Wir können leider anderweitig eingereichte Daten nicht berücksichtigen und bitten in eigenem Interesse um Verständnis. Daten, die die Homepage der GTÜM (www.gtuem.org) betreffen, senden Sie bitte an: gtuem@gtuem.org. Das aktuelle Angebot der uns gemeldeten Kurse gemäß GTÜM-Richtlinien finden Sie im Internet auf unserer Homepage www.gtuem.org unter 'Termine/Kurse'. Grundsätzlich können nur Kurse im caisson oder auf www.gtuem.org veröffentlicht werden, die von der GTÜM anerkannt wurden. Näheres finden Sie in der Weiterbildungsordnung der GTÜM. Die Red.

DLRG Tauchturm Berlin

Kontakt: Dr. Wilhelm Welslau
Seeböckgasse 17/2
A-1160 Wien
Tel.: +43 (699) 18 44-23 90
taucherarzt.at@gmx.at
www.taucherarzt.at

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit
Termin: 04.05. – 08.05.2016
Ort: Berlin

Medizinische Hochschule Hannover

Kontakt: Medizinische Hochschule Hannover
Förderverein AINSplus Hannover e.V.
Dr. Björn Jüttner
Carl-Neuberg-Str. 1
30625 Hannover
tauchmedizin@mh-hannover.de
www.tauchmedizin-hannover.de

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit
Termin: 14.01. – 16.01.2016
Ort: Hannover

Universität Düsseldorf

Kontakt: Institut für Arbeits- und Sozialmedizin
Heinrich-Heine-Universität
Dr. T. Muth / S. Siegmann
Universitätsstraße 1
D-40225 Düsseldorf
Tel.: 02 11 / 8 11 47 21
thomas.muth@uni-duesseldorf.de
www.uniklinik-duesseldorf.de

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit
Termin: 04.12. – 06.12.2015
Ort: Düsseldorf

Thema: Tauchmedizin-Refresher
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)
Termin: 22.01. – 23.01.2016
Ort: Düsseldorf

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit
Termin: 18.03. – 20.03.2016
Ort: Düsseldorf

Druckkammerzentren Rhein-Main-Taunus

Kontakt: im AGZ Wiesbaden (1. OG)
Schiersteiner Straße 42
D-65187 Wiesbaden
Tel.: 06 11 / 84 72 71 70
info@hbo-rmt.de
www.hbo-rmt.de

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit
Termin: 02.10. – 04.10.2015
Ort: Wiesbaden

Thema: Tauchmedizin-Refresher
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)
Termin: 03.10. – 04.10.2015
Ort: Wiesbaden

Thema: GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt
Termin: 05.10. – 10.10.2015
Ort: Wiesbaden

Kursangebote

Druckkammerzentrum Murnau

Kontakt: BG-Unfallklinik Murnau
Sekretariat Druckkammerzentrum-HBO
Postfach 1431
D-82418 Murnau
Tel.: 0 88 41/48 27 09
hbo@bgu-murnau.de
www.bgu-murnau.de
Thema: GTÜM-Kurs IIb – Druckkammerarzt
Termin: 09.10. – 18.10.2015
Ort: Murnau

Universität Ulm

Kontakt: Akademie für Wissenschaft, Wirtschaft
und Technik an der Universität Ulm e.V.
Viola Lehmann, Heidenheimer Str. 80
D-89075 Ulm
Tel.: +49 (0)731/50-25266
akademie@uni-ulm.de
www.uni-ulm.de/akademie

Thema: Tauchmedizin-Refresher
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)
Termin: 21.11. – 22.11.2015
Ort: Ulm

taucherarzt.at – Wien

Kontakt: Dr. Wilhelm Welslau
Seeböckgasse 17/2
A-1160 Wien
Tel.: +43 (699) 18 44-23 90
taucherarzt.at@gmx.at
www.taucherarzt.at

Thema: GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt
Termin: 03.12. – 06. 12. 2015 (Teil 2)
Ort: Wien

Thema: Tauchmedizin-Workshop
(inkl. 16 UE für GTÜM-Diplome I und IIa)
Termin: 08.04. – 18.04. 2016
Ort: Malediven, M/S Nautilus Two

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit
Termin: 25.05 –29.05.2016
Ort: Wien

Thema: GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt
Termin: 01.09. – 04.09.2016 (Teil 1) und
08.12. – 11.12.2016 (Teil 2)
Ort: Weyregg am Attersee (Teil 1) + Wien (Teil 2)

Thema: Tauchmedizin-Workshop
(incl. 16 UE für GTÜM-Diplome I und IIa)
Termin: 28.02. – 09.03.2017
Ort: Malediven, M/S Nautilus Two

Dr. W. Hühn – Wetzlar

Kontakt: Gunter Schendel
gschendel@aol.com

Thema: Tauchmedizin-Refresher
(16 UE für GTÜM-Diplome I und IIa)
Termin: 25.10 – 31.10.2015
Ort: Santa Ponsa / Mallorca

.....

Zertifizierte Veranstaltungen

11. Symposium für Tauchmedizin in Hannover

Termin: 10. Oktober 2015
Tagungsort: MHH, Hörsaal R, Carl-Neuberg-Straße 1, 30625 Hannover
Veranstalter: Förderverein AINSplus Hannover e.V., Dr. Björn Jüttner
Nähere Auskünfte: www.tauchmedizin-hannover.de
anerkannt für GTÜM-Diplome I und IIa (6 UE + 2 UE f. Workshops)

DLRG Tauchmedizin-Symposium 2015

Termin: 17. Oktober 2015
Tagungsort: Karlsruhe, Pädagogische Hochschule (Bismarckstraße 10)
Veranstalter: DLRG Landesverbände Baden, Rheinland-Pfalz, Saar und Württemberg
Nähere Auskünfte: <http://tauchmedsymp.dlrg.de>
anerkannt mit 8 UE für GTÜM-Diplome I und IIa

7. Leipziger Tauchmedizinfortbildung

Termin: 17. - 18. Oktober 2015
Tagungsort: Universitätsklinikum Leipzig
Veranstalter: DRK KV Leipzig-Stadt e.V. OV Wasserwacht Leipzig-Stadt
Nähere Auskünfte: tauchmedleipzig-info@yahoo.de
www.wasserwachtleipzig.de
www.hbo-leipzig.de
anerkannt mit 8 UE für GTÜM-Diplom I und IIa
(bei Praxisteilnahme + 2 UE)

14. Medizinseminar Essen

Termin: 28. - 29. November 2015
Tagungsort: Univ.-Klinikum Essen
Veranstalter: TSV NRW e.V.; Sachabteilung Medizin; Dr. med. K.H. Schmitz
Nähere Auskünfte: info@tsvnrw.de
anerkannt mit 8 UE für GTÜM-Diplom I und IIa

12. Intensivseminar Tauchunfall

Termin: 6. - 7. Mai 2016
Tagungsort: Regensburg
Veranstalter: Hubertus Bartmann
Nähere Auskünfte: tauch@t-online.de, www.tauch-unfall.de
anerkannt mit 16 UE für GTÜM-Diplome I und IIa

Kontaktadressen GTÜM

Stand 30.08.2015

Engerer Vorstand

Präsidentin

Dr. med. Karin Hasmler
Anästhesistin
BG – Unfallklinik Murnau
Prof. Küntscherstraße 8
D-82418 Murnau
Tel.: +49 (0)88 41-48 2709
k.hasmler@gtuem.org

Vize-Präsident

FLA Prof. Dr. Andreas Koch
Sektion Maritime Medizin am Inst.
für Experim. Medizin des UKSH
Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel
c/o Schifffahrtmed. Inst. d. Marine
Kopperpähler Allee 120
D-24119 Kronshagen
Tel.: +49 (0)431-5409/1503
a.koch@gtuem.org

Sekretär

Prof. Dr. med. Kay Tetzlaff
Internist/Pneumologie
Medizinische Klinik,
Abteilung Sportmedizin
Universitätsklinikum Tübingen
Hoppe-Seyler-Straße 6
D-72076 Tübingen
Tel.: +49 (0)151-15 02 17 84

Schatzmeister

Dr. med. Lars Eichhorn
Klinik f. Anästhesie und
Operative Intensivmedizin
Universitätsklinikum Bonn
Sigmund-Freud-Straße 25
D-53127 Bonn
Tel.: +49 (0)171-233 6037
l.eichhorn@gtuem.org

Erweiterter Vorstand

Redakteur CAISSON

Dr. med. Wilhelm Welslau
Arbeitsmediziner
Seeböckgasse 17
A-1160 Wien
Tel.: +43 (699)18 44-23 90
Fax: +43 (1)944-23 90
caisson@gmx.net

Beisitzer

Dr. med. Christian Beyer
Facharzt f. Kinder-Jugendmedizin
Wandsbecker Marktstraße 69-71
D-22041 Hamburg
Tel.: +49 (0)40-682400
Fax: +49 (0)40-685520
c.beyer@gtuem.org

Dr. med. Andreas Fichtner, MME
Klinik f. Anästhesiologie u. Intensivtherapie
Klinikum Chemnitz gGmbH
Flemmingstraße 2
D-09116 Chemnitz
Tel.: +49 (0)3 71-33333 72
a.fichtner@gtuem.org

PD Dr. med. Björn Jüttner
Anästhesist
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Straße 1
D-30625 Hannover
Tel.: +49 (0)176-15 32 36 89
b.juettner@gtuem.org

Dr. med. Dirk Michaelis
Anästhesist/Betriebswirt
Druckkammerz. Rhein-Main-Taunus
Schiersteiner Straße 42
D-65187 Wiesbaden
Tel.: +49 (0)6 11-84 72 7170
d.michaelis@gtuem.org

Oliver Müller
Anästhesist
Vivantes Klinikum im Friedrichshain
Landsberger Allee 49
D-10249 Berlin
Tel.: +49 (0)30-130231570
o.mueller@gtuem.org

Prof. Dr. med. Claus-Martin Muth
Leiter der Sektion Notfallmedizin
Universitätsklinikum Ulm
Prittwitzstraße 43
D-89075 Ulm
Tel.: +49 (0)731-5006 0140
Fax: +49 (0)731-50 06 0142
c.muth@gtuem.org

Vorsitzender des VDD e.V.

Michael Kemmerer
Druckkammerzentrum RMT
Schiersteinerstraße 42
D-65187 Wiesbaden
Tel.: +49 (0)6 11-84727170
Fax: +49 (0)6 11-8472 7179
m.kemmerer@hbo-rmt.de

Ansprechpartner

Geschäftsstelle GTÜM

Dunja Hausmann
BG-Unfallklinik Murnau
Prof. Küntscherstraße 8
D-82418 Murnau
Tel.: +49 (0)88 41-48 2167
Fax: +49 (0)88 41-48 2166
gtuem@gtuem.org

Druckkammer-Liste

Dr. med. Ulrich van Laak
DAN Europe Deutschland
Eichkoppelweg 70
D-24119 Kronshagen
Tel.: +49 (0)4 31-54 42 87
Fax: +49 (0)4 31-54 42 88
u.vanlaak@gtuem.org

Forschung

Prof. Dr. med. Andreas Koch (s.o.)

Leitlinien-Beauftragter

PD Dr. med. Björn Jüttner (s.o.)

Literatur-Datenbank

Prof. Dr. Jochen D Schipke
Wildenbruchstraße 10
D-40545 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211-579994
j.schipke@gmx.org

Recht

Benno Scharpenberg
Präsident des Finanzgerichts Köln
Brandenburger Straße 11
D-41539 Dormagen
Tel.: +49 (0)171-748 35 13
b.scharpenberg@gtuem.org

Taucherarzt-Liste

gtuem@gtuem.org

Tauchmedizin

Prof. Dr. med. Kay Tetzlaff (s.o.)
Dr. med. Christian Beyer (s.o.)
(Dr. Beyer nur für Kinder und Jugendliche)

Webmaster

Müller, Oliver (s.o.)

Weiterbildung

Dr. med. Andreas Fichtner (s.o.)
(Erstdiplome)
Dr. med. Dirk Michaelis (s.o.)
(Verlängerungen)
Prof. Dr. Claus-Martin Muth (s.o.)
(Veranstaltungen/Kurse)

HAUX-QUADRO Systems: Innovations for HBO Technology



HAUX-LIFE-SUPPORT GmbH
Auf der Hub 11-15
DE-76307 Karlsbad, Germany

Tel.: +49-(0)7248 9160-0
info@hauxlifesupport.de
www.hauxlifesupport.de

Anzeige



Ausbildung & Refresher-Kurse

Direkte internationale Anerkennung seit 2008: DMAC / EDTCmed & ECHM / ECB, GTÜM- & ÖGTH- anerkannt.



Praxis Attersee (Kurs IIa)

unsere nächsten Termine

Kurs IIa Tauchmedizin: Wien 3.-6.12.15 (Teil 2)

Refresher (16 UE): Malediven, M/S Nautilus Two 8.-18.4.16 (ausgebucht)

Kurs I Tauchtauglichkeits-Untersuchungen: Berlin 4.-8.5.16

Kurs I Tauchtauglichkeits-Untersuchungen: Wien 25.-29.5.16

Kurs IIa Tauchmedizin: Attersee 1.-4.9.16 Teil 1 / Wien 8.-11.12.16 Teil 2

Refresher (16 UE): Malediven, M/S Nautilus Two 28.2.-9.3.17

Einzelheiten & aktuelle Kurse: www.taucherarzt.at. Fragen bitte an: taucherarzt.at@gmx.at
Kursankündigungen auch auf: www.gtuem.org (GTÜM) und www.oegth.at (ÖGTH)

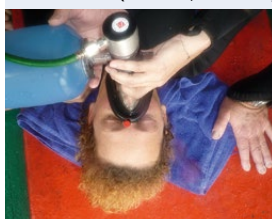
46 Kurse in den letzten 11 Jahren. Deutschland, Österreich, Thailand, Malediven > 800 Absolventen aus: Deutschland, Österreich, Schweiz, Italien, Luxemburg, Niederlande, GB, Malediven, Thailand...

Leitung: **Wilhelm Welslau**, Taucherarzt seit 1988, Tauchmedizin-Kurse seit 1992, Diving & Hyperbaric Medicine Consultant seit 2002, Member of EDTC/ECHM Joint Educational Committee seit 2009.

Referenten (v.l.n.r.): **Wilhelm Welslau**, R. **Prohaska** (ÖGTH-Präsidentin), U. **van Laak** (Direktor DAN Europe D, A und H), J. **Zimmermann** (ehem. Techn. Direktor von HAUX), K.P. **Faesecke** (Caisson-Experte – tunneldoc.de), F. **Hartig**, (TecDive-Experte, diving-concepts.at), P. **Kemetzhofer** (notfallmedizin.or.at), A. **Männer** (ehem. Berufstauchfirma Nautilus, www.nautilus-two.at)



Druckkammer (Refresher, Malediven)



Refresher, Nautilus Two, Notfallübung



Als Experten verfügen alle Referenten über **große praktische Erfahrung** in ihren Fachbereichen: Tauchtauglichkeit, Tauchen mit Handicap, Tauchunfall-Behandlung, Tec. Tauchen, Apnoe, Forschungstauchen, Berufstauchen, Druckluftarbeit, HBO-Therapie, Druckkammer-Technik und Notfallmedizin. **Zu Spezialthemen laden wir jeweils weitere Experten ein.**

caisson

Vorstand der GTÜM - BG Unfallklinik Murnau
Prof. Küntscher-Straße 8 | 82418 Murnau
PVSt, Deutsche Post AG, Entgelt bezahlt, Z K Z 62369



HBO-Druckkammer der Universitätsklinik (AMC) Amsterdam (Fotos: W. Welslau)