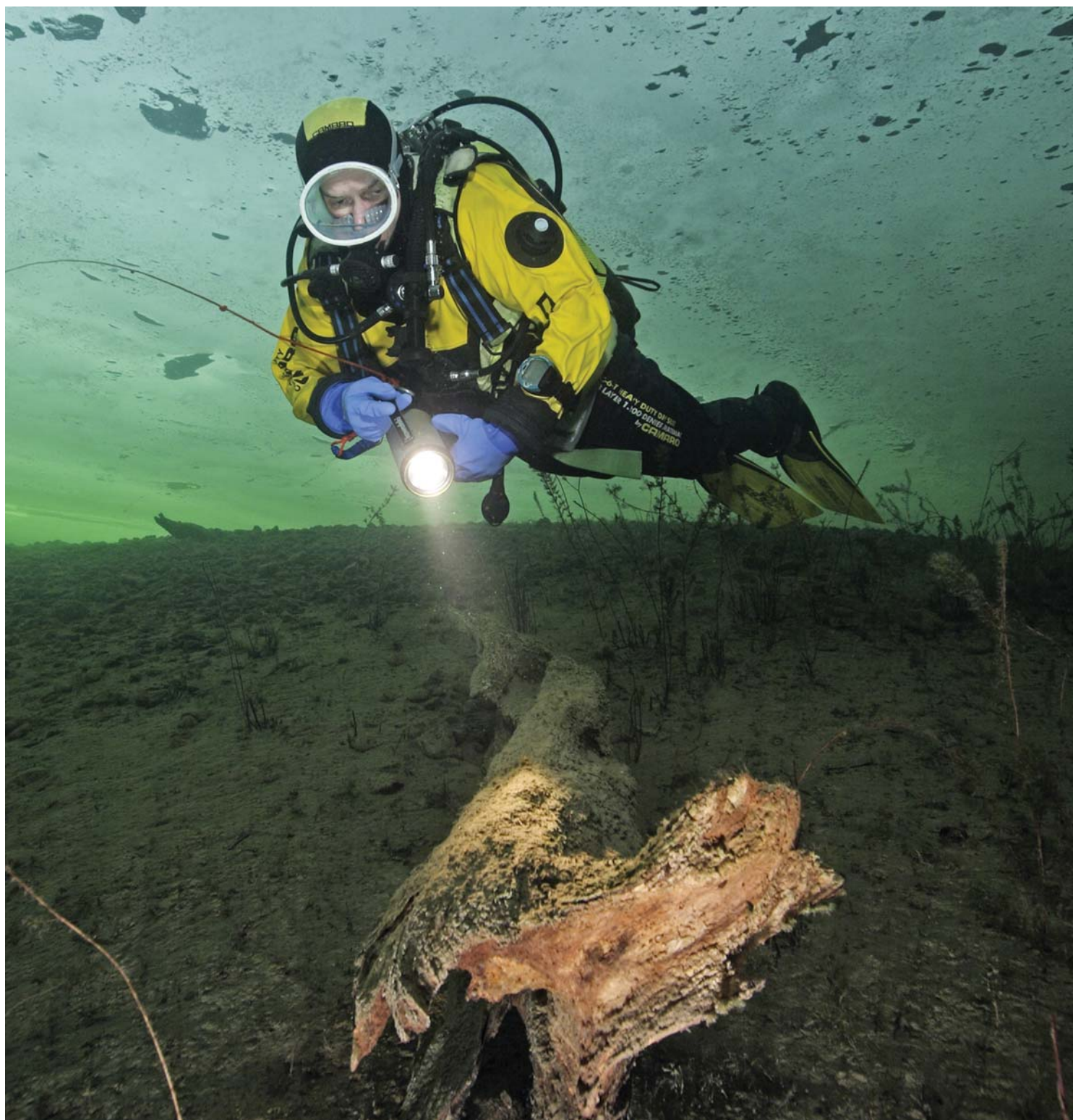




# CAISSON

25. Jg. März 2010 Nr. 1

Mitteilungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin





**Zum Titelbild:** Eistauchen gehört mit zu den schönsten Erlebnissen beim Tauchen. Phantastische Sichtweiten und das durch die Eisschicht unrealistisch einfallende Sonnenlicht machen die Taucherlebnisse unvergesslich. Allerdings gehört Eistauchen wegen der Temperaturverhältnisse und der Unmöglichkeit, direkt aufzutauchen zu den schwierigen Disziplinen der Sporttaucherei. An Taucher und Ausbildung werden daher besondere Anforderungen gestellt. Häufig scheinen die hohen Anforderungen an die Ausrüstung nicht einmal für das Bergseetauchen gut bekannt zu sein. Siehe auch den Beitrag auf Seite 9 ff.

Foto: W Pölzer

## Eistauchen: Nicht ohne Erfahrung



Es war ein langer, kalter Winter. Da durfte auch eisgetaucht werden. Nichts für Anfänger. Eistauchen fordert Erfahrung, eine gute Ausrüstung und eine solide körperliche Verfassung. Entsprechende Kurse und/oder Seminare werden von einer Reihe von Tauchbasen angeboten, z.B. bei Attersee diving.

**Abb. 1 und 2:** Eistauchen in der Ferienregion Attersee, Salzkammergut, Österreich

Eine für Sporttaucher gut geeignete Literatur ist Werner Scheyer's 'Trockentauchen, Eistauchen, Bergseetauchen, Suchen und Bergen'.

Beim Verband Deutscher Sporttaucher hat der Fachbereich Ausbildung bereits vor gut drei Jahren Standards für das Tauchen unter Eis erarbeitet und veröffentlicht (<http://www.ausbildung.vdst.de>)



**Abb. 3:** Tauchen unter Eis im offenen Meer – Arktis und Antarktis – wird häufig zu Forschungszwecken durchgeführt. Dieses Bild wurde von einem steuerbaren Unterwasser-Fahrzeug aufgenommen

© Emory Kristof

## Editorial

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,  
sehr geehrte Mitglieder der GTÜM!

### BOOT

Die **BOOT 2010** (Messe Düsseldorf, 23.-31. Jan.) war für die GTÜM wieder einmal ein voller Erfolg. Dank der 4 verschiedenen Druckkammern (containerisierte Behandlungskammer, Taucher-Druckkammer, zwei verschiedene Transport-Druckkammern) war der Stand ein Publikums-magnet. Viele Besuchern nutzten die Gelegenheit zum 'Probesitzen' oder 'Probeliegen'. An dieser Stelle noch einmal Herzlichen Dank an **Haux Life Support** für die kostenlose Bereitstellung der Druckkammern und an **DAN Europe** für die freundliche Aufnahme als 'Mitaussteller' auf ihren Messestand!

Neben den bekannt vielen Tauchern mit Fragen nach qualifizierten Taucherärzten suchten im Vergleich zu den Vorjahren deutlich mehr Ärzte den direkten Kontakt zu GTÜM-Mitarbeitern auf dem Messestand. Der als **BOOT-Caisson** nun schon im vierten Jahr auf der Messe verteilte Caisson (Nr. 4/2009) fand viele dankbare Abnehmer unter den Besuchern der 'Taucher-Halle' (Halle 3). Der Caisson wurde außerdem an die Teilnehmer der VDST-Ausbildertagung (700 Ex.!) und der Barakuda-Tauchlehrertagung verteilt.

Ein weiteres Highlight waren in diesem Jahr die in Kooperation mit der GTÜM organisierten **DAN Divers Days**, die erstmals im Rahmen der 'BOOT' als anerkannte Weiterbildung für GTÜM-Taucherärzte stattfanden. Dank hochkarätiger internationaler Referenten war die Veranstaltung trotz erheblicher Veranstaltungskonkurrenz auf der Messe gut besucht.

### Weiterbildung

Seit Einführung der **CME-Verpflichtung** ('continuous medical education') für GTÜM-Diplome, die durch die Anpassung an die europäischen Ausbildungs-Standards von ECHM und EDTC in 2002 notwendig wurde, erreichen uns immer wieder Fragen nach Weiterbildungsmöglichkeiten. Ich möchte daher noch einmal auf die

### ständig aktualisierte 'Liste anerkannter Veranstaltungen'

auf [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) hinweisen, die im 'Download-Bereich' herunter zu laden ist. In 2006 bis 2009 waren jährlich 32 bis 35 verschiedene Veranstaltungen von der GTÜM als Weiterbildung anerkannt. Hierbei handelt es sich um so genannte Refresher-Kurse, Workshops und Kongresse.



### GTÜM

Die GTÜM wächst und gedeiht. Nach der Gründung mit 9 Mitgliedern im Jahr 1983 ging es bisher stetig bergauf. Bis 2000 hatte die GTÜM 595 zahlende Mitglieder. Bis 2005 stieg die Zahl der Mitglieder weiter auf 758. Heute zählt die GTÜM **949 Mitglieder**. Aufgrund dieser erfreulichen Entwicklung muss der seit 1999 (bis auf Euro-Anpassung) unveränderte **Mitgliedsbeitrag** von 65,- € trotz Ausweitung der Serviceleistungen in den letzten Jahren aus Sicht des Vorstandes bis auf Weiteres nicht erhöht werden ☺

### CAISSON

Der CAISSON **wird 25!** Begonnen hatte es 1986 mit einem 12 Seiten-Heft im DIN A5-Format, mit Innenseiten und Umschlag in gleicher zurückhaltender S/W-Qualität. Die Auflage betrug damals bereits sendungsbewusste 500 Stk. Lesen Sie doch einmal nach! Auf [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) finden Sie unter <CAISSON online>/<Archiv> alle alten Caisson-Ausgaben. Bis heute ist der CAISSON zu einer ausgewachsenen Zeitschrift geworden, auf die wir sehr stolz sind. Viel Spaß beim Lesen des neuen CAISSON !

Ihr Wilhelm Welslau

Leserbrief zur Fallbeschreibung 'Arterielle Gasembolie einer Elfjährigen...' Caisson 04/2009

## Diagnosis ex juvantibus

U van Laak

Michael Euler und Mitarbeiter haben in CAISSON 2009 Nr. 4 die Beschreibung eines Tauchunfalls einer Elfjährigen veröffentlicht. Die Autoren bewerteten das Ereignis als sogenanntes „Air-trapping“ beim Apnoetauchen in einer Wassertiefe von nur 1,36 m als arterielle Gasembolie (AGE), welche zu einer rechtshemisphärischen Symptomatik geführt haben soll. Die junge Patientin hatte zum Zeitpunkt des Schwimmbadbesuchs einen

abklingenden Infekt der oberen Atemwege, bei einer bekannten Neigung zur Obstruktion.

Ich stimme dieser Bewertung nicht zu und empfehle eine kritische Neubetrachtung. Die Diagnose einer AGE



U van Laak

bei minimaler Wassertiefe ohne Atmung komprimierter Luft sollte so nicht stehen bleiben. Sie ist durch nichts gerechtfertigt und von daher nur eine Mutmaßung, zudem auch noch eine höchst unwahrscheinliche.

### Was war passiert?

Die Elfjährige tauchte mit ihrem Vater im flachen Bereich des Schwimmbades um die Wette, wobei über die wichtigen Aspekte der zurück gelegten Strecke ebenso wenig berichtet wird, wie über den Erfahrungsgrad der Elfjährigen in Bezug auf Unterwasserschwimmen. Auf Nachfrage konkretisiert sich die Tiefenangabe von 1,36 m als die maximale Tiefe des Tauchbeckens. Von daher muss sich die Elfjährige zwar irgendwo unterhalb der Wasseroberfläche befunden haben, ihr Thoraxmittelpunkt vielleicht auf 1 m Tiefe, wenn man von Schwimmen unter Wasser ohne Bodenberührung ausgeht. Die Strecke war eher kurz, keinesfalls eine Schwimmbadlänge. Unklar bleibt, ob es sich bei diesem sehr flachen und sehr kurzen um das erste „Streckenwettauchen“ der jungen Patientin gehandelt hat. Vielleicht hat sie sich unwahrscheinlicher Weise ja auch im massiven „buccal pumping“ geübt, was zur Erklärung einer AGE hätte beitragen können. Genauere anamnestische Angaben hätten der Diskussion sicher gut getan.

Unmittelbar nach Beendigung des Apnoetauchgangs kam es zu Luftnot, Thoraxschmerzen und Blackout über bis zu 2 min. Später im Krankenhaus bestanden Kopfschmerzen und Schwindel, Unsicherheiten beim Romberg-Versuch mit Drehschwindel, sowie abgeschwächte Sensibilität der gesamten linken Körperhälfte. Röntgen Thorax, MRT Schädel und Herzecho waren insbesondere unauffällig.

Auch die Autoren selbst werden sich bei der Indikationsstellung zur HBO-Therapie wegen AGE nicht so ganz wohl gefühlt haben. Das Therapieprotokoll TS 50-60 ist mit 150 kPa über 60 min ist nun wirklich nicht Leitlinienkonform für einen AGE-Verdachtsfall. Immerhin, nach der HBO-Therapie war die Elfjährige wieder fit.

Gleichwohl hat nicht jeder, der heilt, auch Recht.

Ein HR-CT zur Ursachenabklärung der doch heftigen Verdachtsdiagnose wurde nachher nicht durchgeführt. Dabei wäre es schon von prominenter Bedeutung gewesen zum Beispiel eine zystische Veränderung oder Bronchiektasen (einer chronisch obstruktiven Patientin) auszuschließen, auch, um der Elfjährigen eröffnen zu können, wie tief sie denn zukünftig die Nase unter Wasser halten darf, so sie es noch will.

Was immer zu dem Blackout mit nachfolgender Bewusstseinsstörung geführt haben mag, eine AGE stelle ich in Abrede. Es sollte besser nicht über alternative Diagnosen spekuliert werden, denn die Datenlage ist weich. Es will mir aber nicht aus dem Kopf, dass es sich hier bei ungeübter Technik um ein vagovasales Ereignis gehandelt haben kann.

Völlig korrekt weisen die Autoren (Literatur 2) darauf hin, dass es beim Üben des Notaufstieges aus gewässerten

Hubschraubern bereits aus nur 1 m Wassertiefe zur AGE gekommen ist. Hierbei wurde komprimierte Luft aus dem Notatemgerät geatmet. Literatur 12 beschreibt den Fall eines Poolreinigers, der 50-mal hintereinander in bis zu 2 m Tiefe tauchte, dabei unter Wasser hustete und ein Mediastinalemphysem entwickelte. Beide Fälle von Lungenüberdehnung sind nachvollziehbar, für den vorliegenden Fall aber mangels Vergleichbarkeit nicht von Relevanz.

In der Literatur findet man allenfalls in Chest 1982 eine vergleichbare Diskussion (1). Ein 21-Jähriger musste seinen zweiten Apnoeversuch in einem knapp 2 m tiefen Pool knapp 25 m weit zu tauchen abbrechen, tauchte mit Druck auf der Brust auf, klagte über Übelkeit und schweren Vertigo, erbrach sich einmal und geriet in einen schweren Grand-Mal Anfall infolge dessen er trotz sofortiger ACLS in einem militärischen Umfeld in absoluter Arrhythmie verstarb. Weil die Obduktion ein Mediastinalemphysem und Luft im rechten Herzen zeigte, wurde die Diagnose einer schweren systemischen AGE gestellt. Allerdings war während der ACLS-Maßnahmen auch ein Subclavia-Katheter gelegt worden.....

Unter allen DCI ist die AGE in der Tat eher selten, womöglich haben die Statistiken meldebedingte falsch negative Fehler. Aber aus der U-Boot-Rettungsausbildung mit freien Aufstiegen aus 30 m Wassertiefe und einer Aufstiegsgeschwindigkeit je nach Rettungsmittel von bis zu 4 m/s kennen wir die Inzidenz der AGE ziemlich genau: ~ 1 %. Dabei handelt es sich aber auch um eine massive Druckbelastung der Atemwege. So wundert es nicht, dass bereits in den 50er Jahren U-Boot-medizinisch arbeitende Tauchphysiologen wie K.E. Schaefer und M.S. Malhotra im Tiermodell zu intraatrachealen Überdrucken von 80 mmHg und mehr kamen, welche zur AGE führten.

Wir sollten von daher sehr zurückhaltend damit sein, Minimaexpositionen ohne Überdruck in Apnoe knapp unter der Wasseroberfläche und ohne penible Diskussion anderer möglicher Erklärungen nur deswegen ex juvantibus zur AGE zu erklären, weil unscharfe Symptome nach einer minimalen HBO-Therapie verschwanden. Dafür gibt es keinerlei robuste tauchmedizinische Grundlagen.

Es darf weiter munter unter der Wasseroberfläche geschwommen werden!

### Korrespondenzadresse

Dr. Ulrich van Laak

DAN Europe

vanlaak@watersafety.net

### Literatur

1. Bayne CG, Wurzbacher T. Can pulmonary barotrauma cause cerebral air embolism in a non-diver? Chest 1982; 81; 648-650



## Tauchen

### Technisches Tauchen – Innenansicht einer Freizeitbeschäftigung

A Salm

Es wird versucht, einigen Begleiterscheinungen des Phänomens 'technisches Tauchen' etwas näher zu kommen und für Nicht-Tech-Taucher darzustellen. Hierfür wird die vorhandene tauchmedizinische Standardliteratur [62,63,64,75] benutzt, die außer [62], kein explizites Kapitel zum Thema enthält, wohl aber ausführlich den Bereich 'Mischgastauchen' beleuchtet. Weiterhin sind interessante Bemerkungen von Dr. Simon J. Mitchell (Dept. of Anesthesiology, Auckland City Hospital) aus dem aktuellen Dokument der Undersea & Hyperbaric Medical Society (UHMS) von 2008 ([109], S. 63 ff) zu entnehmen, sowie Beobachtungen aus eigener Erfahrung\*.

#### 1. Was ist technisches Tauchen?

(technical diving, TECH-, TEK-, TEC- ...)

Es gibt eigentlich keine allgemein anerkannte Definition. Wohl gibt es aber mindestens vier Parameter, die technisches Tauchen deutlich vom Sport-/Erholungstauchen unterscheiden:

- Tauchtiefe und Tauchgangsdauer,
- Verwendung von Gasgemischen,
- virtual ceiling und
- Aufwand an Planung und Ausrüstung.

En detail sind diese vier Parameter so zu umschreiben:

**Tauchtiefe und Tauchgangsdauer.** Die Tauchgänge sind tiefer und dauern länger als reguläre Tauchgänge aus dem Sporttaucher-Bereich; tiefer als 40 m, länger als 1 h.

**Verwendung von Gasgemischen.** Es werden andere Gemische als Druckluft verwendet. Oft mit Helium, dann Trimix genannt (von Tri = 3; O<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub>). Die Dekompression wird üblicherweise mit Nitrox (EANx = Enriched Air Nitrox, also mit O<sub>2</sub>-angereicherte hyperoxische N<sub>2</sub>-Mischung) bis hin zu EAN98 (~ reiner O<sub>2</sub>), durchgeführt.

**Virtual ceiling und overhead environment.** Beides hat mit Decken zu tun. Virtual ceiling bedeutet eine gedachte, nicht-vorhandene Decke durch eine Dekompressionsverpflichtung. Overhead environment meint eine reale Decke bei Höhlen-, Wrack- oder Eistauchgängen. Ein direktes Auftauchen zur

Oberfläche ist in beiden Fällen nicht möglich.

#### Aufwand an Planung und Ausrüstung.

Nehmen wir an, wir wollen einen 50 m-Tauchgang mit 20 min Grundzeit durchführen. Bei einem Oberflächen-Atemminutenvolumen von 25 l/min ist allein durch die Grundphase (6 bar • 20 min • 25 l/bar • min • 1,5) mit einem Atemgasbedarf von 4.500 l zu rechnen; ein Sicherheitsfaktor von 1,5 ist berücksichtigt. Schon bei diesem Atemgasvolumen wird klar, dass die Parameter 'Tiefe und Zeit' alle anderen Parameter triggern. Hinzu kommt die dazugehörige Dekompressionsphase. Mit Druckluft würde die Dekompression ca. 30 min (im Bereich ab 12 bis 3 m) dauern, durch geschicktes Wechseln auf Nitrox kann diese Zeit verkürzt werden, ohne dabei die Gesundheit zu gefährden. Die hierdurch erhöhte O<sub>2</sub>-Exposition wird durch die Bewertungsverfahren (NOAA/R.W. Hamilton) vor Beginn des Tauchganges berechnet und kontrolliert. Dieses und die komplette Gasbedarfs-Planung in der Grund- und Auftauchphase geschehen üblicherweise mit Unterstützung eines PC-Programmes. Somit ist die Ausstattung mit z. B. einem Doppelgerät (2 • 12 l) für Trimix, mehrere Zusatz-(Stage-)Tanks mit EAN kein Selbstzweck (Abb. 1). Ganz augenscheinlich, und auch unterstützt von entsprechenden Berichten in den unzähligen Taucher-Magazinen, sind die Redundanzen. Die Philosophie: 'Alles, was Dich am Leben hält, solltest Du zweimal haben' ist im Sporttauchen unbekannt aber bei TEC-Tauchgängen unumgänglich, wenn die persönliche Sicherheit nicht kompromittiert werden soll.



A Salm

#### 2. Abgrenzung

Im Fokus der hier beschriebenen Innenansichten sind ausschließlich diejenigen Taucher, die eine entsprechende Ausbildung und die hierzu passende Ausrüstung haben. Technisches Tauchen hat nichts damit zu tun, dass sich Menschen, egal ob mangels Ausbildung oder mangels Ausrüstung, mit latent oder manifester, suizidaler Absicht in die Tiefe stürzen, um Ähnliches wie die Tekkies auszuprobieren. Es sind aber genau diese Adepten, die technisches Tauchen in Verruf brachten.

A Salm

CAISSON 2010;25(1):5-9



**Abb. 1:**

TEC Taucher  
mit Grundausrüstung

© Global Underwater  
Explorers,  
www.gue.com

Foto: A. Rue

[http://www.gue.com/files/page\\_images/equipment/Config/true\\_wkp\\_diver-back.jp](http://www.gue.com/files/page_images/equipment/Config/true_wkp_diver-back.jp)

### 3. Motive und Zielgruppe

Beweggründe, die Strapazen und Kosten auf sich zu nehmen, sind sicherlich Forscherdrang, Experimentierfreude und ein gewisser Pioniergeist, um zu tiefen Wracks, unberührten Riffen oder Höhlen vorzudringen. All diesen Tauchgängen, die außerhalb der Reichweite des üblichen Sporttauchens liegen, ist der technische und planerische Aufwand gemeinsam, um diese sicher zu Ende zu bringen.

Persönlichkeitsprofile von technischen Tauchern:

- große taucherische Erfahrung;  
oft > 500 Tauchgänge,
- zahlreiche Zusatzausbildungen, insbesondere von verschiedenen Ausbildungsorganisationen,
- technisch orientiert, handwerklich versiert,
- Risikobewusstsein,
- Zeit und Geld: pro Kurs-Modul, das ja auch etwas kostet, gehen leicht mehrere Wochen ins Land. Eine Trimix-Füllung eines Doppel-12er-Gerätes kann mit 120,- € zu Buche schlagen. Und dann die Grundausrüstung mit ca. vier Flaschen, vier Atemreglern, zwei Lampen, zwei Mischgascomputern, etc. Ganz zu schweigen von Scooter, Gasanalyzer oder gar einem Ultraschall-Dopplermessgerät
- körperliche Fitness leicht überdurchschnittlich: ein gefülltes Doppel-12er-Paket wiegt ab 40 kg aufwärts, mit zwei Zusatz-Flaschen (Stage Tanks) werden leicht 100 kg erreicht und
- oft auch überdurchschnittliches Englisch: die meisten aktuellen Materialien sind aus dem angloamerikanischen Sprachraum und nicht sofort als Übersetzungen erhältlich.

Edmonds z.B. schreibt bei Charakteristika von technischen Tauchern weiterhin so nett von 'toy oriented, high IQ, obsessional, studiosus, ...' ([62], S. 619ff).

### 4. Ausbildungsorganisationen

Cum grano salis kann man eher pragmatische oder eher dogmatische Ausbildungssysteme unterscheiden:

**Pragmatiker.** Die jeweilige Organisation stammt aus der traditionellen Sporttaucherei. Das technische Tauchen ist nur ein 'Zusatzprodukt' im breiten Portfolio. Die Curricula sind oft in Anlehnung an Vorgaben durch das Recreational Scuba Training Council (RSTC) geregelt oder werden nach den amerikanischen Haftungsrichtlinien beurteilt.

**Dogmatiker.** Eine Fixierung erfolgt auf nur wenige Aspekte, wie z.B. tiefe Wracks, Höhlen oder elektronisch geregelte Mischgas-Kreislaufgeräte ('closed circuit rebreather'; CCR). Curricula werden ad-hoc entwickelt, Ausbildungsmaterialien sind meist nur spärlich oder gar nicht vorhanden oder nur in der jeweiligen Landessprache. Oft kann ein kontrolliertes 'peer review', mangels personeller Basis, nicht stattfinden. Probleme können durchaus dann entstehen, wenn beispielsweise Ausrüstungsrichtlinien, entwickelt für Warmwasserhöhlen, blindlings auf europäische Schlammhöhlen angewendet werden.

### 5. Ausbildungssysteme

Normal sind modulare Systeme, bestehend aus drei, vier oder noch mehr aufeinander folgenden Kursen. Sie sind hierarchisch organisiert. Der Gedanke ist, vom Einfachen (Grundlagen, Advanced Nitrox) zum Komplexen mit steigendem Aufwand (Dekompressions-Prozeduren, normoxisches Trimix) und mehrfachen Gaswechseln mit hypoxischem Trimix beim Ab- und Auftauchen, Benutzung von Habitats, Einbindung von Oberflächen-Personal und Unterstützung-Tauchern zu gelangen. Entsprechend ist für Theorie-Lektionen als Präsenzveranstaltungen sehr viel Zeit erforderlich. Das gilt auch für die zahlreichen Hausaufgaben und Materialien zum Selbststudium und die dazugehörigen zahlreichen Freiwassertauchgänge, je nach Modul ca. 6 - 10.

In Erweiterung der herkömmlichen Ausbildung zum Sporttaucher wird in den Kursen verstärkt geschult:

- Tauchgangsplanung bezüglich O<sub>2</sub>-ZNS und Oxygen Tolerance Units (OTU) sowie Gasmanagement,
- Umgang mit den hierzu erhältlichen PC-Programmen,
- Risikomanagement (Was-wäre-wenn-Analysen) und Strategien zur Gefahrenvermeidung,
- Dekompressionstheorien und Physiologie,
- komplexe Spezialthemen wie: isobare Gegendiffusion; Notwendigkeit von Luftpausen bei der Dekompression mit EAN98 oder auch die dazugehörigen Korrekturfaktoren durch Sauerstoff-Effekte wie Bradykardie und/oder Vaso-



konstriktion; Durchführung von Ultraschall-Dopplermessungen,

- Aufgabenteilung und Teambildung, Vermeidung von Gruppendruck und
- Ernährung und sowohl körperliche als auch geistige Fitness, um die Komplexität und Aufgabenvielfalt zu bewältigen.

Ein weiterer Unterschied zum traditionellen 'mind set' des Sporttauchers ist die grundlegende Sicherheits Maxime: 'Jeder Taucher kann jeden Tauchgang zu jedem Zeitpunkt aus jedem Grund abbrechen!'. (Anm. der Redaktion: Der VDST sagt seit Jahren: 'Der schwächste Taucher gibt Zeit und Tiefe vor'.)

## 6. Medizinische Risiken

Es handelt sich im Wesentlichen um vier Risiken, die auch in der traditionellen Sporttaucherei gut bekannt sind:

- Inertgas-Narkose,
- Sauerstoff-Intoxikation des Zentralnervensystems,
- Hypothermie und
- Dekompressionsunfälle.

Diese Hauptrisiken werden durch die größeren Tauchtiefen und, bedingt durch Helium, die erhöhten Dekompressionsverpflichtungen verstärkt. Das 'High Pressure Nervous Syndrome (HPNS; Helium-Tremor) spielt auf Grund der relativ langsamen Kompression beim Abstieg, den relativ geringen Tauchtiefen und des relativ geringen Helium-Anteils keine Rolle. 'Relativ' bedeutet hier 'in Relation zum Sättigungstauchen' oder zu oberflächenversorgten Bounce Dives. Ebenso sind wohl Episoden von dysbarischer Osteonekrose anekdotenhafter Natur.

Allerdings rücken Dinge wie Hyperkapnie und Hypoxie vermehrt in den Vordergrund. Beide Zustände können durch die größere Atemarbeit in der Tiefe, unproduktive Ventilation und raschere Verarmung der Atemkalkpatronen im Kreislaufgerät (CO<sub>2</sub>-Scrubber) eintreten. Dem technischen Taucher wird in den Kursen nicht nur das entsprechende Wissen vermittelt, sondern die hiermit verbundenen Prozeduren werden in kontrollierter Umgebung auch geübt, um so die Hauptrisiken zu mildern.

**Inertgas-Narkose.** Der Tiefenrausch wird durch die Verringerung des N<sub>2</sub>-Anteils gemildert. Richtwert ist ein pN<sub>2,max</sub> von ca. 3 bar. Dies entspricht in etwa der Narkosetiefe, die man bei einem Tauchgang mit Druckluft in 30 m erreicht (4 bar • 0,8). Hierfür wird N<sub>2</sub> durch He ersetzt, das durch die geringere Fettlöslichkeit weniger narkotisch als N<sub>2</sub>

wirkt. Ein angenehmer Nebeneffekt ist der verringerte Atemwiderstand. Wir sind somit zwanglos beim Trimix gelandet, dem Atemgemisch der Wahl mit 3 Komponenten.

**Sauerstoff-Intoxikation des Zentralnervensystems.** Dieses Risiko wird verringert, indem der O<sub>2</sub>-Anteil vermindert wird. Es werden die bewährten NOAA Leitlinien angewendet: pO<sub>2,max</sub> in der Grundphase < 1,4 bar, in der Dekompressionsphase < 1,6 bar. Beispielsweise kann man für einen Tauchgang auf 50 m ein Trimix20/30/50 einsetzen. Die Zahlen hinter der Gemischbenennung bedeuten: 20 % O<sub>2</sub>, 30 % He, 50 % N<sub>2</sub>; damit werden die Partialdrücke auf 50 m: pO<sub>2</sub> = 6 • 0,2; pHe = 6 • 0,3; pN<sub>2</sub> = 6 • 0,5. Der nicht zu unterschätzende Aufwand für Trimix-Herstellung und Trimix-Handhabung, auch während der Dekompressionsphase, wird letzten Endes durch die ausbleibende Narkose, d.h. eine ziemlich ungetrübte Wahrnehmung und Reaktionsfähigkeit gerechtfertigt. Da die Dekompressionsverpflichtungen sich bei Trimix anders darstellen als bei Druckluft oder Nitrox, ist der Einsatz von Nitrox-Gemischen Standard für die Dekompressionsphase. Mit Trimix wird vergleichsweise tiefer und auf den 9, 6 und 3 m-Dekompressionsstopps länger dekomprimiert. Diese Dekompressionszeiten werden durch einen Gaswechsel auf EAN50 (50 % O<sub>2</sub>, 50 % N<sub>2</sub>) ab 20 m und einen weiteren Wechsel auf EAN98 (reiner Sauerstoff) ab 6 m verkürzt.

**Hypothermie.** Sie wird durch die langen und tiefen Tauchgänge, lange Dekompressionsphasen sowie einen hohen He-Anteil begünstigt. Die bekannte und bewährte Vorgabe der United States Naval Experimental Diving Unit (NEDU): 'Keep cool during bottom phase, warm during subsequent decompression' (NEDU TR 06-07) ist nur mittels einer Oberflächenversorgung durch Warmwasser zu realisieren. Diese Möglichkeiten hat der TEC-Taucher üblicherweise nicht. Deshalb muss die herkömmliche Vermeidungsstrategie (Trockentauchanzug mit Unterzieher) um autarke Heizsysteme und die Trennung des Atemgases von der Versorgung des Trockentauchanzuges erweitert werden: Oft wird hierfür Argon in einer Pony-Flasche mitgeführt.

**Dekompressionsunfälle.** Folgt man den aktuellen Angaben eines Workshops in Salt Lake City [109], so sind DCS/DCI beim technischen Tauchen im Vergleich zum beruflichen oder militärischen Tauchen eher kein Problem. Ob dies mit dem o.g. Aufwand an Gasen und Ausrüstung, der Sorgfalt bei der Planung und Durchführung, dem Abweichen von der tradierten Dekompressionsphilosophie mittels 'deep stops' oder aber mit der sogenannten 'Selbstaulesse' zu tun hat, konnte von den



Experten, die auf einem Workshop anwesend waren [109], nicht schlüssig beantwortet werden.

Mit 'deep stops' sind solche Stopps auf dem Weg zur Oberfläche gemeint, die wesentlich tiefer beginnen, als die mit einer herkömmlichen Dekompressionstabelle berechneten. Werden diese Stopps, sie dauern ca. 1 bis 3 min, zur geplanten Grundzeit addiert, entsteht offenbar ein Sicherheitspolster.

## 7. Sicherheit und Wohlbefinden

Diese beiden Werte stehen in der Prioritätenliste ganz oben! Warum ist aber die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit eine andere? Trotz den bemerkenswerten Aufwendungen für Planung und Sicherheit vermittelt der 'technische Taucher' als solcher oft den Nimbus eines Hasardeurs oder zumindest von jemandem, der nur auf dreistellige Tiefenangaben in einem Logbuch Wert legt.

Zunächst ist die Darstellung von technischem Tauchen, einzelner Extremtauchgänge oder gar Rekordtauchgänge interessant und spektakulär. Aber in Relation zu anderen Ereignissen der Tauchsportbranche ist sie überbewertet und von einer prä-stabilisierten Harmonie gekennzeichnet (BILD-Zeitungsphänomen). Egal, ob in den Print-Medien oder on-line: Die Darstellung entspricht in keinem Falle einer Proportionalität zur Zahl der Ausführungen oder gar der durchgeführten Tauchgänge!

Es gibt Stimmen, die behaupten, dass dies auch in gleichem Maße für die Unfallzahlen gelte. Als Vergleichsmaßstab mögen die 'Diving Incidents Reports' aus dem britischen Königreich dienen. Wenn wir die BSAC-Tauchunfallstatistiken der letzten 29 Jahre verfolgen, lässt sich nüchtern festhalten:

- die Zahl der Taucher und der Tauchgänge (generell) steigt,
- die Zahl der Tec-Taucher nimmt zu (steigende Brevetierungszahlen),
- die Zahl der jährlichen Tauchunfälle liegt seit ca. 2001 konstant auf einem Niveau von ca. 400,
- die Zahl der Todesopfer (Berichtszeitraum hier 1965 - 2009) bleibt in den letzten 15 Jahren in etwa konstant bei ca. 16 Fällen,
- für Tekkies gibt es keine speziell ausgewiesenen Statistiken, d.h.: diese fallen nicht besonders auf und
- lediglich die Zahl der verunglückten CCR-Benutzer eines bestimmten Herstellers ist separat ausgewiesen und markant von Null verschieden.

Ähnliches lässt sich auch aus den DAN-Unfallberichten ableiten: lediglich auf Grund der breiteren Berichtsbasis (USA und Canada) hat sich die Zahl der berichteten Todesfälle bei ca. 89 p.a. eingependelt.

Rein praktisch betrachtet, können auch Sporttaucher Vorgehensweisen der Tekkies für ihre Tauchpraxis übernehmen. Z.B. bei Themen wie:

- Trimmung und Tarierung, d.h.: Wasserlage, Wasserwiderstand sowie Luftverbrauch,
- umweltschonende Flossentechniken,
- Redundanzüberlegungen bei zentralen Ausrüstungsgegenständen und
- Beschäftigung mit Dekompressions-Thematiken, 'tiefe' Sicherheitsstopps.

Diesem Trend wird bereits, zumindest bei den Pragmatikern, Rechnung getragen. Es gibt Einsteiger-Kurs-Module wie 'TEC Apprentice' (Techaucher Lehrling), Advanced Nitrox o.ä., in denen zwar fast die komplette Theorie vermittelt und auch geprüft wird, aber die intensiven Investitionen vermieden werden können.



**Abb. 2:** EAN-Taucher mit Sportkonfiguration. Trimix wird eine ähnliche Entwicklung wie Nitrox erleben. Das wird mittelfristig zum 'TEC-lite' führen, also einer leichten TEC-Version mit geringerem Aufwand an Planung und Ausrüstung

© Global Underwater Explorers, [www.gue.com](http://www.gue.com)

Foto: D. Rhea

[http://www.gue.com/files/page\\_images/equipment/Config/rhea-bimini098.jpg](http://www.gue.com/files/page_images/equipment/Config/rhea-bimini098.jpg)

## 8. Welche Entwicklungen lassen sich in den letzten 15 Jahren beobachten?

Die Entwicklungen könnten ganz analog zum Tauchen mit Nitrox verlaufen: Dieses wurde von der NOAA ca. 1977-79 entwickelt und als EAN32 und EAN36 standardisiert. Den D-A-CH Raum hat Nitrox ca. 1993/94 erreicht; damals galt Nitrox als gefährlich, kompliziert und nutzlos. Wir erinnern uns an die lustigen Sticker 'Ich tauche TEK: EAN21'. EAN war ein Gemisch nur für die 'echten Tekkies'.



Heute haben wir einen Standard erreicht, auch auf Safari-Booten problemlos EAN zu erhalten, seit ca. 5 Jahren gilt auf gut geführten Tauchbasen die Devise 'Nitrox for free ...' In der Projektion auf Trimix wird diese Entwicklung sowie der Druck auf den Markt und die Ausbildungssysteme durch die stetig zunehmende Verbreitung mittelfristig zum 'TEC-lite' (eine 'leichte' TEC Version mit geringerem Aufwand an Planung und Ausrüstung) führen: ein normoxisches Trimix mit einem Dekompressionsgas, berechnet anhand einer Standard-Mischgastabelle (Abb. 2). Na ja: nächstes Jahr noch nicht und übernächstes Jahr nicht gleich, dann aber ...

### Literatur

Die Nummern [ ] beziehen sich auf den entsprechenden Eintrag unter: <http://www.divetable.de/books/index.htm>

- [62] 'Diving & Subaquatic Medicine', Carl Edmonds, Lowry, Pennefather, Walker, 4 th. Ed., Arnold, ISBN 0-340-80630-3
- [63] 'Benett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving' Alf Brubakk, Neuman et al., 5 th Ed. Saunders, ISBN 0-7020-2571-2
- [64] 'Textbook of Hyperbaric Medicine.', Kewal K. Jain; 3rd. Revised Ed., Hogrefe & Huber, ISBN 0-88937-203-9
- [75] 'Bove and Davis' DIVING MEDICINE', Alfred A. Bove, 4 th. edition, Saunders 2004, ISBN 0-7216-9424-1
- [109] Decompression and the Deep Stop, Workshop Proceedings, June 24 -25 2008, Salt Lake City, Utah; UHMS, ISBN 0-930404-24-9

NEDU Technical Report No. 06-07: 'The Influence of Thermal Exposure on Diver Susceptibility on Decompression Sickness', Navy Experimental Diving Unit, 321 Bullfinch Road, Panama City, FL 32407-7015, November 2007

### Abkürzungsverzeichnis

- BSAC: British Sub Aqua Club; [www.bsac.com](http://www.bsac.com), die Unfallberichte (Diving Incidents) von 1980 bis 2009 zu finden unter: <http://www.bsac.com/page.asp?section=1038&sectionTitle=Annual+Diving+Incident+Report>
- DAN: Divers Alert Network; [www.dan.org](http://www.dan.org), die Unfallberichte (Annual Diving Reports) von 1988 - 2008 unter: <http://www.dan.org/medical/report/index.asp>
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration; [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov) bzw. die NOAA Tauchsparte: <http://www.ndc.noaa.gov/>
- RSTC: Recreational Scuba Training Council; [www.wrstc.com](http://www.wrstc.com)
- UHMS: Undersea & Hyperbaric Medical Society; [www.uhms.org](http://www.uhms.org)

(\*) Der Autor, Albrecht Salm, Jg. 57, taucht seit 1976, hat 1988 seine erste Tauchlehrer-Prüfung absolviert und bildet seitdem für mehrere Ausbildungsorganisationen Taucher im Erholungs- und TEC-Tauchen aus. Er ist Physiker und arbeitet für die SubMarineConsulting Group ([www.SMC-de.com](http://www.SMC-de.com)).

### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Albrecht Salm  
Obertorstrasse 19  
73728 Esslingen  
[director@divetable.de](mailto:director@divetable.de)

### Anzeige

**Tauchreiseführer  
Nördliche Adria  
Kroatien**

Barbara Pölzer

empfohlen von  
**tauchen**  
Europas größtes Tauchmagazin

**KOSMOS**

# Vereisung des Atemreglers: Tödliche Gefahr beim Bergseetauchen

D Hothorn & HV Ulmer



D Hothorn

Bergseetauchen wird auch bei den 2,7 Mio deutschen Tauchern immer beliebter. In heimischen Bergseen geht es mit besonderen Gefahren einher, speziell mit der Vereisung der 1. Stufe des Atemregler-Systems. Da auch in deutschen Bergseen immer wieder tödliche Unfälle infolge vereister Atemregler vorkommen, wollten die Autoren u.a. klären, inwieweit dieses Risiko in Curricula und Kursangeboten großer Tauchorganisationen berücksichtigt wird, und welches dafür notwendige Wissen exemplarisch bei Bergseetauchern vorhanden ist. Im Sachstand wird dargelegt, dass Seen oberhalb von 300 m als Bergseen einzustufen sind, und wie es dort zur Vereisung des Atemreglers kommt. Die entsprechende Notlage kann nur durch ein komplett redundantes Atemregler-System und rasches Handeln (Übung notwendig) behoben werden. Eine Befragung von 30 Tauchern am Walchensee machte relevante Mängel in Theorie und Praxis bezüglich der Gefährdung durch vereiste Atemregler deutlich; weitere Befragungen weisen auf typische Todesfälle durch vereiste Atemregler hin. Die Autoren legen bei ihren Schlussfolgerungen für die Praxis Vorschläge für Tauchschulen und Taucher sowie zum forensischen Nachweis und zur Dokumentation vor. Als weitere Tauchregel wird vorgeschlagen: Tauche in Bergseen stets mit einem komplett redundanten Atemregler-System und übe das Umschalten bei Vereisung unter realen Bedingungen ohne fremde Hilfe oft genug.

**Schlüsselwörter:** Bergseetauchen; Vereisung; Atemregler; redundantes System

## 1. Einleitung

Unter deutschen Tauchern wird Bergseetauchen immer beliebter. Das Tauchen in Bergseen geht auch in heimischen Bergseen mit speziellen Gefahren einher, besonders im Hinblick auf die Vereisung des Atemreglers. Als weitere Besonderheiten gelten: erniedrigter Luftdruck, Absturz an Steilhängen und verminderte Wassertemperaturen.

Da auch in deutschen Bergseen immer wieder Unfälle infolge vereister Atemregler tödlich ausgehen, wollten die Autoren u.a. klären, inwieweit dieses Risiko in den Curricula und Kursangeboten großer Tauchorganisationen berücksichtigt wird und welches dafür notwendige Wissen bei Bergseetauchern vorhanden ist.

## 2. Sachstand

Tauchen wird weltweit und auch gerade in Deutschland immer beliebter. 2,7 Millionen Deutsche gehen regelmäßig tauchen, darunter auch in heimischen Seen [10;S.18]. Bergsee wird in der Literatur nicht einheitlich definiert, bei Klingmann und Tetzlaff [12] ab 600 m, bei Richardson [20] schon ab 300 m. Dekompressionstabellen müssen

laut Richardson [19] ab 300 m korrigiert werden. Danach gehören mehrere bayerische Seen zu Bergseen (Tab. 1). Ab einer Tiefe von 15 – 20 m ist dort ganzjährig mit Temperaturen von 4 – 6 °C zu rechnen.

**Tab. 1:** Höhenlage einiger deutscher und nahegelegener Bergseen. Höhenangaben gemäß WIKIPEDIA 2010

Bergsee	Höhe über NN (m)	max. Tiefe (m)
Bodensee	395	254
Attersee	469	171
Chiemsee	518	72
Starnberger See	584	128
Walchensee	802	192

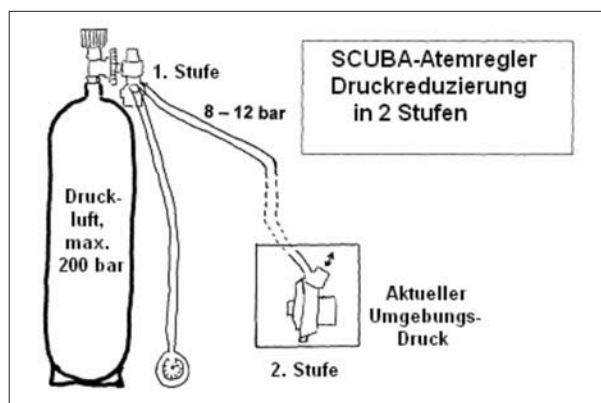
Der Reiz des Bergseetauchens liegt u.a. an den meist sehr guten Sichtverhältnissen, aber auch an den faszinierenden Unterwasserstrukturen, z. B. Steilwände, wie die 'Galerie' am Walchensee [4]. Das Tauchen in Bergseen geht aber mit besonderen Gefahren einher, speziell hinsichtlich eines Vereisens des Atemreglers, aber auch im Hinblick auf geänderte Druckverhältnisse, niedrige Wassertemperaturen sowie Abstürzen an Steilhängen. Auf eine der Höhenlage angepasste Dekompression sowie auf Trockentauchanzüge wird im Schrifttum zum Bergseetauchen fast einheitlich eingegangen

D Hothorn

CAISSON 2010;25(1):10-15

[15], nicht jedoch auf die lebensbedrohliche Gefahr des Vereisens von Atemreglern beim Bergseetauchen. In typischen Tauch-Lehrbüchern [5,15,22,24] wurden nur 2 Hinweise gefunden. Ehm [5] erwähnt ohne Bezug zum Bergseetauchen diese Gefahr nur generell beim Tauchen in kalten Gewässern; lediglich SCHEYER [22] geht explizit auf das genannte Vereisen beim Bergseetauchen ein.

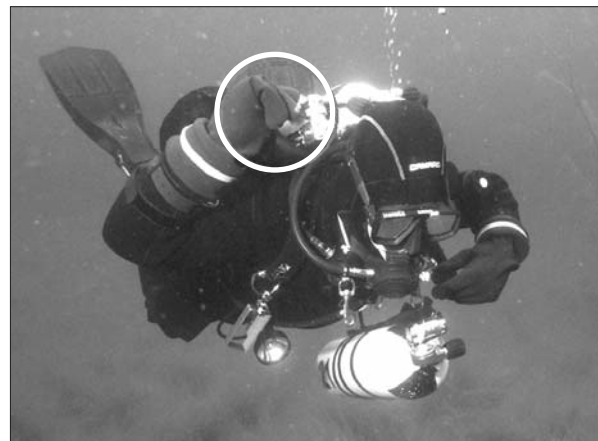
Durch die Dekompression kommt es aufgrund des Joule-Thomson-Effektes zu einer Abkühlung des durchströmenden Atemgases. Wenn dieses Feuchtigkeit enthält, kommt es zur Vereisung der 1. Stufe (Abb. 1). Es kommt zum 'Abblasen', bis der Vorrat weitgehend verloren gegangen ist. Nur durch ein komplett redundantes Atemregler-System kann die entstehende Notlage behoben werden. 'Eine Redundanz über einen 'Oktopus', der an derselben ersten Stufe angeschlossen ist wie der Hauptregler, ist nicht akzeptabel und als potentiell gefährlich einzustufen' [17]. Dabei muss vom Taucher rasch manuell ohne Sichtkontakt (Abb. 2) auf das zweite System umgeschaltet werden, weshalb Einübung der zugehörigen Handgriffe erforderlich ist.



**Abb. 1:** Schema eines Atemregler-Systems. Der Atemregler sorgt für einen dem aktuellen Umgebungsdruck angepassten Druck der Einatemluft: In 2 Stufen wird Druckluft dekomprimiert. Bei einem 'Octopus' wird eine weitere 2. Stufe hinter der 1. Stufe angeschlossen

Diese wichtigen Informationen zur Vereisung von Atemreglern mussten sich die Autoren mühsam aus verschiedenen Quellen zusammensuchen. In den Curricula für Basis-Tauchkurse der weltweit größten Ausbildungsorganisationen PADI [16] und SSI [24] findet man nur spärliche Hinweise, vor allem nicht zur Gefährdung durch vereiste Atemregler. Weiterführende Kurse für das Bergseetauchen bietet nur PADI an. SSI führt nach eigenen Angaben keinen speziellen Bergseetauchkurs durch. In der Spezialkurs-Ordnung des VERBANDS DEUTSCHER SPORTTAUCHER (VDST [25] wird unter 19 Spezialkursen Bergseetauchen nicht genannt, jedoch Eistauchen: Dabei soll im

Falle einer 'gedachten Vereisung' die 'Atmung am Zweitatemregler des Partners' geübt werden (S. 33). Aber auch das vermittelte Wissen im speziellen Bergseetauchkurs von PADI (Altitude Diver) [15] ist lückenhaft. So liegt der Schwerpunkt des PADI Bergsee-Tauchkurses auf der Anpassung der Tauchgänge an die veränderten Luftdruckbedingungen. Dieser Sachverhalt ist zwar wichtig, vernachlässigt aber die typische Todesursache beim Bergseetauchen: Die Vereisung der 1. Stufe des Atemregler-Systems



**Abb. 2:** Umschalten auf das 2. Atemregler-System mit der rechten Hand ohne Sichtkontakt, (Hinweiskreis ergänzt)

Foto: mit freundlicher Genehmigung: W. Reints

So wundert es nicht, dass nach Mielke L.& A. [14;S.144 ff] die meisten Tauchunfälle in Bergseen aufgrund 'menschlichen Versagens' des Tauchers – ohne dies zu spezifizieren – zustande kommen. Weitere Studien von Roediger [21;S.33] sowie Schoiberg [23;o.S.] bestätigen diesen Sachverhalt. Fieseler et al. [8] führten aus, dass in der Münchener Gerichtsmedizin pro Jahr 2-7 verunglückte Taucher obduziert werden, meist aus dem Starnberger See (584 m) und dem Walchensee (802 m). Eine Rückfrage ergab, dass eine Dokumentation über die Tauchgeräte-Ausrüstung nicht vorliegt. Am 18. 11. 2009 teilte Fieseler auf Anfrage unter Bezug auf ein technisches Gutachten mit: 'Eine Vereisung scheint ausgeschlossen' [6]. Zum Beitrag Fieseler et al. [8] erschienen zwei Leserbriefe [7;18]. In beiden wird nicht auf einen eventuell fehlenden zweiten Atemregler als Ursache für einen tödlich endenden Bergsee-Tauchunfall hingewiesen, im Leserbrief von Resch [18] aber auf den Verlust von Atemgas durch Vereisung.

Eine Vereisung des Atemreglers ist nur möglich, wenn sich feuchtes Atemgas oder gar Wasser im DTG befindet. Gemäß DIN EN 12021 [1] soll 'trockenes' Atemgas in das DTG gefüllt werden. Die Realität sieht aber oft anders aus.



## Trockene Atemluft in DTGs?

pers. Mitteilung KREMERS, 2009

*'Es ist völlig klar, Wasser oder Feuchtigkeit gehört eigentlich in keine Druckluftflasche, und es gilt als Gütekriterium in Taucherkreisen, trockene Luft zu bekommen. Vor allem im Bereich des Kaltwassertauchens ist Feuchtigkeit im Bereich der Ersten Stufe nicht selten eine Unfallursache. Die Ventile vereisen und das Atemgas strömt unatembare ab. Das macht sich nicht gut. Leider kommt es aber trotzdem relativ häufig zu 'Feuchtem Atemgas'. Erst kürzlich las ich einen Unfallbericht, wo ein Taucher nach dem Flaschen-TÜV noch ca. 3 l Wasser in der Flasche zurückbehalten hatte. Ein Fehler nach vollzogener Drucktestung beim TÜV!*

*Kompressoren, die etwas schwach auf der Brust sind, Flaschen, die in extrem warmer Umgebung gefüllt werden oder auch Flaschen, die bis zum völligen Verlust des Restdrucks abgeatmet werden, können Wasser gezogen oder Kondenswasser 'gebildet' haben.*

*Viele Taucher arbeiten mit Speicherflaschen, füllen selbst oder betreiben eigene Kompressoren. Wenn es dann schnell gehen muss oder ein schöner Tauchgang bevor steht, werden gerne mal die notwendigen Sicherheitsregeln außer Acht gelassen. Außerdem wissen die Wenigsten um dieses Problem (zumindest über die Ursachen des Problems). Ein weiterer Grund für ein Vereisen der ersten Stufe kann auch Wasser im Inneren der Stufe sein. Unvorsichtiges Reinigen oder Ausspülen mit Wasser reicht da schon'.*

Hieraus ergaben sich folgende Fragestellungen:

- 1) Welches Wissen über Risiken und Ausrüstung (speziell doppelt redundanter Atemregler) ist exemplarisch bei Bergseetauchern vorhanden?
- 2) Welche Ausrüstung wurde exemplarisch bei Bergseetauchern am Walchensee vorgefunden?
- 3) Welche typische Todesursache liegt bei Bergseetauchunfällen aus Sicht von Experten vor?
- 4) Wie viele Tauchkurse wurden an Bergsee-Tauchschulen verkauft?

### 3. Methodik

Das Spezialwissen von Tauchern zum Bergseetauchen wurde zwischen dem 9.8. und dem 11.8.2008 über eine Befragung am Walchensee (802 m über NN) erfasst. Weiterhin wurden Tauchmediziner aus südbayerischen Druckkammerzentren sowie der Präsident der GTÜM (Dr. WELSLAU) zu den speziellen Gefahren und Unfallursachen beim Bergseetauchen interviewt [26].

Beim Leitfaden-Interview verweigerte keiner der angesprochenen 30 Taucher die Teilnahme oder die erbetene Tonbandaufzeichnung, die dann nachträglich ausgewertet wurde. Die Befragung fand an drei beliebten Tauchplätzen statt (Galerie, Steinbruch und Einsiedelbucht) [11].

### 4. Ergebnisse

#### 4.1 Wissensstand und Ausrüstung der befragten 30 Taucher

In Tab. 2 sind einige Leitfragen und Antworten der 30 Befragten zusammengestellt. Nur 17 % hatten an einem Bergsee-Tauchkurs teilgenommen. Der Wissensstand über Gefahren beim Bergseetauchen beschränkte sich vorrangig auf den veränderten Luftdruck (93 %). Weniger als die Hälfte der Teilnehmer (47 %) nannte die Vereisung von Atemreglern. Beim Informationsstand durch einen Tauchkurs standen die geänderten Druckverhältnisse in der Höhe im Vordergrund (57 %). Nur 30 % der Befragten erinnerten sich an 'kaltwasser-

Tab. 2: Zusammenstellung von Antworten im Leitfaden-Interview

Leitfragen (30 Probanden)	Antwort	Antwort	Antwort	Antwort
Haben Sie an einem Bergseetauchkurs teilgenommen?	nein: 25	ja: 5	–	–
Welche Gefahren sehen Sie beim Bergseetauchen (Mehrfachnennungen)	veränderter Luftdruck: 28	Vereisung von Atemreglern: 14	Tiefe: 4	Dunkelheit: 4
Welche für Sie wichtigste Empfehlung wurden Ihnen im Kurs gegeben?	veränderte Druckverhältnisse beachten: 17	einen Kaltwasser-tauglichen Atemregler benutzen: 9	ein redundantes Atemregler-System nutzen: 4	–
Verfügen Sie über ein redundantes Atemregler-System?	ja: 21	nein: 9	–	–
Woher stammt Ihr Wissen um die Risiken des Bergsetauchens?	Fachliteratur: 11	Tauchkurs: 19	–	–

taugliche Atemregler' und nur 13 % an ein redundantes Atemregler-System, welches allerdings vor Ort von 70 % der Taucher benutzt wurde.

Die meisten Taucher hatten die Empfehlung für ein solches System von den ansässigen Tauchschiulen erhalten. Allerdings gewann der Interviewer den Eindruck, dass etliche Taucher nicht wussten, warum sie ein redundantes System mit sich führten. Immerhin gingen 30 % der Taucher ohne das erforderliche, redundante System in den Bergsee. Das vorhandene Wissen über die Risiken stammte zu 63 % aus einem Tauchkurs und zu 37 % aus der Fachliteratur.

#### 4.2 Expertenbefragungen

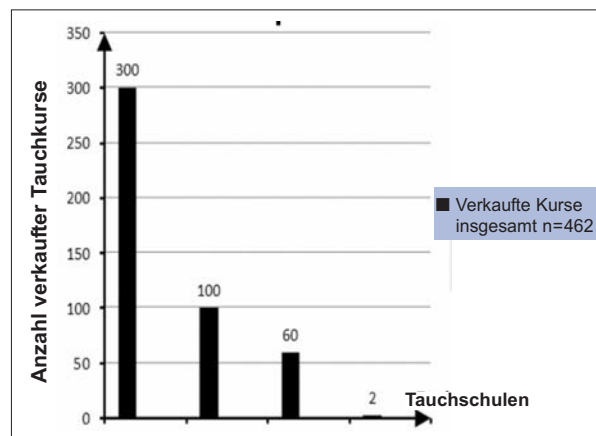
Bei der schriftlichen Befragung von sechs Druckkammerzentren im südbayerischen Raum antworteten drei. Danach waren die meisten Tauchunfälle auf die Vereisung von Atemreglern, kaltes Wasser in Bergseen sowie auf Tieftauchversuche zurückzuführen. Die verunfallten Taucher wären nicht in der Lage gewesen, in den Notsituationen adäquat zu reagieren. Es war nicht ermittelbar, ob man in der Dokumentation der Druckkammerzentren festgehalten hatte, welche Tauchausrüstung benutzt wurde und ob eine Jahresstatistik über die behandelten Tauchunfall-Patienten vorlag.

Der Präsident der GTÜM [26] teilte auf Befragung mit, dass die meisten Bergseetauchunfälle aufgrund menschlichen Fehlverhaltens entstünden. Er erweiterte das Fehlverhalten noch auf Leichtsinn der Taucher vor dem eigentlichen Tauchgang, wie z.B. nicht eingehaltene Adaption des Körpers an die Höhe.

#### 4.3 Anzahl verkaufter Bergseetauchkurse in den letzten 5 Jahren

In den Jahren 2002 bis 2007 wurden von vier an Bergseen gelegenen Tauchschiulen insgesamt 462 Bergsee-Tauchkurse verkauft, das wären 92 Taucher pro Jahr (Abb. 3). Die Teilnahme des Erstautors an einem solchen Kurs scheiterte im August 2008 an ungenügender Zahl von Anmeldungen.

In einem vorläufigen Schriftwechsel über eine Nachfrage zu Bergseetauchkursen teilte eine der vier Tauchschiulen mit: 'Wir bilden im See aus, d.h. Kaltwasser mit extremen Bedingungen' [2]. Offen blieb zunächst, ob bei allen Tauchkursen dieser Bergsee-Tauchschiule ein doppelt-redundantes Atemregler-System eingesetzt wird.



**Abb. 3:** Von vier an Bergseen gelegenen Tauchschiulen wurden zwischen 2002 und 2007 462 Bergsee-Tauchkurse verkauft

### 5. Diskussion

#### 5.1 Vereisung der Atemregler

Unsere schlaglichtartige Studie macht deutlich: Die Gefährdung durch Vereisung des Atemreglers stellt offensichtlich die typische Todesursache beim Bergseetauchen dar. Sie wird allerdings nicht adäquat berücksichtigt, und zwar sowohl hinsichtlich der Tauchkurse und des Wissenstandes der Taucher, als auch hinsichtlich der am Walchensee erhobenen Ausrüstung vor Bergseetauchgängen.

Wie hoch ist die Gefahr einzuschätzen? Zunächst dürfte viel zu wenig bekannt sein, ab welcher Höhe überhaupt von einem Bergsee gesprochen werden sollte. Bergseen sind oft tief, und somit ist unabhängig vom aktuellen Luftdruck mit kaltem Wasser ab 20 m zu rechnen (4 bis 6 °C). Es sollen sogar schon im Bodensee vereisungsbedingte Unfälle vorgekommen sein. Wenn allein in der Münchener Gerichtsmedizin pro Jahr 2-7 tödlich verunglückte Taucher meist aus dem Starnberger See sowie dem Walchensee obduziert wurden und die Experten in südbayerischen Druckkammerzentren die meisten Tauchunfälle in Bergseen auf die Vereisung von Atemreglern und auf Tieftauchversuche zurückführen, dann halten wir das für äußerst ernste Hinweise.

Der ursächliche Zusammenhang zwischen Bergseetauchen und Vereisung des Atemreglers ist evident: Das kalte Wasser kühlt die Dekompressionsstufen des Atemreglers stark ab. Die vor allem zum Tauchgangbeginn in der ersten Stufe massive Dekompression führt dort zu einer erheblichen Abkühlung, und es gibt offensichtlich genügend Anlässe, dass sich entgegen der Vorschrift kein trockenes Atemgas im DTG befindet. Hinzu kommt die Abkühlung des DTGs beim Bergseetauchen, wodurch auch bei geringer Luftfeuchtigkeit die relative Feuchte der Druckluft zunimmt. Wir schlie-

ßen uns daher der Meinung von Reints [17,o.A.] an: Ein nicht redundantes, nur 'kältewassertaugliches System' reicht nicht aus; nur ein komplett doppelt redundantes System kann im Vereisungs-Notfall helfen, somit auch nicht der 'Octopus'. Nach unserer Kenntnis reichen wenige Minuten aus, bis ein abgeschaltetes, vereistes System 'aufgetaut' ist und, so im Falle eines länger dauernden Aufstiegs, wieder als Reservesystem zur Verfügung steht.

Das Umschalten auf den Ersatz-Atemregler sollte unbedingt unter Wasser ohne fremde Hilfe geübt werden, möglichst vor Beginn jeder Saison. Es muss auch im Ernstfall ohne Sichtkontakt durchgeführt werden, und dann in einer typischen, potenziell Panik auslösenden Situation. Übungen an Land oder mit manueller Hilfe des Tauchlehrers oder eines zweiten Tauchschülers – wie uns berichtet wurde – reichen keineswegs aus. Bei den Übungen sollte aufgrund eigener Erfahrungen auch die Position der Ausrüstung am Rücken getestet werden: Sitzt das DTG zu tief, kann man das Flaschenventil nicht erreichen; sitzt sie zu hoch, wird das Austarieren unter Wasser schwieriger.

Für geradezu unverständlich halten wir das Übungsprogramm des VDST beim Eiswasser-Tauchen, wonach bei einer Vereisung der betroffene Taucher am Zweitatemregler ('Octopus') des Partners atmen soll. Dies erscheint uns erstens nicht praxistauglich, da es immer wieder vorkommt, dass Tauchpartner sich verlieren und zweitens bringt der Taucher dadurch seinen helfenden Partner in Gefahr, da nun dessen Atemregler in der 1. Stufe doppelt belastet und die Vereisungsgefahr somit deutlich erhöht wird. Wenn solche Lehrinhalte vermittelt und geübt werden, braucht man sich nicht zu wundern, wenn Bergseetaucher in kalte Bergseen ohne ein komplett redundantes Atemregler-System und entsprechende Übung einsteigen.

Ähnliches gilt für alle Tauchkurse in Bergseen, selbst wenn diese sich nur in geringeren Anfängertiefen abspielen. Jedem Tauchschüler, der in einen Bergsee einsteigt, sollte in Theorie und Praxis vermittelt werden, dass und warum für Bergseetauchen ein komplett redundantes Atemregler-System notwendig ist. Dies könnte verhindern, dass in Bergseen ausgebildete Taucher ohne die adäquate Ausrüstung und Übung auch auf tiefere Bergsee-Tauchgänge einsteigen oder dort mit einem doppelt redundanten Atemregler-System tauchen, ohne zu wissen, warum (s. Tabelle 2).

Die Befragung von Tauchern am Walchensee ließ deutliche Mängel beim Tauchlizenzerwerb erkennen. In den Tauchkursen wird – wie auch im Schrifttum – überwiegend auf die veränderten

Druckverhältnisse hingewiesen. Dies ist nicht falsch; die tödliche Gefahr droht aber viel mehr durch vereiste Atemregler. Darauf sollten alle Tauchschüler bereits im Basiskurs hingewiesen werden, ferner auf die dringende Empfehlung, einen Spezialkurs über das Bergseetauchen zu absolvieren. Es ist schon erstaunlich, dass SSI sowie VDST gar keine Bergseetauchkurse anbieten und dass im PADI-Curriculum für den Basiskurs auf die Vereisungsgefahr nicht hingewiesen wird [16].

Nur trockene Atemgase abzufüllen, erscheint in der Realität fast utopisch zu sein; ein trockener Flascheninhalt ist selbst im Idealfall damit nicht gewährleistet: Spätestens nach der ersten TÜV-Prüfung mit Wasserfüllung dürften die Innenwände feucht bleiben. Und was alles noch so Feuchtigkeit oder gar Wasser in die DTGs bringen kann, hat Kremers [13] im Sachstand ausführlich beschrieben.

Tauche nie allein, diese Regel gilt erst recht fürs Bergseetauchen. Aber wie oft haben gerade Anfänger den Sichtkontakt zu ihrem Tauchpartner verloren! Tauche in Bergseen stets mit einem komplett redundanten Atemregler-System und über das Umschalten bei Vereisung unter realen Bedingungen ohne fremde Hilfe oft genug – das sollte eine weitere Tauchregel werden.

## 5.2 Konsequenzen für die Praxis

**Tauchschulen:** Im Basiskurs sollte auf jeden Fall darauf hingewiesen werden, dass Vereisung des Atemreglers beim Bergseetauchen lebensbedrohliche Situationen auslösen kann, die nur mit einem komplett redundanten Atemregler-System und entsprechender Einübung behoben werden können. Aus diesem Grund sollten Ergänzungskurse für das Bergseetauchen dringend empfohlen werden, die geringe Anzahl verkaufter Bergsee-Tauchkurse stimmt angesichts der speziellen Risiken nachdenklich. Mangelnde theoretische und praktische Ausbildung zum Bergseetauchen dürfte maßgeblich zu den typischen, tödlich endenden Unfällen führen. Tauchkurse in Bergseen sollten grundsätzlich mit einem komplett redundanten Atemregler-System durchgeführt werden und dies auch gegenüber dem Tauchschüler begründet werden.

**Taucher:** Vereisung des Atemreglers führt zu lebensbedrohlichen Zuständen unter Wasser. Daher wird folgende Tauchregel vorgeschlagen: Tauche in Bergseen stets mit einem komplett redundanten Atemregler-System und übe das Umschalten bei Vereisung unter realen Bedingungen ohne fremde Hilfe oft genug, zumindest am Beginn einer jeden Saison. Achte dabei auch auf die Position des DTGs, am Rücken nicht zu tief und nicht zu hoch. Achte darauf, dass das DTG direkt nach dem





Tauchgang nicht ganz entleert wird und dass beim Reinigen des Atemreglers und des DTGs kein Wasser eindringen kann. Spare nicht an einem Bergsee-Tauchkurs.

**Forensischer Nachweis:** Nach unserer Meinung muss man bis zum Beweis des Gegenteiles (z.B. Zeugenaussagen, technische Defekte) Vereisung als wahrscheinlichste Ursache eines tödlichen Zwischenfalls beim Bergseetauchen dann annehmen, wenn kein komplett redundantes Atemregler-System benutzt wurde und nur noch wenig Atemgasvorrat nachweisbar ist (Abblasen bei Vereisung). Nachträglich lässt sich die in wenigen Minuten reversible Vereisung nicht mehr nachweisen.

**Dokumentation:** Tauchsportvereine, Polizeidienststellen, Druckkammerzentren und Gerichtsmedizinische Institute sollten bei Bergseetauchunfällen unbedingt dokumentieren, ob ein komplett doppelt redundantes Atemregler-System benutzt wurde, und welcher Restdruck im DTG vorhanden war. Eine systematische Auswertung könnte unseren Überlegungen weiteren Nachdruck verleihen.

#### Literatur

1. Bauer Group: Begriffe aus der Welt der Druckluft. 2010; Abfrage 24.1.2010: <http://www.bauer-kompressoren.de/de/support/druckluftlexikon/w01.php>
2. Bergsee-Tauchschiule (2010). Antwortschreiben vom 6.1.2010
3. Clark R. SSI Open Water Diver. 2003,4. Auflage, SSI, Weinheim
4. DIVE COLLEGE (o.A.): Tauchplätze – Die schönsten Tauchspots am Walchensee. Stand o. A., Abfrage 2.2010: <http://www.tauchen-walchensee.de/Tauchplaetze/tauchplaetze.html>
5. Ehm O. Der neue EHM Tauchen noch sicherer, Tauchmedizin für Freizeittaucher, Berufstaucher und Ärzte. 2003; 9., völlig neubearbeitete, erweiterte und revidierte Auflage. Müller Rüschiikon, Cham
6. Fieseler S. (2009 a): persönliche Mitteilung, Brief vom 18. November 2009
7. Fieseler S. Nachtrag zum Beitrag Fieseler et al. CAISSON 2009 b;24 (4), 40
8. Fieseler S. u. A. Tauchgang mit selbstgemischtem Atemgas. CAISSON 2009;24(3):20
9. Hahn M, Hofmann U. 4.3.3 Atemregler. In: Ehm, O.: Der neue EHM Tauchen noch sicherer, Tauchmedizin für Freizeittaucher, Berufstaucher und Ärzte. 2003; 9., völlig neubearbeitete, erweiterte und revidierte Auflage. Müller Rüschiikon, Cham
10. Halls M. Die schönsten Tauchgebiete der Welt. Bruno Media, Köln 2005
11. Hothorn D. Gefahren des Bergseetauchens – zum Kenntnisstand von Tauchern. Diplomarbeit am Institut für Sportwissenschaft der Universität Mainz, 2009; Kurzfassung in: <http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio/pdf/HOTHORN-DiplKurZVI-09.pdf>
12. Klingmann C, Tetzlaff K. Moderne Tauchmedizin. Genter, Stuttgart 2007
13. Kremers G. Persönliche Mitteilung, 2009; Schreiben vom 8.10.2009
14. Mielke L.U.A. (1998): Tauchunfälle in den bayrischen Voralpenseen – Verhütung, Diagnose, Behandlung. Sportorthopädie-Sporttraumatologie. 1. 144-148, zitiert nach Bartmann, H.: Taucher-Handbuch, mit 61. Ergänzungslieferung, 1993, 1996, 1998, 2000, 2003, Landsberg/Lech
15. PADI (2000): Internes Lehrbuch Tauchen, persönliche Mitteilung
16. PADI Europe (2009): Padi Kurse. Stand 2009, Abfrage 4.2.2010: <http://www.padi.com/scuba/tauchen/padi-Kurse/Tauchkurse-für-BCr-Taucher/Alle-PADI-Kurse-anschauen/Tauchen-in-größerer-Höhe/default.aspx>
17. Reints, W. (O. A.): Atemregler, Stand: o. A., Abfrage 24.1.2010: <http://www.dir-m.com/tauchen/ausruestung/seitennavigation/lungenautomaten/lungenautomaten.php>
18. Resch, W. (2009): Leserbrief zum Beitrag Fieseler et al., CAISSON 24 (4), 39
19. Richardson, D. (1999): Open Water Diver Manual. PADI Europe AG, Hettlingen
20. Richardson, D. (2000): Adventures in diving manual, 2. überarbeitete Auflage. PADI Europe AG, Hettlingen
21. Roediger, H. (1974): Zur Psychologie des Sporttauchens. Delphin, Heft 11, 32-36, zitiert nach Bartmann, H.: Taucher-Handbuch mit 61. Ergänzungslieferung, 1993, 1996, 1998, 2000, 2003, Landsberg/Lech
22. Scheyer, W. (2002): Trockentauchen, Eistauchen, Bergseetauchen, Suchen und Bergen. Delius Klasing, Bielefeld
23. Schoiberg, S.(1991): Tauchphysiologie. Hofmann, Augsburg, zitiert nach BARTMANN, H.: Taucher-Handbuch mit 61. Ergänzungslieferung, 1993, 1996, 1998, 2000, 20003, Landsberg/Lech
24. SSI EUROPE (2009): Willkommen in der Welt von SSI. Stand 2009, Abfrage 12.4.2009: [http://tropical-divers.com/html/body\\_ssi-tauchkurse.html](http://tropical-divers.com/html/body_ssi-tauchkurse.html)
25. VERBAND DEUTSCHER SPORTTAUCHER VDST (2009): Spezialkurs-Ordnung, Stand 2009, Abfrage 24.01.2010: [http://www.ausbildung.vdst.de/inhalt/vdst-downloads/ordnungen\\_2009/vdst-sk-ordnung\\_01-01-09.pdf](http://www.ausbildung.vdst.de/inhalt/vdst-downloads/ordnungen_2009/vdst-sk-ordnung_01-01-09.pdf)
26. Welslau, W. ( 2009) Präsident der GTÜM. Interview auf der Messe BOOT, Düsseldorf, 31.1.2009
27. WIKIPEDIA (2010): Bergseen, Stand 2010, Abfrage 24.1.2010: <http://de.wikipedia.org/wiki/Attersee>
28. <http://de.wikipedia.org/wiki/Bodensee>
29. <http://de.wikipedia.org/wiki/Chiemsee>
30. [http://de.wikipedia.org/wiki/Starnberger\\_See](http://de.wikipedia.org/wiki/Starnberger_See)
31. <http://de.wikipedia.org/wiki/Walchensee>

**Danksagung.** Die Autoren danken allen 30 Tauchern, den befragten Druckkammer-Zentren und Tauchschiulen, Herrn G. Kremers, Herrn Dr. W. Welslau sowie Herrn W. Reints © für bereitwillig gewährte Unterstützung.

#### Korrespondenzadresse

Daniel Hothorn  
Sattlerweg 60  
55128 Mainz  
[Daniel.hothorn@web.de](mailto:Daniel.hothorn@web.de)

## Frauen tauchen

C Haizmann

### Frauen holen auf

Während die Unterwasser-Arbeitswelt überwiegend noch Männerdomäne ist, wächst der Anteil der Frauen am Tauchsport. Er liegt z. Zt. bei ca. 30 % (VDST: 29 %, PADI: 35 %, aqua med: 27 %) (Abb. 1). In vergleichbarer Größenordnung, also ca. 30%, liegt auch der Anteil der Frauen an Tauchunfällen. Je nachdem, wie man 'Tauchunfall' definiert, liegt er sogar darunter.



**Abb. 1:** Der Anteil der Frauen beim Gerätetauchen nimmt über die Jahre stetig zu und beträgt heute zwischen 30 und 35 %

Foto: HJ Erschig

Exemplarisch seien die Fälle von aqua med von 2007 genannt: Bei den 116 in Deutschland abgewickelten Tauchunfällen waren 75 (= 65 %) männlich und 41 (= 35 %) weiblich. Auf den ersten Blick scheinen daher Frauen etwas häufiger an Unfällen beteiligt zu sein. Aber: Schaut man sich die Fälle einzeln an, dann stellt sich heraus, dass Frauen häufiger, sozusagen zur Sicherheit, die Hotline kontaktieren und den Befund abklären lassen.

Pointiert fasste Dr. Ulrich van Laak von der DAN Hotline zusammen: die Männer mit den roten Bäuchen rufen seltener an als die Frauen mit blauen Brüsten [3].



C Haizmann

Rufen Männer an, besteht häufig ein größeres Problem. Betrachtet man auch diesen Aspekt,

sieht das Bild ganz anders aus. Dann waren 92 (ca. 79 %) Anrufer männlich und 24 (ca. 21 %) weiblich. Der Anteil von Frauen an den Tauchunfällen war also geringer als im Gesamtkollektiv [4].

### Der kleine Unterschied

Tauchen Frauen anders? Gibt es nicht nur einen weiblichen Fahrstil, sondern auch einen weiblichen Tauchstil? Und ist dieser Stil Grund dafür, dass Frauen tendenziell sicherer zu tauchen scheinen?

Die BSAC Statistik 2009 in Großbritannien zeigt, dass 37 % der Dekompressionserkrankungen in mehr als 30 m Tiefe passieren [5]. Bisher nicht statistisch nachgewiesen, aber häufig beobachtet ist, dass Frauen – natürlich rein tiefenmäßig – oberhalb des Niveaus ihrer Partner zu finden sind. Männer wollen die Tiefe, Frauen das Panorama.

Erst in den letzten Jahren werden Hautveränderungen bei Frauen nach dem Tauchen aufmerkamer betrachtet: Symptome bei DCS 1 waren über-

### Fallbericht: Der rote Fleck

*Es war der vorletzte Tag einer Tauchsafari am Roten Meer. Petra (Name geändert) hatte hier täglich zweibis dreimal in moderaten Tiefen getaucht, ohne Dekopflucht oder schnelle Aufstiege.*

*Ein roter Fleck, handtellergroß, leicht juckend, am Oberschenkel war ihr nach dem nachmittäglichen Tauchgang aufgefallen. Ein anderer Taucher hatte Nesselfäden am Anzug gehabt. Könnte ein Quallenkontakt Ursache des Flecks sein? – Sonst war ihr pudelwohl. Vielleicht ein bißchen müde, aber der 'early dive' war auch wirklich früh gewesen.*

*Petra legte sich hin. Beim Abendessen fehlte sie. Auf Nachfrage berichtete ihr Freund, sie habe Kopfschmerzen, Flimmerskotome und ihr sei schlecht. Es klang nach Migräne. – Ja, die hatte sie auch zu Hause öfters gehabt. Bei der körperlichen Untersuchung fielen eine Marmorierung des Stammes und rote Flecken an beiden Oberschenkeln auf. Die übrigen Befunde einschließlich Reflexstatus waren unauffällig. Welche Diagnose war jetzt zu vermuten? – Qualle plus Migräne gleich DCS (decompression sickness = Dekompressionserkrankung), ist das so?*

*Petra atmete noch am Abend 3 • 30 min Sauerstoff unter normalem Umgebungsdruck. Darunter verschwanden alle Symptome. Vorsichtshalber tauchte sie am nächsten Tag nicht. Der Rückflug am Tag darauf verlief ebenfalls problemlos [1].*

C Haizmann

CAISSON 2010;25(1):16-17

zufällig häufig zuerst an der Brust, als schmerzhafte Schwellung, oder am Gesäß/ Oberschenkel als Rötung oder Marmorierung beobachtet und gemeldet worden [2].

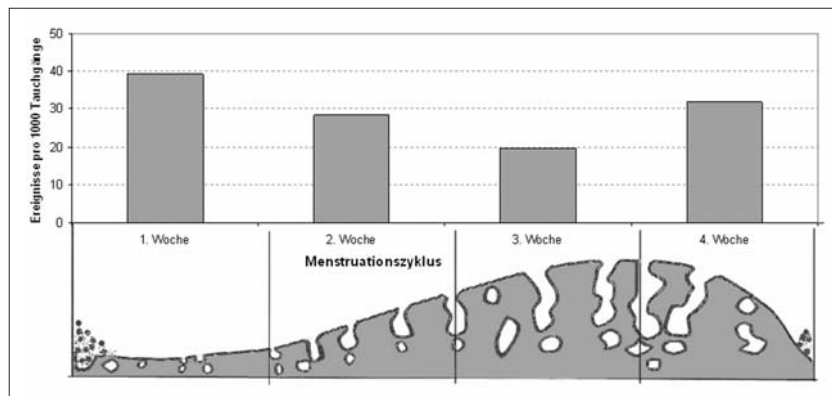
Einen neuen Aspekt in die Diskussion brachte 2006 eine prospektive Studie aus England über die Zyklusabhängigkeit von tauchassoziierten 'Ereignissen', also nicht nur Dekompressionserkrankungen, in der 533 Frauen Tagebuch führten, und immerhin 34.000 Tauchgänge in 11.000 Zyklen zusammenkamen. Es stellte sich heraus, dass zu Beginn und am Ende des Monatszyklus 'Ereignisse' beim Tauchen häufiger waren als in der Zyklusmitte. Daraus folgerten die Autoren, dass das DCS-Risiko für Frauen über den Monat unterschiedlich hoch ist, und zwar gleichzeitig mit oder kurz vor der Regelblutung das DCS-Risiko erhöht sei [6] (Abb. 2). Daraus wurde die Empfehlung abgeleitet, während der Monatsblutung noch konservativer zu tauchen, als in der Zyklusmitte und auf Wiederholungstauchgänge zu verzichten.

### Ovulationshemmer und Fernreisen

Bei Fernreisen kann das Economy Class Syndrom (= Thrombophlebitiden / Thrombosen durch langes Sitzen) auftreten. Dieses Risiko wird durch Pilleneinnahme weiter erhöht. Frauen mit Fernweh, die die Pille nehmen, sollten ggf. eine Thromboseprophylaxe mit ihrem Arzt / Ärztin absprechen. Bei diesem Gespräch kann dann auch über den Wirkungsverlust der Pille bei Durchfall und Ähnlichem gesprochen werden.

### Ausrüstung für Frauen

Der Atemregler muss passen, nicht nur bei Frauen. Anzug und Jacket müssen der weiblichen Anatomie entsprechen. Der Tragekomfort ist bei bleiintegrierten Jackets sicher am größten, ansonsten ist Softblei den harten Bleistücken am Bleigurt vorzuziehen. Frauen benötigen eventuell eine kleinere Flasche. Die 'Stöckelflosse' (high tide heels) bleibt bis auf weiteres Tauch-Modells vorbehalten.



**Abb. 2:** Das DCS-Risiko für Frauen scheint gleichzeitig mit oder kurz vor der Regelblutung erhöht zu sein [6]

Grafik: H Sümmerer

### Zusammenfassung

- schmerzhafte Schwellung der Brust nach dem Tauchgang kann Hinweis auf DCS sein
- DCS-Risiko schwankt zyklusabhängig
- 'Pille' bei Fernreisen mit erhöhtem Thromboseisiko und schlechter Sicherheit behaftet
- Schwangerschaft = Tauchverbot!
- Brustimplantate sind beim Tauchen sicher
- Ausrüstung muss passen

### Literatur

1. Persönl. Mitteilung 2008
2. Klingmann C, Tetzlaff K (Hrsg), Moderne Tauchmedizin, Gentner Verlag, 1. Aufl. 2007: 625
3. Dr. Ulrich van Laak, Kronshagen: Tauchunfallstatistik (DAN), Vortrag auf der 11. Tauchmedizinischen Fortbildung in Essen am 28. / 29.11.2009 in Essen
4. Marco Röschmann, aqua med: Persönl. Mitteilung
5. NDC Diving Incident Report, Cumming B, BSAC, 2009: 4
6. St. Leger Dowse, M et al. Problems associated with scuba diving are not evenly distributed across a menstrual cycle, J Obstet Gyn 2006; 26 (3): 216-221
7. Roggenbach HJ, (Hrsg), Tauchmed. Fortbildung, Verlag Stephanie Naglschmidt; 8/9: 250 ff
8. Klingmann C, Tetzlaff K (Hrsg), Moderne Tauchmedizin, Gentner Verlag, 1. Aufl. 2007: 626

### Weitere Literatur:

Weidauer H, Klingmann C, Tauchmedizin aktuell, Gentner Verlag, Stuttgart, 2004  
 Roggenbach HJ, Bredebusch P, Göbel H, Tauchmedizin in Theorie und Praxis, Delius Klasing Verlag Bielefeld, 1. Aufl. 2007

### Danksagung

Ich danke den Kolleginnen und Kollegen für die Unterstützung für den Vortrag auf dem 3. Trinationalen Tauchmedizin Symposium in Freiburg (2008) und für diesen Beitrag

### Korrespondenzadresse

Dr. Claudia Haizmann  
 Druckkammerzentrum Freiburg GmbH  
 am St. Josefkrankenhaus  
 Habsburger Str. 116  
 79104 Freiburg  
 info@hbo-freiburg.de



## Frauentauchen – terra incognita der Tauchmedizin

CM Muth\*

### Zusammenfassung

Der Frauenanteil unter Sporttauchern liegt derzeit bei etwa 30 %. Dennoch sind die frauenspezifischen Besonderheiten beim Tauchen wenig bekannt. Die traditionelle Annahme, dass Frauen wegen ihrer physiologischen Besonderheiten ein im Vergleich zum Mann deutlich erhöhtes Dekompressionsrisiko hätten, lässt sich mit neueren Untersuchungen nicht belegen. Es gibt allerdings Hinweise darauf, dass das DCS-Risiko in Abhängigkeit vom Monatszyklus und der damit verbundenen Hormonumstellungen schwankt. Darüber hinaus scheinen tauchbedingte Schwellungen der Mammæ eine spezifisch weibliche Reaktion auf Dekompressionsstress zu sein. Brustimplantate gelten beim Tauchen als unbedenklich, eine bekannte Schwangerschaft ist hingegen eine absolute Kontraindikation gegen das Tauchen.

Stillende Mütter hingegen dürfen wieder Tauchen, sollten allerdings stressfreie Tauchgänge durchführen und an eine adäquate Flüssigkeitsbilanz denken. Schließlich werden in den aktuellen Empfehlungen zur Tauchtauglichkeit der GTÜM e.V. und der ÖGTH speziell auch Indikationen aus dem gynäkologischen Bereich berücksichtigt.

### Einleitung

Bis in die 1980er Jahre hinein war in Fachkreisen die Meinung vorherrschend, dass es zum Tauchen ganze Kerle bräuchte und es daher eher keine Beschäftigung für Frauen sei. Gern wird in diesem Zusammenhang ein bekanntes Taucherlehrbuch aus den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts (Tauchtechnik, Handbuch für Taucher von Herman Stelzner, Lübeck 1931) zitiert, in dem folgendes unmissverständlich festgestellt wird: 'Taucher sind Männer großer Muskelkraft, mit gesunden Organen. Taucher sind Männer hoher geistiger Kräfte, von Verstand und einwandfreier Moral.'

Andererseits berichtet aber schon eine altgriechische Sage von Cyana (Abb. 1), die vor 2500 Jahren tauchend die Schiffe der Flotte des persischen Eroberers Xerxes so beschädigt haben soll, dass dessen Invasion scheiterte. Sie war damit nicht nur die erste 'geschichtliche' Taucherin, sondern gleichzeitig auch die Urmutter aller tauchenden

Elite-Verbände moderner Armeen. In Japans und Korea wird das Perlentauchen seit Jahrhunderten vornehmlich von Frauen ausgeführt, und dies nicht zuletzt deshalb, weil Männer in diesem Kulturkreis als eher ungeeignet gelten, die Strapazen diese beruflichen Art des Tauchens auszuhalten. Im westlichen Kulturkreis waren tauchende Frauen aber bis in die späten 70er Jahre des 20. Jahrhunderts eher die Ausnahme. Erst in den letzten drei Jahrzehnten nahm die Zahl der weiblichen Taucher zumindest im Bereich des Sporttauchens deutlich zu. Wenn auch bis heute noch kein paritätisches Verhältnis erreicht ist, so liegt der Anteil der Taucherinnen an der Gesamtpopulation der Taucher bei etwa 30 % mit noch immer steigender Tendenz.

Doch trotz dieser Entwicklung ist die traditionelle Tauchmedizin weiterhin männlich orientiert. So beruht das Lehrbuchwissen, wie sich z.B. ein Tauchunfall klinisch äußert, noch immer auf Beobachtungen, die von Militärärzten und Arbeitsmedizinern an in der Regel jungen Männern beobachtet wurden. Spezifische Frauenerkrankungen fanden bis vor kurzem in den Empfehlungen zur Tauch-



CM Muth



**Abb. 1:** Wir denken 2500 Jahre zurück. Mal wieder Krieg zwischen Persern und Griechen. Vater Scyllias und Tochter Cyana werden von den Persern gefangen gehalten. Unbemerkt tauchen sie auf der Reede von Aphetæ in Kleinasien und kappen die Ankertaue der persischen Flotte. Die Schiffe des Perserkönigs Xerxes stranden. Cyana gilt heute als die Schutzpatronin der Taucher

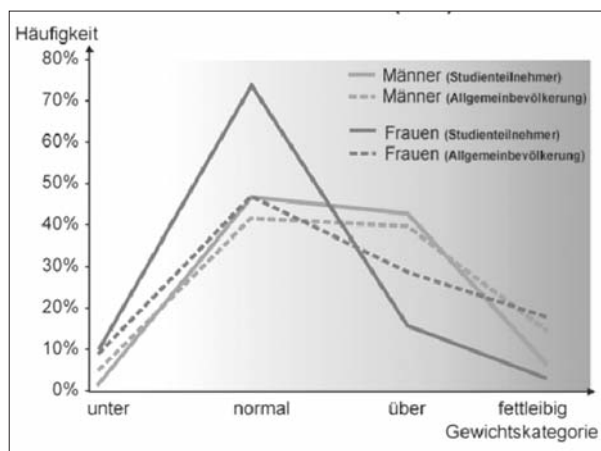
CM Muth

CAISSON 2010;25(1):18-24

tauglichkeit kaum Beachtung. Auch den physiologischen Unterschieden zwischen den Geschlechtern wurde mit Ausnahme von Schwangerschaft von Seiten der Tauchmedizin keine Beachtung geschenkt. Neuere Erkenntnisse lassen aber den Schluss zu, dass hier dringlicher Nachholbedarf existiert.

### Physiologische Unterschiede

Männer und Frauen unterscheiden sich physiologisch in Körpergewicht, Fett- und Wasseranteil, Muskelmasse und Stoffwechsel sowie einigen Organfunktionen [19]. So sind Frauen im Schnitt kleiner als Männer und wiegen deshalb meist auch weniger. Frauen haben einen vergleichsweise größeren Körperfettanteil und eine geringere Muskelmasse, was insbesondere bei fettlöslichen Substanzen eine Rolle spielt (Abb. 2). So ist in der Pharmakologie bekannt, dass fettlösliche Medikamente bei Frauen anders verstoffwechselt werden, als bei Männern. Einige Antibiotika oder Narkosemittel bleiben bei Frauen länger im Fettgewebe, was z.B. unerwünschte Nebenwirkungen verstärken kann. Dies kann möglicherweise auch bei der Stickstoffkinetik während des Tauchens eine Rolle spielen [6, 7].



**Abb. 2:** Im Hinblick auf den BMI gibt es deutliche Unterschiede zwischen männlichen (dicke gestrichelte Linie) und weiblichen (dicke durchgezogene Linie) Tauchern. Es gibt mehr normalgewichtige und weniger übergewichtige Taucherinnen. Damit sollte das DCS-Risiko bei den tauchenden Frauen gegenüber den tauchenden Männern vermindert sein

Grafik: S Naglschmid, Divemaster 54/2007, nach DDRC, UK

Einen wichtigen Einfluss auf diese physiologischen Unterschiede hat der Hormonspiegel. Der Organismus von Männern wird während der Embryonalentwicklung, in der Neonatalphase und ab der Pubertät vorwiegend durch einen relativ hohen Testosteronspiegel geprägt, der der Frau durch ein komplexes Zusammenspiel von Estradiol und Progesteron [19]. Testosteron erfüllt wichtige Funktionen beim Aufbau von Gewebe. Dieser anabole Effekt ist der

Grund für den relativ höheren Anteil an Muskelmasse bei Männern. Bei Frauen ist dafür der Wasserhaushalt hormonell beeinflusst, da Estradiol an der Niere zur Retention von Wasser und Salzen führt. Daher schwanken die Flüssigkeitsansammlungen im Interzellularraum in Abhängigkeit vom Menstruationszyklus, was die meisten Frauen durch Zunahme des Körpergewichtes vor der Menstruation bemerken.

Sowohl Testosteron als auch Estrogene werden von männlichen und weiblichen Organismen gebildet, allerdings sind die Hormonmengen unterschiedlich groß.

### Dekompressionsrisiko

Bis in die 80er Jahre hinein galt, dass Frauen wegen des prozentual höheren Anteils an Körperfett ein bis zu 3,5-fach erhöhtes Risiko in sich trügen, einen Dekompressionsunfall zu erleiden [2, 8, 16, 24]. In einer jüngeren Untersuchung mit einem sehr großen Probandenkollektiv zeigte sich hingegen ein im Vergleich zu den tauchenden Frauen 2,6-fach erhöhtes Risiko bei Männern [20]. Dieses Ergebnis wird mit der Beobachtung begründet, dass Frauen in der Regel ein vorsichtigeres und sicherheitsbewussteres Tauchverhalten an den Tag legen als Männer und tatsächlich seltener verunfallen.

Allerdings gibt es in neuerer Zeit deutliche Hinweise, dass der Monatszyklus der Frau einen gewissen Einfluss auf die Deko-Empfindlichkeit hat [18]. So beobachten alle Taucherärzte, die sich intensiv mit der Behandlung verunfallter Taucher beschäftigen, dass verunfallte Taucherinnen recht häufig gleichzeitig oder kurz vorher ihre Regelblutung hatten, was sich auch in einer retrospektiven Untersuchung bestätigen ließ [18].

Mögliche Erklärungen für dieses Phänomen sind vielfältig. So kommt es unter dem Einfluss weiblicher Hormone, wie oben dargestellt, zyklisch zu einer vermehrten Wassereinspeicherung in das Gewebe, was zumindest theoretisch die Stickstoff-Auf- und Entsättigung beeinflussen kann. Angeführt wurde auch ein Flüssigkeitsverlust durch die Regelblutung als mögliche Ursache. In den allermeisten Fällen ist diese Blutmenge aber relativ gering und zudem ist der Verlust noch über mehrere Tage verteilt, so dass dieser Einfluss sehr unwahrscheinlich ist. Mitunter geht die Menstruation aber auch mit körperlichem Unwohlsein einher, so dass es zu verringerten Trinkmengen, Magen-Darm-Problemen etc. kommen kann, was in der Tat das Dekompressionsrisiko erhöht. Daher ist Frauen während der Menstruation angeraten, eher konservativ zu tauchen und auf Wiederholungstauchgänge weitgehend zu verzichten, bzw. diese kurz und

flach zu halten. Angemerkt sei noch, dass während dieser Zeit keine erhöhte Infektionsgefahr im Intimbereich durch das Tauchen besteht, und auch alle herkömmlichen Hygieneartikel beim Tauchen unbedenklich sind. Selbstverständlich besteht während der Monatsblutung auch kein besonderes Risiko durch gefährliche Meerestiere wie z.B. Haie.

### **Tauchen und Regelblutung**

*Die Regelblutung erhöht wahrscheinlich das Risiko, einen Tauchunfall zu erleiden.*

*Es empfiehlt sich daher in dieser Zeit*

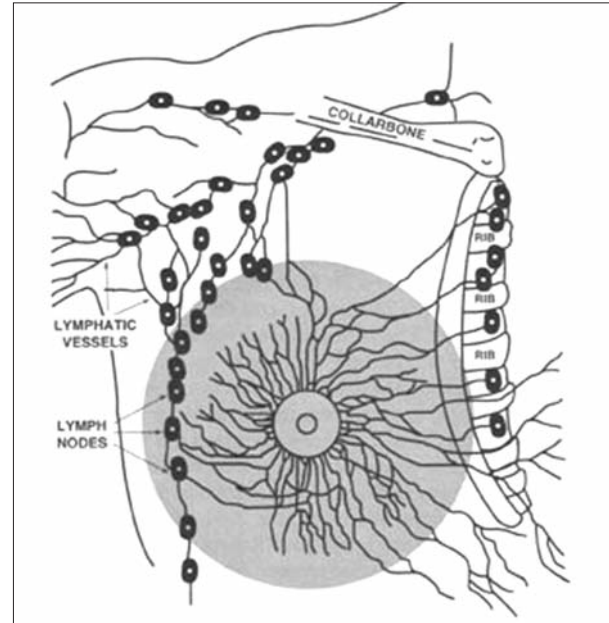
- konservativ zu tauchen
- auf Wiederholungstauchgänge zu verzichten oder nur kurze und flache Tauchgänge zu machen
- bei Unwohlsein auf das Tauchen zu verzichten
- ausreichend zu trinken!

Beim erwachsenen Mann schwankt die Plasmakonzentration vom Testosteron zwar während des Tages, die tägliche Gesamtmenge ist jedoch relativ konstant [19]. Dagegen ändert sich die hormonelle Situation bei der Frau im Verlauf des Monatszyklus, denn die jeweilige Bildung von Estradiol und Progesteron steuert den menstruellen Zyklus und die Blutung [19].

Neben den physischen sind auch die psychischen Unterschiede zwischen Mann und Frau zum Teil über die Wirkung von Testosteron und Estradiol beziehungsweise Progesteron zu erklären. So wird die im durchschnittlichen Vergleich grössere Aggressivität und vor allem die höhere Risikobereitschaft bei männlichen Individuen nicht zuletzt auf die Testosteronwirkung zurückgeführt

### **Symptomatik einer DCS – geschlechtsspezifische Unterschiede**

Die Symptomatik des dekompressionsbedingten Tauchunfalls hängt unmittelbar und ganz wesentlich von der Verteilung der Gasblasen und dem Befall der jeweilig betroffenen Gewebe ab. Doch auch hier scheint es zumindest bei der milden Verlaufsform (DCS Typ 1) gewisse geschlechtsspezifische Unterschiede zu geben. So werden die Hautsymptome (kutane Verlaufsform) bei Frauen überzufällig häufig eher am Po und an den Oberschenkeln beobachtet, wohingegen die 'klassische' Form eher stammbetonter ist [9, 10]. Speziell weibliche Taucher berichten zudem im Zusammenhang mit einer DCS häufiger über eine vorübergehende schmerzhafte Schwellung der Brüste (Mammæ), am ehesten hervorgerufen durch einen von Gasblasen hervorgerufenen Lymphstau in der weiblichen Brust, der zu ödematösen Schwellungen führt [17] (Abb. 3). Hier ist zu bedenken, dass die weibliche Brust völlig



**Abb. 3:** Die Versorgung der weiblichen Brust mit Blut und Lymphgefäßen ist umfangreicher als beim Mann. Wenn Taucherinnen im Zusammenhang mit einer DCS häufiger über eine vorübergehende schmerzhafte Schwellung der Brüste (Mammæ) klagen, dann wären diese Schwellungen am ehesten hervorgerufen durch einen von Gasblasen hervorgerufenen Lymphstau in der weiblichen Brust, der zu ödematösen Schwellungen führt

Graphik: [www.ahbras.com/A\\_Breasts\\_LymphSystem.jpg](http://www.ahbras.com/A_Breasts_LymphSystem.jpg)

anders und sehr viel komplexer aufgebaut ist, als die männliche. Die unterschiedliche Anatomie erklärt aber, warum dieses Phänomen der Brustschwellung als Symptom einer DCS Typ 1 bei Männern in der Regel nicht auftritt. Weil aber die klassischen Tauchmedizinbücher auf Untersuchungen an vorwiegend männlichen Tauchern beruhen, ist dort von geschlechtsspezifischen Unterschieden der Symptomatik keine Rede. Dies führte in der Vergangenheit des Öfteren zu Irritationen und leider auch zur Verknennung von Tauchunfällen.

### **Brustimplantate**

Die Anzahl der Trägerinnen von Brustimplantaten steigt und damit auch die Zahl der tauchenden Implantatträgerinnen. Durch die Laienpresse mit Berichten über geplatzte Implantate verunsicherte Frauen sehen für sich und die Prothesen Gefahr durch das Tauchen. Dies ist jedoch unbegründet, auch wenn Materialfehler nicht ausgeschlossen werden können. Tauchen ist jedoch nicht Ursache eines Prothesenlecks. Da die Mammaimplantate keine luftgefüllten Hohlräume enthalten, sind Druckschädigungen nicht zu erwarten [13,23], allenfalls eine Kompression durch zu enge Ausrüstung oder die Begurtung wären denkbar, wenn auch unwahrscheinlich.



Wie in den Körpergeweben, löst sich auch im Medium des Implantats Stickstoff, sowohl in Kochsalz- als auch in Silikonölprothesen [13,23].

In Druckkammerversuchen konnte der Nachweis einer Gasblasenbildung bei der Dekompression in den Implantaten erbracht werden. Es kam jedoch nicht zu einer kritischen Größenzunahme. Die Bildung von Gasblasen war in Silikonöl ausgeprägter als in Kochsalz, dies lässt sich durch die bessere Löslichkeit von Stickstoff in lipophilen Medien erklären. Die Druckkammerversuche setzten die Prothesen einem deutlich höheren Stickstoffpartialdruck aus, als dies beim Sporttauchen der Fall ist, so dass keine Einschränkungen für das Tauchen bestehen. Es sollte allerdings auf einen guten Sitz der Ausrüstung geachtet werden, um Druckschädigungen durch Equipment und Begurtung zu vermeiden.

### Tauchen und Schwangerschaft

Bei weiblichen Tauchern ist eine sehr häufig gestellte Frage, ob das Tauchen in der Schwangerschaft erlaubt sei. Die Empfehlung der Tauchmedizin lautet hier ganz eindeutig: Es besteht absolutes Tauchverbot von dem Augenblick an, an dem die Schwangerschaft (z.B. durch Schwangerschaftstest) bekannt ist [5,11,15,17]. Dies ist damit begründet, dass eine Schädigung des Kindes durch das Tauchen nicht auszuschließen ist. Diese ablehnende Haltung begründet sich vor allem mit theoretischen Erwägungen, die gegen ein Tauchen sprechen. Dazu gehört, dass bekanntlich die komplette Versorgung des Feten ausschließlich über die Nabelschnur erfolgt. Die Lungen des Kindes sind zu diesem Zeitpunkt zudem über das Foramen ovale und den Ductus arteriosus quasi kurzgeschlossen, so dass das Blut fast vollständig an den Lungen vorbeigeleitet wird und daß die beiden

**Tab. 1:** Übersicht Tauchtauglichkeit bei gynäkologischen und geburtshilflichen Indikationen, zusammengefasst nach den Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (Tetzlaff K, Klingmann Ch, Muth CM, Piepho T, Welslau W (Hrsg). Checkliste Tauchtauglichkeit – Untersuchungsstandards und Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM). Gentner Verlag, Stuttgart 2009, ISBN 978-3-87247-681-4)

	Tauchtauglich	Relative Kontraindikation	Absolute Kontraindikation
<b>Schwangerschaft und Stillzeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stillzeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Z.n. Schwangerschaft vor Sistieren des Wochenflusses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwangerschaft (ab dem Zeitpunkt da bekannt!)</li> <li>• Mastitis</li> </ul>
<b>Erkrankungen der Brust</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kurativ behandeltes Mamma-Ca</li> <li>• chirurgisch behandeltes Mamma-Ca ohne Axilladissektion nach Abschluss der Wundheilung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mamma-Ca mit eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit</li> <li>• erhebliche und ausge dehnte Lymphödeme der oberen Extremitäten nach Behandlung des Mamma-Ca</li> <li>• Metastasiertes Mamma-Ca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erhebliche und ausge dehnte Lymphödeme der oberen Extremitäten mit stattgehabter lokaler Dekompressionsunfall-Symptomatik im betroffenen Bereich</li> </ul>
<b>Benigne Erkrankungen der weiblichen Geschlechtsorgane</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dysmenorrhoe im beschwerdefreien Intervall</li> <li>• Hypermenorrhoe mit fehlender oder geringer Anämie und guter körperlicher Leistungsfähigkeit</li> <li>• Endometriose</li> <li>• kleineren benignen Ovarialzysten</li> <li>• Uterus myomatosus</li> <li>• Descensus uteri</li> <li>• Prolaps uteri</li> <li>• Inkontinenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dysmenorrhoe mit starken akuten Beschwerden</li> <li>• Hypermenorrhoe mit ausgeprägter Anämie und eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grosse, gestielte Ovarzysten bis zum Abschluss der operativen Therapie</li> <li>• Z.n. Hysterektomie bis zur vollständig abgeschlossenen Wundheilung bzw. 8 Wochen nach OP</li> <li>• Floride Infektionen von Vulva und Vagina</li> <li>• Sehr große Myome mit Organverdrängung</li> </ul>
<b>Maligne Erkrankungen der weiblichen Geschlechtsorgane</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kurativ behandelte maligne gynäkologischen Erkrankungen (Metastasenfreiheit) bei guter körperlicher Leistungsfähigkeit und ohne Lymphabflussstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kurativ behandelte maligne gynäkologische Erkrankungen bei guter körperlicher Leistungsfähigkeit mit Lymphabflussstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maligne, metastasierte gynäkologische Erkrankungen unter Therapie und bei eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit</li> </ul>

Teilkreisläufe funktionell nicht völlig voneinander getrennt sind. So dass z.B. auch Gasblasen ungehindert shunten können. Zudem würde ein Verschluss der Nabelschnur-Gefäße durch die Bildung von Gasblasen während der Dekompression in diesem Bereich die Versorgung des Kindes behindern.

Hier ist zu beachten, dass Gasblasen sich bei entsprechendem Dekompressionsstress zwar vorwiegend in der Mutter bilden, das mütterliche Blut aber den vermehrt aufgesättigten Stickstoff in das Kind transportiert. Die Plazenta stellt dabei zwar einen guten Filter dar, der bei starkem Blasenbefall aber versagen kann. Auch die Aufsättigung des Kindes kann zur Blasenentstehung führen, was, wegen der fehlenden Trennung beider Kreisläufe, fatal sein kann.

Dieser theoretischen Erwägung stehen durchaus widersprüchliche Ergebnisse aus Tierversuchen gegenüber. So konnten in unterschiedlichen Tiermodellen sowohl eine erhöhte Abort-Rate und vermehrte Fehlbildungen nachgewiesen werden, als auch ungestörte Schwangerschaftsverläufe [1,3,12,21,22]. Auch gibt es Berichte über Berufstaucherinnen (Tauchlehrerinnen, Muscheltaucherinnen), die trotz Weitertauchen in der Schwangerschaft (teilweise bis kurz vor der Niederkunft) gesunde Kinder geboren haben. Allerdings ist hier ebenso eine erhöhte Missbildungsrate und Fehlgeburtsrate belegt [2].

Trotz Fehlens harter wissenschaftlicher Daten über den Einfluss des Tauchens auf Schwangere und deren Frucht besteht international der Konsens, dass vom Tauchen in der Schwangerschaft strikt abgeraten werden muss, „zumal es auch keine Tiefenlimitierung gibt, die als 'sicher' anzusehen sind. Unklar ist zudem, auf welche Weise sich eine notwendige Rekompessionsbehandlung (HBO-Therapie) bei einem Tauchunfall der Mutter auswirken würde [12,14].

Auch vor dem Hintergrund eines zeitlich begrenzten Zustands der Schwangerschaft sollte dies den Taucherinnen vermittelbar sein, zumal eine kindliche Missbildung ein hoher Preis für das kurzfristige Taucherlebnis wäre. In der Phase der konkreten Nachwuchsplanung mit dem Verdacht der stattgehabten Befruchtung sollte auf das Tauchen verzichtet werden, um möglichen Schaden zu vermeiden. Es muss jedoch deutlich festgehalten werden, dass ein oder mehrere Tauchgänge nach erwiesener Befruchtung keinesfalls per se eine Indikation zur Interruptio darstellen.

Nach beendeter Schwangerschaft besteht dann wieder eine Tauchtauglichkeit, wenn der Wundheilungsprozess im Dammbereich komplett abgeschlossen ist, die Mutter sich körperlich fit und erholt fühlt und sportliche Aktivitäten insgesamt wieder erlaubt sind. Es ist aber in jedem Fall das Ende des Wochenflusses abzuwarten.

### Tauchen und Stillen

Wird nach beendeter Schwangerschaft wieder mit dem Tauchen begonnen, ist das Kind in vielen Fällen noch nicht abgestillt. Hier ergibt sich dann die Frage, in wie weit sich Tauchen und Stillen gegenseitig beeinflussen. Häufig wird bei dieser Frage darüber spekuliert, ob das Kind Schaden nehmen könne, denn Stickstoff, der sich beim Tauchen ja aufsättigt, ist sehr gut fettlöslich und löst sich somit hervorragend auch in der Muttermilch.

Diese Bedenken sind allerdings völlig gegenstandslos, denn durch den Saugvorgang wird be-

### *Tauchen und Stillen*

*Besonders wichtig: ausreichende Flüssigkeitszufuhr!!! Stillen selbst geht mit einem erheblichen Mehrbedarf an Flüssigkeit für die Stillende einher. Auch Tauchen hat (sozusagen als Nebenwirkung) einen relativen Flüssigkeitsmangel zur Folge.*

*Beides muss ausgeglichen werden, weil sonst*

- die Milchproduktion beeinträchtigt ist,*
- die körperliche Leistungsfähigkeit vermindert ist und*
- durch Flüssigkeitsmangel die Gefahr einen Deko-Unfall zu erleiden deutlich steigt.*

*Die Zeit der Schwangerschaft geht bei vielen Frauen zwangsläufig mit einer Zeit der körperlichen Ruhe und somit des Trainingsmangels einher. Zusätzlich geht Stillen an die Substanz, insbesondere wenn der Säugling auch nachts mehrfach angelegt werden muss. Bei insgesamt eingeschränkter Leistungsfähigkeit keine Risiko-Tauchgänge (Strömung, große Tiefe, große Schwimmstrecke), sondern möglichst entspanntes Tauchen am Riff.*

*Eine gewisse Zeit sollte schon zwischen Entbindung und körperlicher Anstrengung verstreichen. In der Regel sind das etwa drei bis 4 Monate. Gibt der Frauenarzt Sport und körperliche Anstrengung insgesamt frei, spricht in der Regel auch nichts gegen das Tauchen.*

*Gelegentlich kann es durch das Tauchen zu einem Rückgang der Milchproduktion kommen. In den meisten Fällen ist dann einfach die nachgeführte Flüssigkeitsmenge nicht adäquat, manchmal findet sich aber keine Ursache. Das sollte man zumindest wissen.*

*Bei Entzündungen der Brust oder der Brustwarzen sollte nicht getaucht werden.*



reits der größte Teil des vermehrt gelösten Stickstoffs entsättigt, der Rest entsättigt sich im Magen des Kindes. Schäden für das Kind oder gar ein Stickstoffübertritt sind damit völlig ausgeschlossen. Daher kann während der Stillzeit grundsätzlich getaucht werden [15,17]. Allerdings sind ein paar wichtige Dinge zu beachten:

Ganz besonders wichtig ist eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr der Mutter. Stillen geht per se schon mit einem erheblichen Mehrbedarf an Flüssigkeit für die Stillende einher. Auch Tauchen hat wegen der vermehrten Urinausscheidung durch Immersionseffekte einen relativen Flüssigkeitsmangel zur Folge. Beides muss ausgeglichen werden, weil sonst die Milchproduktion beeinträchtigt ist, die körperliche Leistungsfähigkeit vermindert ist und durch Flüssigkeitsmangel die Gefahr einen Dekompressionsunfall zu erleiden deutlich steigt.

Gelegentlich kann es durch das Tauchen zu einem Rückgang der Milchproduktion kommen. In den meisten Fällen ist dann einfach die nachgeführte Flüssigkeitsmenge nicht adäquat, wobei sich aber nicht immer eine Ursache findet.

Kommt es zu einem Wundwerden oder einer Entzündung der Mamillen, oder aber auch zur Mastitis, besteht bis zur völligen Abheilung Tauchverbot. Die Mamillen sollten nach dem Tauchen bei Stillenden zudem besondere Hygiene erfahren.

Die Zeit der Schwangerschaft geht zudem bei vielen Frauen zwangsläufig mit einer Zeit der körperlichen Ruhe und somit des Trainingsmangels einher. Zusätzlich geht Stillen an die Substanz, insbesondere wenn der Säugling auch nachts mehrfach angelegt werden muss. Bei insgesamt eingeschränkter Leistungsfähigkeit sollte nur einfache, stressfreie Tauchgänge durchgeführt werden. Statt Risiko-Tauchgängen (Strömung, große Tiefe, große Schwimmstrecke) also möglichst entspanntes Tauchen am Riff.

### **Tauchtauglichkeit – spezielle gynäkologische Aspekte**

In den aktuellen gemeinsamen Empfehlungen zur Tauchtauglichkeit der beiden Fachgesellschaften GTÜM e.V. und ÖGTH wurden erstmals ausführlich auch die gynäkologischen Aspekte der Tauchtauglichkeit berücksichtigt und als eigenes Kapitel in der Checkliste Tauchtauglichkeit (Tetzlaff K, Klingmann Ch, Muth CM, Piepho T, Welslau W (Hrsg). Checkliste Tauchtauglichkeit – Untersuchungsstandards und Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM). Gentner Verlag, Stuttgart 2009, ISBN 978-3-87247-681-4) publiziert. Es sei daher für den Einzelfall auch aus-

drücklich auf diese Empfehlungen verwiesen. Wichtige Aspekte sind aber für die Praxis vor allem das Tauchen nach gynäkologischen Operationen sowie das Tauchen bei Tumorerkrankungen.

Beim Tauchen nach gynäkologischen Operationen kann keine allgemeingültige Empfehlung abgegeben werden. Prinzipiell sollte die Wundheilung abgeschlossen und die allgemeine Sportfähigkeit wiederhergestellt sein. Nach Laparotomien oder Operationen am Beckenboden ist zu berücksichtigen, dass es durch das Tragen der schweren Tauchausrüstung zu einem nicht unerheblichen Anstieg des intraabdominellen Drucks kommen kann, der möglicherweise das Operationsergebnis negativ beeinflusst. Im Einzelfall sollte eine enge Kooperation des behandelnden Gynäkologen mit einem erfahrenen Tauchmediziner erfolgen.

Bei Tumorerkrankungen kann das Fortführen des Tauchsport oder dessen Erlernen wesentlich zur Lebensqualität von Tumorpatientinnen beitragen. Andererseits bedarf es einer gründlichen Nutzen-Risiko-Abklärung, die Tauchtauglichkeit muss unter Einbeziehung aller vorliegenden Befunde individuell evaluiert werden. Entscheidungskriterien sind hierbei unter anderem die Dignität, Art, Lokalisation und Stadium des Tumors sowie mögliche Beeinträchtigungen der Körperfunktionen, laufende oder abgeschlossene Therapien, Begleiterkrankungen, Dauermedikation und nicht zuletzt die allgemeine Konstitution der Patientin.

Damit wird deutlich, dass die Frage der Tauchtauglichkeit, möglicherweise mit gewissen Einschränkungen, nur in Zusammenschau gynäkologischer, tauchmedizinischer und selbstverständlich patienteneigener Aspekte zu bewerten ist. Beispielweise bedeutet ein gestörter – aus allgemeinmedizinischer Sicht nicht relevanter – Lymphabfluss auch einen verminderten Abtransport von Stickstoff aus den betroffenen Geweben und erhöht damit das Risiko für einen Dekompressionsunfall.

### **Literatur**

1. Bolton ME, Alamo AL, Lack of teratogenic effects of air at high ambient pressure in rats. *Teratology*. 1981;24:181-5
2. Bolton ME. Scuba diving and fetal well-being: a survey of 208 women. *Undersea Biomed Res*. 1980;7:183-9
3. Bolton-Klug ME, Lehner CE, Lanphier EH, Rankin JH. Lack of harmful effects from simulated dives in pregnant sheep. *Am J Obstet Gynecol*. 1983;146:48-51
4. Bolz M. Endokrine Besonderheiten der Frau bei Fernreisen. *Gynäkologe* 2001;34:387–392
5. Camporesi EM. Diving and pregnancy. *Semin Perinatol*. 1996;20:292-302



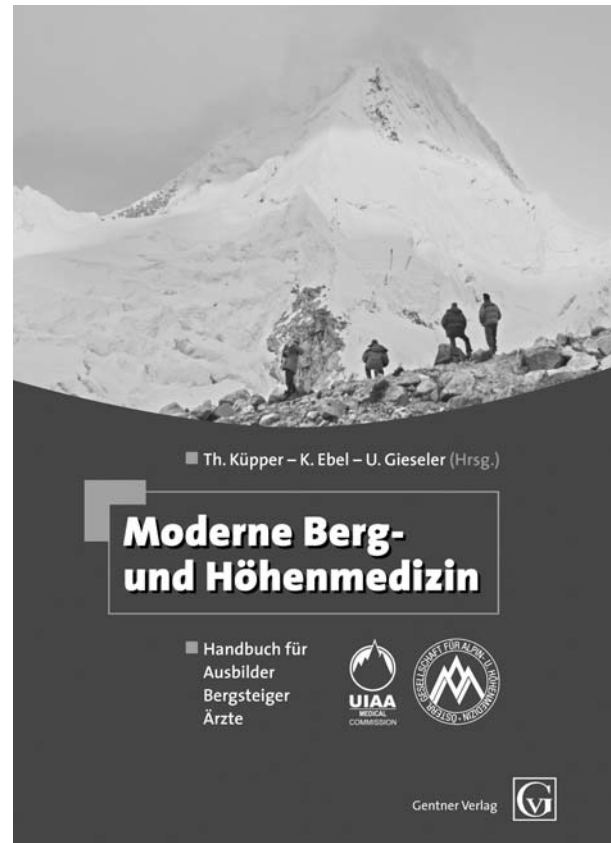
6. Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, et al. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol.* 2002;93:1349-1356.
7. Carturan D, Boussuges A, Burnet H, et al. Circulating venous bubbles in recreational diving: relationships with age, weight, maximal oxygen uptake and body fat percentage. *Int J Sports Med.* 1999;20:410-414.
8. Cresswell JE, St Leger-Dowse M. Women and scuba diving. *BMJ.* 1991;302:1590-1591.
9. 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 2001 data. Durham, NC: Divers Alert Network; 2003.
10. 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 1999 data. Divers Alert Network: Durham, NC, USA, 2001.
11. Fife CE, Fife WP. Should Pregnant Women Scuba Dive? A Review of the Literature. *J Travel Med.* 1994;1:160-167.
12. Gilman SC, Greene KM, Bradley ME, Biersner RJ. Fetal development: effects of stimulated diving and hyperbaric oxygen treatment. *Undersea Biomed Res.* 1982; 9: 297-304.
13. Grippaudo FR, Minasi P, Rocco M, Bruno A, Saracca E, Muratori L. Mammary implants: laboratory simulation of recreational diving conditions. *Br J Plast Surg.* 2002;55:120-3.
14. Jennings RT. Women and the hazardous environment: when the pregnant patient requires hyperbaric oxygen therapy. *Aviat Space Environ Med.* 1987;58:370-4.
15. Muth CM. Kalkulierbare Gefahren? Tauchen während der Schwangerschaft. *Tauchen* 2001;1:140-141
16. Muth CM. Reine Frauensache – Geschlechtsspezifische Unterschiede beim Tauchen. *Tauchen* 2003;4:128-131
17. Muth CM, Piepho T, Tetzlaff K. Decompression sickness – the female style? An observational study. 32nd Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society (EUBS) on Diving and Hyperbaric Medicine, 23.-26.06.2006, Bergen, Norwegen
18. Lee V, St Leger Dowse M, Edge C, Gunby A, Bryson P. Decompression sickness in women: a possible relationship with the menstrual cycle. *Aviat Space Environ Med.* 2003;74:1177-1182.
19. Silbernagl, S., Despopoulos, A., Taschenatlas der Physiologie (6. Aufl.). Thieme, Stuttgart 2003
20. St Leger Dowse M, Bryson P, Gunby A, Fife W. Comparative data from 2250 male and female sports divers: diving patterns and decompression sickness. *Aviat Space Environ Med.* 2002;73:743-749.
21. Stock MK, Lanphier EH, Anderson DF, Anderson LC, Phernetton TM, Rankin JH. Responses of fetal sheep to simulated no-decompression dives. *J Appl Physiol.* 1980;48:776-80.
22. Stock MK, Phernetton TM, Rankin JH. Cardiovascular effects of induced decompression sickness in sheep fetus. *Undersea Biomed Res.* 1983;10:299-309.
23. Vann RD, Riefkohl R, Georgiade GS, Georgiade NG. Mammary implants, diving, and altitude exposure. *Plast Reconstr Surg.* 1988;81:200-3
24. Zwingelberg KM, Knight MA, Biles JB. Decompression sickness in women divers. *Undersea Biomed Res.* 1987;14:311-317.

\*Der Autor ist Vorstandsmitglied und Ausschussvorsitzender 'Tauchmedizin' der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin, GTÜM e.V.

#### Korrespondenzadresse

PD Dr. med. Claus Martin Muth  
Klinik für Anästhesiologie  
Sektion Spezielle Anästhesie  
Universitätsklinikum Ulm  
Prittwitzstr.43  
89073 Ulm

Anzeige



Th. Küpper - K. Ebel – U. Gieseler (Hrsg.)

**Moderne Berg- und Höhenmedizin**  
**Handbuch für Ausbilder, Bergsteiger, Ärzte**  
ISBN 978-3-87247-690-6

© Gentner Verlag Stuttgart

1. Auflage 2010, gebunden, vierfarbig, 752 Seiten  
Ladenpreis € 50,-

*Moderne Berg- und Höhenmedizin ist weltweit das einzige Buch, das umfassend die Berg- und Höhenmedizin darstellt und ein einmaliges Konzept aufweist, indem der Bogen von der Gefahr bis hin zum Notfallmanagement gespannt wird.*



## Kommentierte Literatur: Tauchen

### Predicting performance in competitive apnoea diving Part 1: static apnoea

E Schagatay

*Dr. Erika Schagatay ist Professorin in der Gruppe Umweltphysiologie im Department für Ingenieurwesen und Nachhaltige Entwicklung. Sie ist auch Professorin am Schwedischen Wintersport-Forschungszentrum, Mid Sweden University, Östersund, Schweden*

Ever since the first deep diving competitions were organized, there has been debate about when the ultimate limits of human apnoeic performance will be reached, and which factors will determine these limits. Divers have thus far surpassed all former predictions by physiologists in depth and time. The common factor for all competitive apnoea disciplines is apnoeic duration, which can be prolonged by any means that increase total gas storage or tolerance to asphyxia, or reduce metabolic rate. These main factors can be broken down further into several physiological or psychophysiological factors, which are identified in this review. Like in other sports, the main aim in competitive apnoea is to extend human performance beyond the known limits. While a beginner may extend apnoeic duration by getting closer to his or her personal limit, the elite diver can only extend the duration further by pushing the individual physiological limit further by training. In order to achieve this, it is essential to identify the performance predicting factors of apnoea sports and which factors can be affected by training, work that has only just begun. This is the first of two papers reviewing the main factors predicting performance in competitive apnoea diving, which focuses on static apnoea, while the following paper will review dynamic distance and depth disciplines. Great improvements have been made in all diving disciplines in recent years and the 10-minute barrier in resting 'static apnoea' has been breached. Despite this, current training methods and the strategies employed suggest that duration can be prolonged still further, and divers themselves suggest the ultimate limit will be 15 minutes, which appears physiologically possible, for example, with further development of techniques to reduce metabolic rate.

**Schlüsselwörter:** Breath-hold diving; Oxygen consumption; Diving reflex; Pulmonary function; Physiology; Review article

### Vorhersage der Leistung von Wettkampf-Apnoetauchen. Teil 1: Statische Apnoe

Seit der ersten Organisation von Tieftauch-Wettbewerben gab es eine Diskussion darüber, wann die ultimativen Grenzen der menschlichen Apnoe-Fähigkeiten erreicht sein werden, und welche Faktoren die Grenzen bestimmen werden. Die Taucher haben inzwischen alle Vorhersagen der Physiologen in Bezug auf Tiefen und Zeiten weit überschritten. Der für alle Apnoe-Disziplinen gemeinsame Faktor ist die Apnoe-Dauer, welche durch alle Mittel verlängert werden können, welche das gesamte Gas-Speichervermögen, die Toleranz gegenüber der Asphyxie erhöhen oder den Metabolismus herabsetzen können. Diese wichtigen Faktoren können in weitere physiologische oder pathophysiologische Faktoren unterteilt werden. Diese werden in der zweiteiligen Übersichtsarbeit von Erika Schagatay detailliert besprochen und sind in Diving and Hyperbaric Medicine nachzulesen.

Wie in anderen Sportarten geht es auch bei der Apnoe-Wettbewerben darum, die menschlichen Fähigkeiten über die bekannten Grenzen hinaus zu erweitern.

Ein Anfänger kann die Apnoe-Dauer soweit erweitern, bis er an seine persönlichen Grenzen stößt. Im Gegensatz dazu wird der Elite-Taucher die Apnoe-Dauer zu erweitern versuchen, indem er die individuellen physiologischen Grenzen durch Training weiter hinaus schiebt. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es wichtig die Größen zu identifizieren, die die Leistung im Apnoe-Sportbereich bestimmen, und welche dieser Faktoren durch Training beeinflussen lassen. Derartige Überlegungen haben erst vor kurzem begonnen.

*E Schagatay  
Diving and Hyperbaric Medicine 2009;3(2):88-99*

CAISSON 2010;25(1):25-26

**Schlüsselwörter:** Apnoe-Tauchen; Sauerstoffverbrauch; Tauchantwort; Lungenfunktion; Physiologie; Review

*Kommentar: JD Schipke*

Im ersten Teil des Review-Beitrages von Erika Schagatay geht es im Wesentlichen um die Leistungsgrenzen beim kompetitiven Statischen Apnoetauchen. Im zweiten Artikel wird dann verstärkt auf dynamisches Streckentauchen und auf das Tieftauchen fokussiert.

Große Fortschritte sind in den letzten Jahren nahezu in allen Disziplinen erreicht worden. Die Dauer für die statische Apnoe hat die 10 min-Grenze überschritten. Die heutigen Trainingsmethoden und die darin verwirklichten Strategien – sowie die Vorstellungen der apnoeischen Taucher – legen nahe, dass demnächst auch die 15 min-Grenze erreicht werden kann. Ein solcher Wert erscheint physiologisch möglich, wenn man sich z.B. vorstellt, den Metabolismus zu reduzieren.

In der Einleitung beschreibt Frau Schagatay, dass die Strecken und die Zeiten bei Apnoe-Tauch-Wettbewerben im letzten Jahrzehnt mit einer erstaunlichen Geschwindigkeit zugenommen haben. Nahezu bei jedem Wettbewerb werden neue Rekorde aufgestellt. Und es gibt kein Anzeichen dafür, dass Grenzen erreicht sind. Als das Review geschrieben wurde, lag die Tauchtiefe bei 'constant weight' bei 120 m, beim Streckentauchen wurden 250 m erreicht, und bei der statischen Apnoe wurde eine Zeit von 10 min 12 s erricht. Bei den Frauen liegen die Rekorde nicht erheblich niedriger und sind gut mit Werten zu vergleichen, die vor kurzem noch von Männern erreicht wurden. So tauchen Frauen 96 m tief, 214 m weit und halten die Luft 8 min lang an. Die Verbesserung der Rekorde hat zum Teil damit zu tun, dass es mehr Teilnehmer gibt und dadurch mehr Talente entdeckt werden. Trainingsmethoden und Tauchstrategien wurden ebenfalls in der letzten Dekade beträchtlich verbessert.

Die Methoden und Strategien, welche benutzt werden können, um die Fähigkeiten weiter zu verbessern, werden im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellt. Sie betreffen zunächst die Fähigkeit, Gas zu speichern. Das betrifft zunächst die Lunge, und hat mit der Atemtechnik zu tun. Hier sei an das 'lung packing' erinnert. Eine weitere Möglichkeit betrifft das Blut mit einem erhöhten Hämatokrit und das Blutvolumen, welches durch die Milzkontraktion vergrößert werden kann.

Neben der erhöhten Speicherfähigkeit für Sauerstoff, spielt die Speicherfähigkeit für Kohlendioxid eine Rolle. Dieses Gas wird überwiegend im Muskelgewebe und nicht so umfangreich im Fettgewebe gespeichert. Elitetaucher sind typischerweise nicht übergewichtig. Durch spezielle Atemtechniken (Joga) gelingt es ihnen offensichtlich vor dem Tauchgang, größere Kohlendioxidmengen aus dem Muskelge-

webe zu entfernen, so dass sie weniger schnell Probleme durch eine Kohlendioxid-Akkumulation bekommen.

Eine weitere Trainingsoption betrifft die Asphyxie-Toleranz. Konkret bedeutet das zweierlei. Die Senkung der Toleranz gegenüber einer Hypoxie, die insbesondere das Gehirn betrifft und eine Ohnmacht verhindert. Zum anderen betrifft es die Anhebung der Toleranz gegenüber einer Hyperkapnie und einer Azidose, damit die Funktion der Organe intakt bleiben kann.

Der dritte angesprochene Aspekt betrifft die Senkung des Stoffwechsels. Mindestens bei der statischen Apnoe wird die Tauchantwort eine herausragende Rolle zur Reduktion des Stoffwechsels spielen. Eine zusätzliche Komponente kann vermutlich durch Meditation vor dem Tauchgang erreicht werden. Es ist fast nahe liegend, dass auch die Wassertemperatur eine Rolle spielt. Eine nicht ganz klare Rolle wird dem Fasten vor dem Wettkampf zugeschrieben. Einerseits wird der Stoffwechsel beim Fasten umfangreich durch eine Fettverbrennung gewährleistet. Dafür wird aber relativ viel Sauerstoff eingesetzt. Andererseits wird dieser Effekt vermutlich dadurch überspielt, dass weniger Kohlendioxid produziert wird und damit der Atemantrieb beim Tauchgang verspätet einsetzt.

Mit einer Reihe von nachprüfbaren Annahmen kommt die Autorin zu dem Ergebnis, dass z.B. die Dauer der statischen Apnoe 11 min überschreiten kann. Elite-Taucher selbst sind der Meinung, dass 15 min möglich sein sollten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mehrere Optionen vorliegen, die apnoeischen Fähigkeiten zu verbessern. Hierzu gehören vergrößerte Gas-Speicher, eine verbesserte Asphyxie-Toleranz und eine Verminderung des Stoffwechsels. Mit entsprechenden Messungen bei Elite-Tauchern lässt sich momentan eine Tauchdauer von 10 min 12 s gut erklären. Letztlich sind die Kenntnisse über die menschlichen Apnoe-Fähigkeiten aber unvollständig. Vieles ließe sich jedoch noch von See-Säugetieren lernen.

#### **Lesenswerte Literatur:**

Bei Bedarf erhältlich bei der Redaktion

#### **Korrespondenzadresse**

Erika Schagatay, PhD  
Environmental Physiology Group  
Department of Engineering and  
Sustainable Development  
Mid Sweden University  
83125 Östersund, Sweden  
Phone: +4640)63-165512, Fax: +4640)63-165700  
E-mail: Erika.Schagatay@miun.se





## Todesfälle durch Apnoe-Tauchen

DG Walker

Douglas G Walker ist seit dessen Gründung im Jahre 1972 einer der führenden Forscher des Projektes *Stickybeak* (die-Nase-reinstecken). Obwohl er inzwischen im Ruhestand ist, interessiert er sich weiter für die Untersuchung und die Publikation tödlicher Tauchunfälle. Der folgende Beitrag bezieht sich unmittelbar auf den weiter oben kommentierten Review-Artikel von Dr. Schagatay

Walker schreibt: obwohl ich den wissenschaftlichen Zugang und die Methodologie in Prof. Schagatay's Publikation über das Wettkampf-Apnoetauchen bewundere, bin ich alt genug, mich an die frühen Tage des Apnoe- und SCUBA-Tauchens zu erinnern. Damals berichteten die Tauchzeitschriften jeden neuen Tiefenrekord. Danach kam eine Phase des gesunden Menschenverstandes, in welcher Übereinstimmung herrschte, dass derartige Tauch-Unternehmungen tödlich enden können und daher nicht publik gemacht werden sollten. Andere könnten ermutigt werden, die erreichten Tiefenrekorde zu überbieten.

Der erste Satz in Dr. Schagatay's Publikation lautet: Seit der ersten Organisation von Tieftauch-Wettbewerben gab es eine Diskussion darüber, wann die ultimativen Grenzen der menschlichen Apnoe-Fähigkeiten erreicht sein werden, und welche Faktoren die Grenzen bestimmen werden'. Da in Abwesenheit extrem effektiver Sicherungsdienste der Endpunkt solcher Tauchunternehmen der Tod ist, gibt es Argumente, die dafür sprechen, solche Wettbewerbe zu verbieten und die Forschung zu diesem Thema auf streng definierte Bedingungen zu begrenzen. Das ist deswegen besonders wichtig, weil das Schwimmen auch nach Verlust des Bewusstseins fortgesetzt werden kann. Dieser Umstand wurde bei Todesfällen im Pool festgestellt.

Nachdem ich derart viele Berichte über Todesfälle von Apnoe-Schwimmern in Pools und von erfahrenen Speerfishern im Meer gelesen habe, und nachdem ich eine Person kenne, die mit einem ausgeprägten Verlust der zerebralen Funktion überlebt hat, glaube ich, dass Physiologen die soziale Pflicht haben sicher zu stellen, dass ihre Bemühungen von der Öffentlichkeit nicht als Ermutigung für Wettbewerbe in diesen Aktivitäten verstanden werden.

Obwohl diese Informationen für die Steigerung unseres Bewusstseins über die Komplexität unserer Physiologie wertvoll sind und auch für unser unvollkommenes Verständnis unserer allzu sicheren Annahmen akzeptierter Überzeugungen, sollten unbeabsichtigt werbende Effekte einer solchen Forschung berücksichtigt werden.

Schagatay's Beitrag berichtet Ergebnisse von sorgfältig überwachten Tauchgängen. Er könnte daher von Anderen als Rechtfertigung dafür betrachtet werden, bei derartigen Wettbewerben ebenfalls Erfolge zu erzielen – die aber aus finanziellen Gründen ohne die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen trainieren müssen.

### **Korrespondenzadresse**

E-mail: [diverhealth@hotmail.com](mailto:diverhealth@hotmail.com)

## Standardwerk.



Ch. Klingmann  
K. Tetzlaff (Hrsg.)

## Moderne Tauchmedizin

■ Handbuch für  
Tauchlehrer,  
Taucher und Ärzte

Unter Mitarbeit zahlreicher Fachautoren

© 1. Auflage 2007  
ISBN 978-3-87247-645-6  
Gebunden, 792 Seiten, fünffarbig,  
€ 59,- / sFr 115,-

## Empfehlung für Ärzte.



K. Tetzlaff – Ch. Klingmann  
C.-M. Muth – T. Piepho  
W. Welslau (Hrsg.)

## Checkliste Tauchtaug- lichkeit

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

Unter Mitarbeit zahlreicher Fachautoren

1. Auflage 2009, ISBN 978-3-87247-681-4  
Gebunden, 368 Seiten, € 30,-; sFr 60,-

## Sicherheit.



Hubertus Bartmann

## Der perfekte Tauchanzug

■ Handbuch für  
Tauchausbilder,  
Tauchshops  
und Taucher

1. Auflage 2008  
ISBN 978-3-87247-661-6  
Gebunden, 240 Seiten, vierfarbig  
Ladenpreis: € 30,-; sFr 58,-

**Tauchmedizin: Grundlagen – Vorbeugung – Diagnose – Therapie**  
**Ausrüstung: Sicheres Equipment**

**Gentner Verlag • Buchservice Medizin**

Postfach 101742 • 70015 Stuttgart • Tel. 0711/63672-857 • Fax 0711/63672-735 • E-Mail: buch@gentner.de • www.tauchmed.com



## HBO

### Wirkungen der Hyperbaren Sauerstofftherapie auf die in vitro-Differenzierung und Mineralisation von Knorpel- und Knochenzellen\*

PC Bolkenius

\*Dissertation kann aufgerufen und als PDF heruntergeladen werden unter:  
[www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS\\_thesis\\_000000003021](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000003021)



PC Bolkenius

In den letzten 30 Jahren wurden zunehmend weitere Applikationsmöglichkeiten für den Einsatz der Hyperbaren Oxigenation (HBO) geprüft und entwickelt. Unter anderem erfolgte der Einsatz von HBO bei therapieresistenten Knochenerkrankungen, wie der Osteomyelitis und der Osteoradionekrose.

Eine beschleunigte Heilung von Knochen durch die HBO wurde vielfach beobachtet. Die Mineralisation der Matrix ist bei der Knochenheilung unverzichtbar. Wie sich die HBO auf die Mineralisation auswirkt, wurde bisher kaum untersucht. Es existieren zwei in vivo-Arbeiten, in der die Mineralisationsunterschiede lichtmikroskopisch und radiographisch beurteilt wurden.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von HBO und seinen Bestandteilen Sauerstoff und Druck auf die desmale und enchondrale Mineralisation bei Organoidkulturen aus fetalen Mäusecalvarien und Mäuseepiphysen untersucht. Zusätzlich wurde die Höhe der Mineralisation quantifiziert.

Insgesamt ergaben sich positive Einflüsse der HBO auf die Knochenheilung. Diese lassen sich in dieser Arbeit auf eine direkte Steigerung der Mineralisation sowohl im Rahmen der desmalen Ossifikation von Calvarienzellkulturen als auch der enchondralen Kalzifizierung von Epiphysenzellkulturen zurückführen.

**Schlüsselwörter:** HBO; Maus; Organoidkultur; Knorpel; Knochen; Mineralisation; Calcium; Alkalische Phosphatase

#### Einleitung

Seit über 60 Jahren ist die Hyperbare Sauerstofftherapie eine anerkannte und oft lebensrettende Therapie für die Behandlung der Dekompressionskrankheit und der Gasembolie. Als eine weitere Applikationsmöglichkeit wurde die HBO inzwischen auch bei therapieresistenten Knochenerkrankungen eingesetzt. Zu ihnen gehören die Osteomyelitis und die Osteoradionekrose [10,21,30]. Dass eine Heilung von Knochen durch den Einfluss von hyperbarem Sauerstoff beschleunigt werden kann, ist gut beschrieben [2,6,12,17,20,23,24,25,28,33]. Die guten in vivo-Ergebnisse wurden häufig auf die verbesserte Neovaskularisation durch die HBO zurückgeführt.

Die Mineralisation der Matrix ist im Vorgang der Knochenheilung ein unverzichtbarer Bestandteil. Wie sich HBO auf die Mineralisation auswirkt, wurde bisher kaum untersucht. Es existieren zwei in vivo Arbeiten von Yablon und Cruess [33] und Sawai et al. [28], in der die Mineralisationsunter-

schiede nach den Behandlungsphasen lichtmikroskopisch und radiographisch beurteilt wurden. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von HBO und seinen Bestandteilen Sauerstoff und Druck auf die desmale und enchondrale Mineralisation untersucht. Zusätzlich wurde die Höhe der Mineralisation quantifiziert.

Es wurden folgende Fragen gestellt:

1. Wie verändern sich Calcium und Aktivität der Alkalischen Phosphatase in Organoidkulturen von Knochen- und Knorpelzellen unter dem Einfluss von 95 % Sauerstoff?
2. Wie verändern sich Calcium und Aktivität der Alkalischen Phosphatase in Organoidkulturen von Knochen- und Knorpelzellen unter dem Einfluss von 2 bar?
3. Wie verändern sich Calcium und Aktivität der Alkalischen Phosphatase in Organoidkulturen von Knochen- und Knorpelzellen unter dem Einfluss von HBO?

#### Physiologie des Knochens

**Osteoblasten.** Sie sind für die Synthese der organischen Knochenbestandteile (Kollagen Typ I, Glykoproteine und Proteoglykane) verantwortlich

Petra C Bolkenius

CAISSON 2010;25(1):29-32



und sezernieren außerdem die Alkalische Phosphatase, deren Aktivität ein Indikator zur Abschätzung der Osteoblasten-Tätigkeit ist (Abb. 1, halbrechts). Die von den Osteoblasten gebildete, noch nicht verkalkte Grundsubstanz wird als Osteoid bezeichnet. Die Zellen, die vollständig von Osteoid umgeben sind, heißen Osteozyten (Abb. 1; rechts und links). Reife Osteozyten liegen in verkalkter Grundsubstanz vor [15,16]. Die Knochengrundsubstanz besteht zu 25 % aus organischen Verbindungen (bis zu 95 % Kollagen) und zu 50 % aus Mineralien. Phosphat mit 50 % der Mineralienmenge und Calcium mit 35 % herrschen vor. Auf den gesamten Menschen bezogen sind 99 % des Calciums im Knochen deponiert [15].

**Osteoklasten.** Sie sind bewegliche und stark verzweigte Riesenzenen mit 50 oder mehr Zellkernen, die Knochengrundsubstanz enzymatisch abbauen (Abb. 1; halblinks). Osteoklasten entstammen dem hämatopoetischen Makrophagen-Monozyten-System [16]. Ein Osteoklast kann in der gleichen Zeit die Knochenmenge abbauen, die von 100-150 Osteoblasten aufgebaut wird [15].

**Osteogenese und Mineralisation.** Knochen entstehen durch zwei verschiedene Bildungsmechanismen:

- Durch direkte Knochenbildung = desmale Ossifikation (Mesenchymzellen differenzieren sich

unmittelbar zu Osteoblasten). Bei der desmalen Osteogenese findet die Mineralisation im Osteoid statt, das aus viel Kollagen Typ I und verhältnismäßig wenig Grundsubstanz besteht [4,9,32].

- Durch indirekte Knochenbildung = enchondrale Ossifikation (das Skelettstück wird zunächst als Knorpel angelegt und dann durch Knochengewebe ersetzt) [15,16]. Bei der enchondralen Kalzifizierung verläuft die Mineralisation in einer Matrix aus relativ wenig Kollagen Typ II und sehr viel Grundsubstanz [8].

Die für die Mineralisation notwendige Kristallbildung in der jeweiligen Grundsubstanz geht von Mineralisationszentren, so genannten „Foci“ aus [22]. Über die Beschaffenheit dieser Foci bestehen in der Literatur verschiedene Ansichten [1,4,5,11,34].

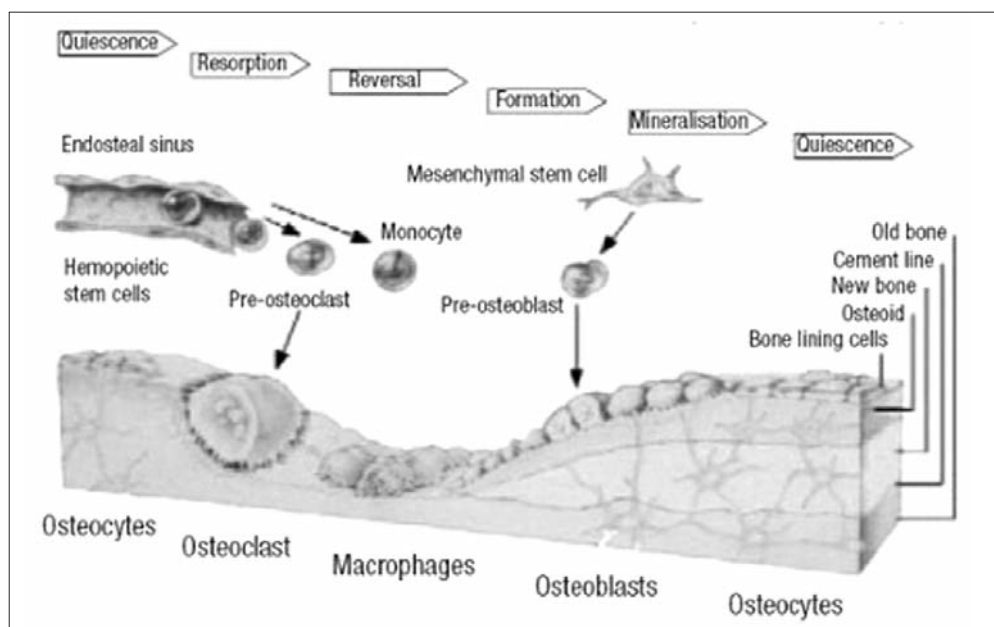
Auch die Alkalische Phosphatase der Osteoblasten ist am Mineralisationsprozess beteiligt. Durch ihre hydrolytische Aktivität entstehen Phosphat-Ionen für die Präzipitation von Calciumphosphat-Salzen [3]. Mit dem Grad der Mineralisation steigt die Calciumkonzentration im Knochen [26].

#### Methode

Es wurden Organoidkulturen aus fetalen Mäuscalvarien und Mäuseepiphysen eingesetzt, da die fetalen Zellen ein hohes Mineralisationspotenzial bieten [7,19,31,34,35]. Die Mineralisation wurde durch die Messungen von Calcium in den Kulturen und durch Aktivitätsbestimmungen der Alkalischen Phosphatase quantifiziert. Ausgewertet wurde das Mineralisationsverhalten von Kulturen, die nur mit Sauerstoff oder nur mit Druck oder mit der HBO behandelt worden waren.

#### Ergebnisse und Diskussion

Zu 1.: Sauerstoff wirkt mineralisationsfördernd auf Knochenzellkulturen. Durch den Einfluss von 95 % Sauerstoff wird in Organoidkulturen Calcium vermehrt eingebaut und die Aktivität



**Abb. 1:** Es gibt drei Arten von knochenspezifischen Zellen: Die Osteozyten, die Osteoklasten und die Osteoblasten. Teil des Knochens sind nur Osteozyten, während Osteoklasten und Osteoblasten an der Oberfläche des Knochens am Remodeling der Knochenstruktur arbeiten. Die Osteoklasten (halblinks) sind als Gegenspieler der Osteoblasten (halbrechts) zuständig für die Knochenresorption. Sie sind Stoffwechsel-hochaktive Zellen mit vielen Zellkernen. Die Osteoblasten sind die knochenbildenden Zellen. Sie bilden das Osteoid (nichtmineralisiertes Kollagen) und steuern die Mineralisation. Mit zunehmendem Knochenanbau werden die Osteoblasten in den Knochen eingebaut und wandeln sich teilweise in Osteozyten um.



der Alkalischen Phosphatase gesteigert. Somit kann sich die Anwendung von hochprozentigem Sauerstoff für eine beschleunigte Knochenheilung, beispielsweise bei der Behandlung von Osteomyelitis und Osteoradionekrose, eignen. Wichtig ist eine rezidivierende Behandlung über mindestens 7 Tage. Knorpelzellkulturen werden durch 95 % Sauerstoff wenig verstärkt mineralisiert. Calcium wird etwas verstärkt eingebaut und auch die Aktivität der Alkalischen Phosphatase wird wenig, aber signifikant gesteigert.

**Zu 2.:** Ein Druck von 2 bar wirkt sowohl auf Knochenzellkulturen als auch auf Knorpelzellkulturen mineralisationsfördernd. Es werden demnach die desmale Ossifikation und die enchondrale Kalzifizierung gesteigert. In die Kulturen wird vermehrt Calcium eingebaut und die Aktivität der Alkalischen Phosphatase wird signifikant gesteigert. Der Einsatz von Druck im klinischen Alltag würde sich bei schlecht heilenden Knochenkrankheiten wie der Osteomyelitis und der Osteoradionekrose anbieten, sich aber auch für eine beschleunigte Frakturheilung eignen, bei der vor allem die enchondrale Mineralisierung zum Tragen kommt. Auch hier ist eine rezidivierende Behandlung von mindestens 5 Tagen notwendig.

**Zu 3.:** Die HBO wirkt bei einer Behandlungsdauer von bis zu 8 Tagen auf die Mineralisation von Knochenzellkulturen stimulierend, mit einem statistisch signifikant verstärkten Einbau von Calcium und einer Aktivitätssteigerung der Alkalischen Phosphatase. Knorpelzellkulturen werden durch den Einfluss von HBO in der Mineralisation nur wenig gefördert. Die in der Literatur beschriebenen beschleunigten Knochenheilungen unter HBO lassen sich in den ersten 8 Behandlungstagen demnach auch auf eine Mineralisationsförderung zurückführen. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich der rezidivierende Einfluss von 95 % Sauerstoff, einem Druck von 2 bar und hyperbarem Sauerstoff auf die Mineralisation von Organoidkulturen aus Calvarienzellen und Epiphysenzellen fetaler Mäuse positiv auswirken kann. Knochenzellkulturen wurden vor allem in der Mineralisation durch Sauerstoff gefördert, Knorpelzellkulturen durch Druck. Eine Schädigung der Kulturen durch die Behandlung konnte in keinem Versuch nachgewiesen werden. Durch kurze Behandlungsphasen von ein bis 3 Tagen konnte lediglich teilweise eine Verminderung der Mineralisation dargestellt werden.

Es bleibt zu klären, ob Behandlungen von mehr als 8 Tagen mit der HBO sowohl in Calvarienzellkulturen als auch in Epiphysenzellkulturen zu weiteren statistisch signifikanten Förderungen der Mineralisation führen.

Ein unerwartetes Nebenergebnis dieser Untersuchung war, dass die Calvarienkulturen durch Sauerstoff und HBO und Epiphysenzellkulturen vor allem durch Druck nach kurzfristigen Behandlungen von nur einem und von drei Tagen mit einer reduzierten Mineralisierung reagierten. Die tatsächlichen Adaptationsmechanismen der Zellen auf die Stressfaktoren Sauerstoff und Druck wurden in der Arbeit nicht untersucht. Genauso wenig die Frage, ob Sauerstoffradikale diese Effekte zum Teil erklären können,

### Zusammenfassung

In der Untersuchung wurde gezeigt, dass die desmale Ossifikation in Kulturen von fetalen Mäuscalvarien durch den Einsatz der HBO, von Sauerstoff und auch Druck allein verstärkt wird: am ausgeprägtesten durch eine alleinige rezidivierende Behandlung mit Sauerstoff. Eine einmalige Behandlung mit Sauerstoff und HBO führte zunächst zu einer Mineralisationsverminderung. Hierfür wurden Sauerstoffradikale verantwortlich gemacht, die zu Zellschäden führten. Die Zellen bauten vermutlich erst nach der ersten Behandlung einen oxidativen Schutz auf [13,27]. Hier wären weitere Untersuchungen interessant.

Bei der enchondralen Kalzifizierung wirkte sich vor allem der Druck steigernd auf die Mineralisation aus und zwar auch erst nach einer rezidivierenden Behandlung von mindestens 5 Tagen. Kürzere Behandlungsserien verminderten die Mineralisation. Ursachen für diese Beobachtungen konnten in dieser Arbeit nicht aufgezeigt werden, auch hier sind weitere Untersuchungen notwendig. HBO und Sauerstoff wirken sich kaum steigernd auf die Kalzifizierung aus. Insgesamt lässt sich der positive Einfluss der HBO auf die Knochenheilung demnach nicht nur auf eine Unterstützung der Neovaskularisation zurückführen, sondern auch auf eine direkte Steigerung der Mineralisation sowohl bei der desmalen Ossifikation von Calvarienzellkulturen als auch bei der enchondralen Kalzifizierung von Epiphysenzellkulturen.

### Literatur

1. Anderson HC. Matrix vesicle calcification. Introduction. Fed Proc 1976;35:105-108
2. Barber HD, Seckinger RJ, Hayden RE, Weinstein GS. Evaluation of osseointegration of endosseous implants in radiated, vascularized fibula flaps to the mandible: A pilot study. J Oral Maxillofac Surg 1995;53:640-644
3. Bellows CG, Aubin JE, Heersche JNM. Initiation and progression of mineralization of bone nodules formed in vitro the role of alkaline phosphatase and organic phosphate. Bone and Mineral 1991;14:27-40
4. Bernard GW, Pease DC. An electron microscopic study of initial intramembranous osteogenesis. Am J Anat 1969;125:271-291

5. Boskey AL. Current concepts of the physiology and biochemistry of calcification. *Clin Orthop* 1981; 157:225-251
6. Dahlin C, Linde A, Röckert H. Stimulation of early bone formation by combination of an osteopromotive membrane technique and hyperbaric oxygen. *Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 1993;27:103-108 96
7. De Pollak C, Arnaud E, Renier D, Marie PJ. Age-related changes in bone formation, osteoblastic cell proliferation and differentiation during postnatal osteogenesis in human calvaria. *J Cell Biochem* 1997;64:128-139
8. Dhem A, Passelecq E, Peten E. Cartilage calcification in the human thoracic column. *Acta Anat* 1987;129:227-230
9. Fitton-Jackson S. The fine structure of developing bone in the embryonic fowl. *Proc Soc Biol* 1957; 146:270-280
10. Frey G, Lampl L, Radermacher P, Bock KH. Hyperbare Oxygenation. Ein Betätigungsfeld für den Anästhesisten? *Anaesthesist* 1998;47:269-289
11. Glimcher MJ. Molecular biology of mineralized tissues with particular references to bone. *Rev Mod Phys* 1959;31:359-393
12. Granström G, Hansson H, Johnsson K, Jacobsson M, Albrektsson T, Turesson I. Hyperbaric Oxygenation can increase bone to titanium implant interface strength after irradiation. *Proc XVIIIth EUBS-meeting, Basel, Switzerland* 1992;151-155
13. Gutteridge JMC. Biological origin of free radicals and mechanisms of antioxidant protection *Chem Biol Interact* 1994;91:133-140
14. Hall BK. Cellular differentiation in skeletal tissues *Biol Rev* 1970;45:455-484 98
15. Junqueira LC, Carneiro J. *Histologie* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1996
16. Kühnel W. *Taschenatlas der Zytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart New York 1995
17. Larsen PE. Placement of dental implants in the irradiated mandible: A protocol involving adjunctive hyperbaric oxygen. *J Oral Maxillofac Surg* 1997; 55:967-971
18. Linde A, Lussi A, Grenshaw MA. Mineral induction by immobilized polyanionic proteins. *Calcif Tissue Int* 1989;44:286-295
19. Marie PJ. Human osteoblastic cells: Relationship with bone formation. *Calcif Tissue Int* 1995; 56:13-16
20. Marx RE, Ames JR. The use of hyperbaric oxygen therapy in bony reconstruction of the irradiated and tissue-deficient patient. *J Oral Maxillofac Surg* 1982;40:412-420
21. Moon RE, Mielke L, Breinbauer B, Entholzner E, Hargasser S, Hipp R. Hyperbare Oxygenierung (HBO): Therapie mit Sauerstoff im Überdruck. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1996;31:97-99
22. Neumann WF, Neumann WM. The nature of mineral phase of bone. *Chem Rev* 1953;53:1-45
23. Niinikoski J, Hunt TK. Oxygen tensions in healing bone. *Surg Gynecol Obstet* 1972; 134:746-750
24. Niinikoski J, Penttinen R, Kulonen E. Effect of hyperbaric oxygenation on fracture healing in the rat: A biochemical study. *Calcif Tissue Res* 1970;4:115-116
25. Nilsson LP, Albrektsson T, Granström G, Röckert HOE. The effect of hyperbaric oxygen treatment on bone regeneration: An experimental study using the bone harvest chamber in the rabbit. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1988;3:43-48
26. Penttinen R. Biochemical studies on fracture healing in the rat with special reference to the oxygen supply. *Acta Chir Scand Suppl* 1972;432:1-32
27. Rothfuss A, Dennog C, Speit G. Adaptive protection against the induction of oxidative DNA damage after hyperbaric oxygen treatment. *Carcinogenesis* 1998; 19:1913-1917
28. Sawai T, Niimi A, Takahashi H, Ueda M. Histologic study of the effect of hyperbaric oxygen therapy on autogenous free bone grafts. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54:975-981
29. UHMS - Undersea and Hyperbaric Medical Society. Hyperbaric oxygen therapy - a committee report 1989. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Maryland
30. UHMS - Undersea and Hyperbaric Medical Society. Hyperbaric oxygen 2003: Indications and results; The hyperbaric oxygen therapy committee report. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Maryland
31. Van den Bos T, Beertsen W. Alkaline phosphatase activity in human periodontal ligament: Age effect and relation to cementum growth rate. *J Periodont Res* 1999;34:1- 6
32. Von der Mark K, von der Mark H. The role of three genetically distinct collagen types in endochondral ossification and calcification of cartilage. *J Bone Joint Surg* 1977;59B:458-464
33. Yablon IG, Cruess RL. The effect of hyperbaric oxygen on fracture healing in rats. *J Trauma* 1968; 8:186-202
34. Zimmermann B. Occurrence of osteoblast necroses during ossification of long bone cortices in mouse fetuses. *Cell Tissue Res* 1994;275:345-353
35. Zimmermann B, Wachtel HC, Somogyi H, Merker HJ, Bernimoulin JP. Bone formation by rat calvarial cells grown at high density in organoid culture. *Cell Differ Dev* 1988;24:145-154 108

#### Korrespondenzadresse

Dr. med. Petra C. Bolkenius  
Frauenklinik Klinikum Darmstadt  
Grafenstr. 9  
64283 Darmstadt



## Kommentierte Literatur: HBO

### The case for evidence in wound care: Investigating advanced treatment modalities in healing chronic diabetic lower extremity wounds

KC Lyon

**Background:** Major complications of diabetes mellitus include lower leg and foot ulcers, which can result in amputation. Further study is needed to determine optimal treatments for these challenging wounds. Growth factor therapy and hyperbaric oxygen (HBO) treatments are 2 advanced therapeutic modalities that hold promise.

**Purpose:** This descriptive, retrospective review investigated healing rates of patients with diabetes mellitus and lower-extremity ulcers managed by growth factor therapy and HBO as compared to standard wound care.

**Design:** Retrospective review of medical records.

**Subjects and Setting:** We reviewed medical records of 89 patients with diabetes and lower-extremity wounds treated at a major outpatient wound care program in the Southwestern United States.

**Methods:** Patients were categorized according to 4 treatment modalities: (1) Standard wound care, (2) growth factor therapy, (3) standard wound care plus HBO, and (4) growth factor therapy plus HBO. Wounds were measured at the start of the analysis and then weekly for a total of 8 weeks. The change in wound volume from the first to the eighth week was recorded.

**Results:** All patient groups demonstrated healing with the patients who received growth factor therapy alone and those who received growth factor therapy and the HBO treatments demonstrating the greatest decrease in wound volume over the 8 weeks. A 2-by-2 factorial analysis of covariance demonstrated that patients, who received HBO as part of their wound care regimen demonstrated significantly greater healing than patients who received only standard wound care or growth factor therapy ( $p < .0001$ ). Although the combination of hyperbaric and growth factor therapy did not show significant synergistic effects for wound healing in this study, it should be noted that the mean size of the wounds in this group was 2.8 times larger than the mean size of the wounds in the other groups.

**Conclusion:** Patients managed in a state-of-the-art wound care center experienced progress toward wound healing, regardless of the treatment modality selected. Those who received HBO as part of their wound care regimen healed faster than those who received standard treatment or growth factor therapy.

**Keywords:** Diabetes; Growth factor; HBO; Ulcus; Healing

### Evidenz bei der Wundbehandlung: Fortgeschrittene Behandlungsmodalitäten bei der Heilung von Wunden der unteren Extremitäten bei chronischem Diabetes

**Hintergrund:** Schwerwiegende Komplikationen bei Diabetes mellitus beinhalten Ulcera des unteren Beines und der Füße, wodurch Amputationen notwendig werden können. Die optimale Behandlung für diese anspruchsvollen Wunden ist noch nicht gefunden. Aber Wachstumsfaktor-Therapie und hyperbare Sauerstoff (HBO)-Behandlungen sind zwei fortgeschrittene, vielversprechende Modalitäten.

**Ziel:** Diese deskriptive, retrospektive Übersichtsarbeit untersucht die Heilungsraten von Patienten mit Diabetes mellitus und Ulcera der unteren Extremitäten nach der Behandlung mit Wachstumsfaktor-Therapie und HBO. Es wird ein Vergleich mit der Standard-Wundversorgung durchgeführt.

**Studiendesign:** Retrospektive Übersicht medizinischer Unterlagen.

**Patienten:** Die medizinischen Unterlagen von 89 Patienten mit Diabetes und Wunden an den unteren Extremitäten wurden ausgewertet. Die Patienten wurden im Rahmen eines großen Outpatienten-Wundversorgungs-Programmes im Südwesten der Vereinigten Staaten behandelt.

KC Lyon

*J Wound, Ostomy and Continence Nursing* 2008;  
35(6):585-590

CAISSON 2010;25(1):33-37

**Methoden:** Die Patienten wurden entsprechend der Behandlung in vier Kategorien eingeteilt: (1) normale Wundversorgung, (2) Wachstumsfaktor-Therapie, (3) Standard-Wundbehandlung plus HBO und (4) Wachstumsfaktor-Therapie plus HBO. Die Wunden wurden zu Beginn der Analyse und dann wöchentlich über einen Zeitraum von insgesamt acht Wochen vermessen. Die Änderung des Wundvolumens von der ersten bis zur achten Woche wird berichtet.

**Ergebnisse:** Es kam bei allen Gruppen zu einer Heilung. Bei Patienten, welche die Wachstumsfaktor-Therapie alleine oder Wachstumstherapie plus HBO-Behandlung erhielten, verminderte sich das Wundenvolumen innerhalb der acht Wochen am stärksten. Eine zweimal zweifaktorielle Kovarianzanalyse zeigte, dass die Patienten, welche HBO als ein Teil ihrer Wundversorgung erhielten, ein signifikant größeres Abheilen gegenüber den Patienten aufwiesen welche nur die Standard-Wundversorgung oder die Wachstumsfaktor-Therapie erhielten ( $p < 0,0001$ ). Obwohl die Kombination der Hyperbaren und der Wachstumsfaktor-Therapie keine signifikanten synergistischen Effekte bei der Wundheilung in dieser Studie zeigten, wird darauf verwiesen, dass die mittlere Größe der Wunden in dieser Gruppe 2,8 mal größer als die mittlere Größe der Wunden in den anderen Gruppen war.

**Schlussfolgerung:** Bei den Patienten, die in einem state-of-the-art Wundversorgungs-Zentrum behandelt wurden, kam es bei der Wundheilung zu Fortschritten. Diese waren unabhängig von der Behandlungsmodalität. Die Patienten, bei denen die HBO ein Teil der Wundversorgungs-Maßnahmen war, heilten schneller als diejenigen, bei welchen die Standardbehandlung oder eine Wachstumsfaktor-Therapie angewendet wurde.

**Schlüsselwörter:** Diabetes; Wachstums-Faktoren; HBO; Ulcus; Heilung

*Kommentar: JD Schipke*

## Hintergrund

Jeder zehnte Amerikaner leidet an Diabetes mellitus (DM) [1]. Ungefähr 15 % der Patienten mit Diabetes entwickeln im Verlauf der Erkrankung einen Ulcus an den unteren Extremitäten [2]. Das ist um so bedrohlicher, als 85 % der Personen mit DM, bei denen letztlich eine Amputation stattfand, mit einem Ulcus am unteren Bein begonnen hatten. Darüber hinaus leben DM-Patienten mit einer Unterschenkel-Amputation signifikant kürzer als nicht diabetische und diabetische Gleichaltrige ohne Amputation [2]. Die Statistiken liefern also überzeugende Begründungen für eine aggressive Behandlung von Unterschenkel-Ulcera, um letztlich eine Amputation zu vermeiden. In der älteren Population wird der DM von Komorbiditäten – z.B. einer chronischen venösen Insuffizienz – begleitet. Das mit dieser Insuffizienz vergesellschaftete Ödem verschlechtert den bereits verminderten arteriellen Fluss und das Sauerstoffangebot zu den chronischen Wunden. Diese Komplikation beeinflusst vermutlich über 70 % der Unterschenkel-Ulcera in den USA [3].

Zu den verschiedenen Vorstellungen darüber, wie die venöse Insuffizienz die Unterschenkel-Wunden von Diabetikern beeinträchtigt, gehören die Ablagerung von Fibrin als Antwort auf den venösen Hochdruck, eine Schädigung der Endothelzellen mit Freisetzung von inflammatorischen Mediatoren und das Einfangen von Wachstumsfaktoren und Matrixkomponenten [3]. Eine periphere arterielle Erkrankung, eine Neuropathie und Ödeme zusammen mit Traumata und Infektionen interferieren mit dem Sauerstoffangebot an die Haut und der anschließenden Gewebsreparatur und -regeneration. Zusammengenommen sind diese Faktoren ein Rezept für ein Desaster: Schließlich führen sie zur Amputation der unteren Gliedmaßen.

## Fortgeschrittene Behandlungs-Modalitäten

In den letzten 15 Jahren wurde die Behandlung von chronischen Wunden bei Diabetikern deutlich verbessert. Vielversprechende Therapien sind (1) die Hyperbare Sauerstofftherapie (HBO), (2) von Thrombozyten gewonnene Wachstumsfaktoren und (3) durch tissue-engineering erstellte Haut-Äquivalente.

## Hyperbare Sauerstofftherapie

Bei der HBO [4] steigt der  $pO_2$  in allen organischen Geweben an. Unter diesen Bedingungen könnte man sich den Sauerstoff als ein Medikament mit spezifischen Aktionen vorstellen, der das Fibroblastenwachstum und die Kollagenproduktion wieder herstellt [5]. Zusätzlich wird die für eine Wundheilung notwendige Umgebung verbessert: Gewebsschwellungen werden vermindert, und die Zirkulation wird verbessert [6].

Im Jahre 1955 begann Churchill-Davidson mit Hilfe einer sauerstoffreichen Umgebung die Vernichtung von Krebszellen mit Bestrahlung zu verstärken [7]. Im Jahr 1960 folgte der niederländische Chirurg Boerema [8] mit seiner epochalen Publikation 'Life without blood'. Boerema demonstrierte damals, dass Schweine nach experimenteller Entfernung der Erythrozyten in einer HBO-Kammer überlebten. Er wies damit nach, dass mit dem im Plasma gelösten Sauerstoff der Sauerstoffbedarf der einzelnen Gewebe gedeckt werden konnte. Boerema wurde zum 'Vater' der HBO-Therapie [9].

## Wachstumsfaktoren

Neben der HBO können auch topische Wachstumsfaktoren chronische Wunden heilen. Das gilt insbe-



sondere für diabetische Wunden der unteren Extremitäten und für Ulcera bei venöser Stase. Der Wundheilungsprozess wird zumindest zu Teilen durch eine koordinierte Aktion von Wachstumsfaktoren reguliert. Diese Proteine binden an die Zelloberflächen und aktivieren dort die zelluläre Proliferation und Differentiation. Zu den bei der Wundheilung eingesetzten Faktoren gehören der platelet-derived Wachstumsfaktor, die transforming Wachstumsfaktoren  $\alpha$  und  $\beta$ , der Fibroblastenfaktor und der epitheliale Wachstumsfaktor [10]. All diese Wachstumsfaktoren wurden innerhalb von Wunden und um Wunden herum gefunden.

Es scheint sicher, dass bei nicht-heilenden Wunden ein Ungleichgewicht zwischen Wachstumsfaktoren und einer toxischen Wundumgebung besteht. Weil Wachstumsfaktoren mit molekularbiologischen Techniken massenhaft hergestellt werden können, ließe sich daher ein effizienteres Wundheilen durch die Manipulation der Wund-Mikroumgebung zu erreichen.

Becaplermin (Regranex, Ortho-McNeil, Raritan, US) – ein genetisch hergestellter Wachstumsfaktor – wurde bereits im Jahr 1998 durch die FDA für den Gebrauch bei chronischen, diabetischen Fußwunden und für die Behandlung von venösen Stase-Ulcera zugelassen [11]. Das Medikament stimuliert die Chemotaxe und die Pathogenese von Neutrophilen, Fibroblasten, Monozyten und von Matrix-bildenden Zellkomponenten, so dass es zur Wundheilung kommen kann. In der Pilot-FDA-Studie für die Zulassung führte Becaplermin im Vergleich zu Placebo zu einer 43 %igen Zunahme des kompletten Verschlusses von diabetischen Fußwunden [2].

### **Tissue-engineerte Haut-Äquivalente**

Äquivalente zu humaner Haut (Apligraf, Organogenesis, Canton, US) enthalten Charakteristika der Dermis und der Epidermis. Diese Äquivalente haben ebenfalls zu positiven wissenschaftlichen Ergebnissen bei der Behandlung sowohl diabetischer Wunden als auch venöser Stase-Ulcera geführt. Diese Gewebetherapie benötigt im Gegensatz zu den traditionellen Haut-Grafts keine Spenderbereiche. Die Haut-Äquivalente funktionieren nicht nur als biologische Abdeckung sondern liefern auch Wachstumsfaktoren und Komponenten für die extrazelluläre Matrix, welche von der Fibroblastenaktivität der Dermis herrühren. Apligraf enthält alle Wachstumsfaktoren, welche sich normalerweise in der menschlichen Haut befinden. Zusätzlich enthält es Keratinozyten und Fibroblasten [10]. Apligraf wurde durch die FDA für die Verwendung bei venösen Stase-Ulcera (1998) und für diabetische Fuß-Ulcera (2000) zugelassen [2].

### **Kosten-Problem**

Die geschätzten Gesundheitskosten für einen einzelnen Ulcus liegen zwischen 5.000 und 28.000 US\$ für eine Versorgung über bis zu zwei Jahren nach der Diagnose [2]. Bei 800.000 momentan aktiven Ulcus-Fällen in den USA entstehen jährlich Kosten für die medizinische Versorgung von ca. 5 Milliarden Dollar.

Sowohl die HBO als auch die topischen Wachstumsfaktoren tragen individuell zur Heilung chronischer Wunden bei [12,13]. Die gemeinsame Verwendung beider Therapieformen könnte einen synergistischen Effekt hervorrufen, der zu einer rascheren Wundheilung führt. In der vorliegenden Studie wurde daher untersucht, wie die Effektivität der einzelnen Behandlungen und beider Behandlungsformen zusammen ist.

### **Material und Methode**

Die deskriptive, retrospektive Analyse wurde an einem größeren Wundversorgungs- und hyperbaren Zentrum im Südwesten der USA durchgeführt. Die Behandlung erfolgte über die Dauer von acht Wochen. Alle Patienten mit der Diagnose 'Diabetische Wunde der unteren Extremitäten', die ab dem 1. März 2006 behandelt wurden und alle, welche innerhalb der nächsten acht Wochen aufgenommen wurden, wurden eingeschlossen. Patienten wurden auch eingeschlossen, wenn die Wunden der unteren Extremitäten die Folge von Bypass-Grafts waren, oder wenn es sich um Revaskularisationswunden handelte, welche durch einen unkontrollierten DM kompliziert waren.

Nekrotischer Debris wurde vom Wundbett entfernt, so dass Wände und Basis der Wunde dargestellt werden konnten. Abhängig von der Größe, der Komplexität und dem Vorhandensein von Komorbiditäten wurde das Behandlungsprotokoll festgelegt. Es handelte sich um (1) die topische Therapie (entweder Papain urea debriding Salbe oder Papain urea chlorophyllin complex, welches mit adaptischen oder Hydrogel-Pads sowie mit Gaze und Conform abgedeckt wurde), (2) die Wachstumsfaktor-Therapie (Becaplermin oder Apligraf), (3) topische Therapie plus HBO-Therapie oder (4) Wachstumsfaktor-Therapie plus HBO-Therapie [14]. Voraussetzung für die Wachstumsfaktor-Therapie war eine sauber granulierte Wunde ohne Nekrose oder Infektion. Entsprechend wurde für die Patienten mit DM und chronischen Wunden die HBO-Therapie nur dann verschrieben, wenn die Wunde länger als 30 Tage ohne Hinweis auf Heilung behandelt wurde und konservative Therapien keinen Erfolg hatten. Im aktuellen Wundzentrum musste der  $TcpO_2$  bei Raumluft  $>30$  mmHg sein und während der hyperbaren Behandlung auf  $>500$  mmHg ansteigen.



Unabhängig vom Therapie-Schema wurde bei allen Patienten täglich die Kleidung gewechselt. Bei allen Patienten wurde bei Bedarf eine sequentielle, wöchentliche Debris-Entfernung durchgeführt, um Schorf und nekrotisches Gewebe bei Bedarf zu entfernen. Bei dieser Gelegenheit wurden die Wunden vermessen. Die Ausgangsmessung war entweder das Volumen der Wunde am 1. Januar 2006 oder für die später aufgenommenen Patienten die Größe der Wunde am ersten Tag nach Aufnahme. Dieses initiale Wundenvolumen wurde mit dem Wundenvolumen nach acht Wochen verglichen. Zusätzlich zu der Wundversorgung in der Klinik führten alle Patienten ihre DM-Versorgung fort. Diabetes-Berater, Gefäßchirurgen und Orthotisten/Prosthetisten wurden aufgesucht.

### Ergebnisse

Von den 89 Patienten ( $69 \pm 14$  Jahre; 38 Frauen) erhielten 25 Patienten eine Standard-Wundbehandlung, 26 Patienten eine Wachstumsfaktor-Therapie, 13 Patienten eine Standard-Wundversorgung plus HBO-Therapie und 25 Patienten eine Wachstumsfaktor-Therapie plus HBO-Therapie. Das Volumen der Wunden wurde wöchentlich erfasst.



**Abb. 1:** Diabetischer Fuß vor der Behandlung im Mai 2009. Die schwarzen Bereiche an den beiden Zehen sind abgestorbenes Gewebe. Beide Zehen konnten durch keinerlei Therapie gerettet werden und wurden daher teilweise amputiert

© HBO-Zentrum Aachen; mit Genehmigung der Patientin

Das durchschnittliche Wundenvolumen zu Beginn der Untersuchung für die Gruppe Wachstumsfaktor plus HBO war zehnmal größer als das Volumen bei den Patienten, welche eine Standard-Wundversorgung erhielten. Es war siebenmal größer als das Anfangsvolumen von Patienten mit einer Wachstumsfaktor-Therapie allein, und es war zweimal größer als das Startvolumen bei Patienten mit einer Standard- Wundversorgung plus HBO-Therapie. Für die Wachstumsfaktor- plus HBO-Therapie-Gruppe war das Volumen der Wunde zu Beginn  $14.669 \text{ mm}^3$  im Vergleich zu im Mittel  $5.172 \text{ mm}^3$

für alle anderen drei Gruppen. Das bedeutet, dass bei den größten Wunden die Wachstumsfaktor-Therapie plus HBO-Therapie durchgeführt wurde. Ab dem Beginn der Behandlung bis zu deren Ende nach 8 Wochen verkleinerten sich die Wunden bei allen Gruppen. 14 von 89 Patienten (= 16 %) verheilten komplett. In der Wachstumsfaktor-Therapie-Gruppe verkleinerte sich das Wundenvolumen durchschnittlich um 66 % nach vier Wochen; um 82 % nach acht Wochen. Bei der Standard-Versorgung allein nahm das durchschnittliche Wundenvolumen innerhalb der ersten vier Wochen zunächst um 14 % zu und dann um 15 % ab. In der Gruppe mit Standard- Wundversorgung plus HBO-Therapie verminderte sich das Wundvolumen um 45 % nach vier Wochen. Interessanterweise nahm das Wundvolumen in den folgenden vier Wochen im Durchschnitt um 27 % zu. So ergab sich über den gesamten Zeitraum eine Verkleinerung des Wundvolumens um 30 %. Letztlich nahm das Wundvolumen bei der Gruppe mit der Wachstumsfaktor-Therapie plus HBO-Therapie in den ersten vier Wochen um 60 % und nach weiteren vier Wochen um 72 % ab.



**Abb. 2:** Der Fuß aus Abb. 1 im Juli 2009. Nach zwingender Teil-Amputation von zwei Zehen und nach HBO-Behandlung ist eine nahezu komplette Wundverheilung an den beiden Stümpfen und an anderen vorherigen Wunden gut erkennbar

© HBO-Zentrum Aachen; mit Genehmigung der Patientin

Die statistische Analyse zeigte, dass Patienten mit der HBO-Therapie als Teil ihrer Wundversorgungs-Behandlung signifikant besser verheilten ( $p < 0,0001$ ) als Patienten mit Standard-Wundversorgung oder Wachstumsfaktor-Therapie allein.

### Diskussion

Fortgeschrittene Behandlungsmodalitäten und klinische Expertise – unabhängig vom Behandlungsprotokoll – beeinflussen die Wundheilung positiv, denn im Verlaufe der acht Wochen kam es bei den Patienten aller Gruppen zu einem Abheilen. Gemessen an der Verringerung des Wundenvolu-



mens trat die beste Heilung bei den Patienten mit einer HBO-Therapie auf. Nach der statistischen Analyse war nur die HBO eine signifikante Quelle für die Unterschiede bei den mittleren Wundvolumina. Das ist gut nachzuvollziehen: Die HBO-Therapie korrigiert intermittierend die Hypoxie bei der Wunde, reduziert das lokale Gewebsödem und verbessert die Immunantwort des Wirtes und den Metabolismus der Wunde [3]. Ein synergistischer Effekt bei der Kombination der HBO-Therapie und der Wachstumstherapie blieb aus. In dieser Gruppe wurden allerdings die größten und schwierigsten Wunden behandelt, welche sich durch konservative Therapien nicht behandeln ließen. Die Wunden dieser Patienten waren durchschnittlich 2,8-mal größer als die aller anderen drei Gruppen. Man könnte sich daher vorstellen, dass die Wundheilung insgesamt noch besser hätte sein können, wenn alle Patienten die Wachstumsfaktor-Therapie und die HBO-Therapie erhalten hätten.

### Schlussfolgerung

Diese retrospektive Untersuchung zeigt – unabhängig von der Behandlungsmodalität – für Patienten eines state-of-the-art-Wundversorgungszentrums Fortschritte bei der Wundheilung. Bei einer älter werdenden Gesellschaft und bei einem Anstieg der DM-Prävalenz bei allen Altersgruppen ist ein formalisiertes Wundheilungszentrum für die meisten Krankenhäuser und Krankenversorgungssysteme essentiell. Wenige individuelle Kliniken haben die diagnostische Ausrüstung, die chirurgische Erfahrung, die Vielfalt von Verbänden und den Zugang zu multidisziplinären Diensten, um komplexe multifaktorielle Wunden zu heilen. Um auf die Herausforderungen der Behandlung von chronischen Wunden reagieren zu können, bedarf es eines multidisziplinären Zuganges. Hierzu gehören spezialisierte Ärzte, Krankenschwestern, Diabetes-Berater, Diätetiker, Orthotisten, Prosthetisten und Spezialisten für die medizinische Ausrüstung.

Für die Zukunft wären Studien mit einer größeren Anzahl von Patienten wichtig, welche prospektiv und randomisiert verschiedenen Behandlungsmodalitäten zugeordnet werden könnten. Auch sollte die Wundheilung nicht nur bei Privatpatienten sondern auch in einer anderen Bevölkerungsgruppe mit weniger Zugang zu einer qualitativen Versorgung untersucht werden. Diabetes ist z.B. in der hispanischen Bevölkerung besonders häufig. Hier herrschen große Unterschiede bei der Gesundheitsversorgung. Es wäre wichtig, alle Patienten zu finden und für die Sorgen, welche mit Diabetes und seinen Komplikationen konfrontiert sind.

Diabetische Fußwunden sind ein multifaktorielles Problem, welches einen multifaktoriellen Zugang zur Wundheilung erfordert. Jedes Werkzeug in unserem Wundheilungs-Armamentarium sollte benutzt werden, um die Zeit bis zur Heilung, die Kosten der Behandlung und bei Patienten, welche unter Wunden des diabetischen Fußes oder Beins leiden, die Zahl der Amputationen zu vermindern.

### Lesenswerte Literatur

1. Mitchell T. HealthSmart: get moving on diabetes. USA Weekend. November 4, 2004:4-5
2. Frykberg RG. Diabetic foot disorders. A clinical practice guideline. J Foot Ankle Surg 2000; 39(suppl):S1-S60
3. Fife CE. Hyperbaric oxygen therapy applications in wound care. In: Sheffield PJ, Smith AP, Fife CE, eds. Wound Care Practice. Flagstaff, AZ: Best Publishing Co; 2004:661-684
4. Sheffield PJ, Smith PS. Physiological and pharmacological basis of hyperbaric oxygen therapy. In: Bakker DJ, Cramer FS, eds. Hyperbaric Surgery Perioperative Care. Flagstaff, AZ: Best Publishing Co; 2002:63-110
5. Hammerbund C. The physiological effects of hyperbaric oxygen. In: Kindwall EP, ed. Hyperbaric Medicine Practice. 2nd ed. Flagstaff, AZ: Best Publishing Co; 2004:37-68
6. Bakker DJ. Selected aerobic and anaerobic soft tissue infections - diagnosis and the use of hyperbaric oxygen as an adjunct. In: Kindwall EP, ed. Hyperbaric Medicine Practice. 2nd ed. Flagstaff, AZ: Best Publishing Co; 2004:575-602
7. Kindwall EP. A history of hyperbaric medicine. In: Kindwall EP, ed. Hyperbaric Medicine Practice. 2nd ed. Flagstaff, AZ: Best Publishing Co; 2004:1-20
8. Boerema I, Meyne NG, Brummelkamp WH, et al. Life without blood. A study of the influence of high atmospheric pressure and hypothermia on dilution of the blood. J Cardiovasc Surg 1960;1:133-146
9. Sheffield PJ. Hyperbaric medicine: a historical perspective. In: Hyperbaric Medicine Team Training Manual. San Antonio, TX: Jefferson Davis Wound Care and Hyperbaric Medicine Center; 1998
10. Kirsner RS. The science of bilayered cell therapy. Wounds 2005; 17(9) (suppl):6-9
11. Ortho-McNeil Pharmaceuticals. A Brief History of Wound Healing. Yardley, PA: Oxford Clinical Communications; 1998
12. ulcers: a double-blind, randomized control trial. Br J Surg 2001 ;88:744
13. Veves A, Falanga V, Armstrong DG, Sabolinski ML. Apligraf diabetic foot ulcer study. Diabetes Care 2001;24:290-295

## In vivo effect of hyperbaric oxygen on wound angiogenesis and epithelialization

AL Sander, D Henrich, CM Muth, I Marzi, JH Barker, and JM Frank

Hyperbaric oxygen (HBO) therapy is increasingly being used in different areas of medical practice. While demonstrated to be effective in several settings, its mechanism of action is not well understood. In the present study, we determined the effects of HBO on wound epithelialization and neovascularization in an in vivo hairless mouse ear "impaired" wound model. To impair wound healing, macrophages were depleted by pretreatment with iota-carrageenan. Wound epithelialization and neovascularization were measured using intravital microscopy and computerized planimetry. Metalloproteinase-2 (MMP-2), MMP-9, tissue inhibitor of metalloproteinase-1 (TIMP-1), and tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) were measured on days 2 and 7 using immunohistochemistry. In nonimpaired healing wounds, the rate of epithelialization and neovascularization was significantly accelerated in the groups treated with HBO. Time to wound closure was significantly delayed in impaired compared with nonimpaired healing wounds and HBO treatment completely reversed this delay. Neither HBO treatment nor macrophage depletion caused significant alterations in MMP-2 expression in wounds. In contrast, TNF- $\alpha$ , MMP-9, and TIMP-1 were significantly up-regulated in the impaired healing group receiving HBO treatment. These results show that HBO therapy effectively reversed the negative effect exerted by macrophage reduction on wound epithelialization and neovascularization. This beneficial effect could be due to stimulation of TNF- $\alpha$  production and, to a lesser degree due to release of metalloproteinases.

**Keywords:** HBO-Therapy; Mouse; Ear wound; Engineering geneses; Epithelialization

## In vivo-Effekte des Hyperbaren Sauerstoffes auf Angiogenese und Epithelialisierung von Wunden

Die hyperbare Sauerstoff- (HBO) Therapie wird zunehmend in verschiedenen Bereichen der Medizin verwendet. Obwohl diese Therapie in verschiedener Umgebung effektiv ist, sind die Mechanismen häufig nicht gut bekannt. In der vorliegenden Studie wurden die HBO-Effekte auf die Neovaskularisierung und die Epithelialisierung von Wunden in einem Tiermodell untersucht. Dabei handelte es sich um Wunden am Ohr von haarlosen Mäusen. Um die Wundheilung zu erschweren, wurden Makrophagen durch eine Vorbehandlung mit Jota-Carrageenan vermindert. Die Wundneovaskularisation und die Epithelialisierung wurden mit Hilfe der intravitalen Mikroskopie und mit der computerisierten Planimetrie gemessen. Mit Hilfe der Immunohistochemie wurden die Metalloproteinasen-II und -IX, der Gewebsinhibitor der Metalloproteinase-I (TIMP-I) und der Tumornekrosefaktor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) am Tag 2 und 7 gemessen. Bei den 'ungeschädigt' heilenden Wunden war die Rate der Neovaskularisation und der Epithelialisierung signifikant in den Gruppen beschleunigt, welche mit der HBO behandelt waren. Die Zeit bis zum Wundverschluss war in den geschädigten Wunden im Vergleich zu den nicht-geschädigt verheilenden Wunden signifikant verzögert. Die HBO-Therapie kehrt diese Verzögerung vollkommen um. Weder die HBO-Therapie noch die Makrophagen-Verminderung verursachten signifikante Veränderungen der MMP-2-Expressionen in den Wunden. Im Gegensatz dazu waren TNF- $\alpha$ , MMP-9 und TIMP-1 signifikant in den geschädigt verheilenden Gruppen mit HBO-Therapie up-reguliert. Zusammenfassung. Die Ergebnisse zeigen, dass die HBO-Therapie die negativen Effekte durch die Makrophagenreduktion auf die Neovaskularisierung und die Epithelialisierung effektiv umkehrte. Schlussfolgerung. Dieser Effekt könnte auf die Stimulation der TNF- $\alpha$ -Produktion und zu einem geringeren Umfang auf die Freisetzung von Metalloproteinasen zurückgeführt werden.

**Schlüsselwörter:** HBO-Therapie; Maus; Ohr-Wunden; Angiogenese; Epithelialisierung

AL Sander; D Henrich; CM Muth; I Marzi; JH Barker;  
JM Frank  
Wound Rep Reg (2009) 17 179-184

CAISSON 2010;25(1):38-42





## Einleitung

Chronische Wunden sind ein allgemeines aber ungelöstes Problem, welches die Lebensqualität beträchtlich einschränkt. Die vielen therapeutischen Optionen zur Behandlung von chronischen Wunden sprechen dafür, dass es eine ideale Behandlung nicht gibt, und dass das Verständnis des Heilungsmechanismus begrenzt ist. Die geringe Kenntnis ist teilweise darauf zurückzuführen, dass es keine geeigneten Tiermodelle gibt, bei welchen die Wundheilung unmittelbar beobachtet und dokumentiert werden kann.

Für die vorliegende Untersuchung wurde ein etabliertes Modell verwendet, bei welchem auf der dorsalen Seite von Ohren haarloser Mäuse standardisierte Hautwunden erzeugt wurden [1-5]. Bei diesem Modell kann während des ganzen Heilungsprozesses die Neovaskularisierung und die Epithelialisierung unmittelbar visualisiert und gemessen werden. Wegen der Anatomie des Mäuseohres verheilen dermale Wunden auf dem Dorsum des Ohres durch Neovaskularisierung und Epithelialisierung und nicht durch eine Kontraktur. Diese beiden Heilungs-Komponenten können sowohl unter normalen als auch unter gestörten Heilungsbedingungen während verschiedener Behandlungsmodalitäten erfasst werden. Natürlich hat dieses Modell auch Nachteile. Sie haben im Wesentlichen mit der geringen Größe der Wunde zu tun. Daher müssen spezielle, mikrochirurgische Techniken für die Verletzung und die gesamte nachfolgende Behandlung verwendet werden. Ein anderer Nachteil könnte darin bestehen, dass die Tiere während der Wund-Vermessung narkotisiert sein müssen.

Seit ungefähr 50 Jahren wird die HBO-Therapie erfolgreich zur Behandlung chronischer Wunden eingesetzt [6-8]. Eine Reihe von randomisierten, kontrollierten Studien zeigen, dass erhöhte  $O_2$ -Konzentrationen bei diabetischen Wunden die Heilung verbesserten [9,10]. Die Behandlung von nicht diabetischen Wunden lieferte weniger stabile Ergebnisse. Das könnte an der Heterogenität dieser Wunden liegen. Andererseits wurden insbesondere bei Tierstudien günstige Effekte auf die Wundheilung gezeigt.

Verschiedene Mechanismen werden für diese günstigen Effekte verantwortlich gemacht:

- (1) Die HBO-Therapie verbessert die Wundheilung über einen erhöhten  $pO_2$  im arteriellen Blut, wodurch die Bildung der Kollagenmatrix begünstigt wird [11].
- (2) Die HBO-Therapie beschleunigt die Heilung durch eine Down-Regulation von HIF1 $\alpha$  mit einer nachfolgenden Abschwächung der Apoptose und einer Verminderung der Inflammation [12].

- (3) Die HBO-Therapie erhöht das  $O_2$ -Angebot an das Gewebe und fördert dadurch die Neubildung von Gefäßen. Dieser Effekt könnte durch zwei verschiedene Mechanismen erreicht werden:
  - Die HBO-Therapie stimuliert die Revaskularisierung des ischämischen Gewebes durch die Erhöhung des  $O_2$ -Gradienten zwischen dem Zentrum und der Peripherie der Wunde [13].
  - Die HBO-Therapie triggert die Freisetzung des Tumornekrosefaktors- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), so dass die Neubildung von Gefäßen begünstigt wird [14].

Die Rolle von TNF- $\alpha$  für die Wundheilung wird diskutiert. In Abhängigkeit von der Konzentration, der Expositionsdauer und der Anwesenheit anderer Zytokine, kann der Effekt von TNF- $\alpha$  gutartig oder verheerend sein. Im letzteren Falle kommt es zum Gewebe-Remodelling bis zur Inflammation, zur Zytotoxizität, zu Kachexie, zu Schock und Tod [15]. Unter in vitro-Bedingungen ist TNF- $\alpha$  zytotoxisch, und es inhibiert das endotheliale Zellwachstum [16]. Außerdem wurde ein inhibitorischer Effekt von TNF- $\alpha$  auf die Kollagen- und Fibronektin-Synthese bei Dermafibroblasten beschrieben [17]. Zusätzlich inhibiert TNF- $\alpha$  auch unter in-vivo-Bedingungen die Kollagensynthese [18]. Andererseits wurde eine erhöhte Wundenstabilität nach einer TNF- $\alpha$ -Behandlung in histologischen Studien gezeigt [19] ebenso wie ein Anstieg der Gewebebildung nach einer subkutanen TNF- $\alpha$ -Injektion [20] und ein angiogener Effekt des TNF- $\alpha$  während der Heilung von exzisionalen Wunden [21].

Die Autoren beschrieben in früheren Studien, dass TNF- $\alpha$  die Epithelialisierung von Wunden und die Neovaskularisation in dem von ihnen verwendeten Wunden-Modell beschleunigt [15]. Diese Befunde wurden bestätigt, denn in granuliertem Gewebe wurden erhöhte Konzentrationen von TNF- $\alpha$  gefunden [22]. Wurde Jota-Carrageenan (i-CGN) verwendet, um die Makrophagenzahl zu vermindern und dadurch die Wundheilung zu verzögern, kehrte die Behandlung mit TNF- $\alpha$  diesen Effekt um und führte die Epithelialisierungs-Rate auf ein normales Niveau zurück [15].

## Ziel der Studie

In der vorliegenden Studie an einem Modell, bei welchem die Wundheilung durch eine verminderte Makrophagenzahl behindert war [15], wurde der Effekt einer HBO-Therapie auf die Neovaskularisierung und die Epithelialisierung der Wunde untersucht. Um die möglichen, HBO-vermittelten Mechanismen zu bestimmen, wurden vier verschiedene Mediatoren gemessen: Metalloproteinase-2 (MMP-2), MMP-9, der Gewebeinhibitor der Metalloproteinase-1 (TIMP-1) und TNF- $\alpha$ . Die

Anwesenheit oder Regulation dieser Mediatoren könnte möglicherweise Antworten liefern.

## Methoden

Die 32 verwendeten haarlosen Mäuse waren 8 bis 12 Wochen alt und wogen zwischen 22 und 32 g (Abb. 1).



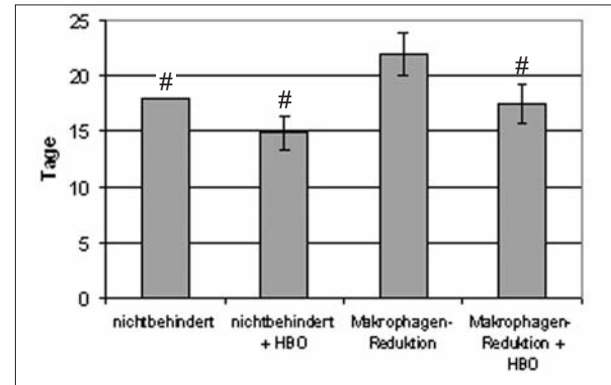
**Abb. 1:** Das Mausohr hat etwa eine Fläche von 13 mm<sup>2</sup> und besteht aus einer Knorpelschicht, welche auf beiden Seiten von Haut bedeckt ist. Die drei Schichten haben zusammen eine Dicke von 0,3 mm. Auf der dorsalen Seite des Ohres wurde in Narkose durch mikrochirurgisches 'Ausstanzen' eines kreisrunden Hautstückes (Ø = 2,25 mm) eine Wunde erzeugt. Die Heilung dieser Wunden wurde während vier verschiedener Behandlungsformen untersucht. Die Wunden wurden später mit einem selbstklebenden Polyurethan-Schaumverband bedeckt. Um die Wunde vor Kontamination und mechanischer Irritation zu bewahren, wurde das gesamte Ohr mit einem bioadhäsiven Verband geschützt

**HBO-Behandlung.** Es wurde das konventionelle menschliche Behandlungsprotokoll verwendet [23]. Die Tiere wurden in einer speziell entwickelten Tierkammer entweder mit 100 % Sauerstoff (HBO-Gruppe) oder 21 % Sauerstoff (Kontrollgruppe) bei 2,4 bar über 90 min einmal am Tag bis zum kompletten Wundverschluss behandelt. Die Kompression und die Dekompression wurden mit einer Geschwindigkeit von 0,07 bar/min durchgeführt. Dabei wurden die Tiere sorgfältig auf Gesundheitsprobleme beobachtet. Nach der

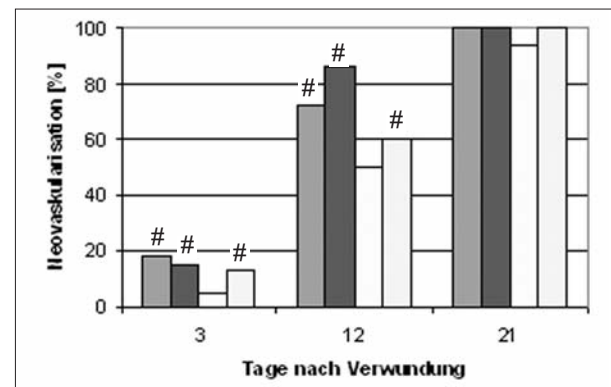
HBO-Behandlung wurden die Tiere in ihre Käfige zurückgesetzt.

## Ergebnisse

**Neovaskularisierung.** Bei den Tieren mit behinderter Wundheilung erreichte die HBO-Behandlung eine schnellere Neovaskularisierung: 17,5±1,3 vs. 21,5±1,6 Tage (Abb. 2). Die durch die HBO-Behandlung hervorgerufene Beschleunigung der Neovaskularisation ging mit einem frühen Wundverschluss einher (Abb. 3).



**Abb. 2:** Anzahl der Tage bis zur kompletten Neovaskularisation. #p<0,05 vs. MR-Gruppe

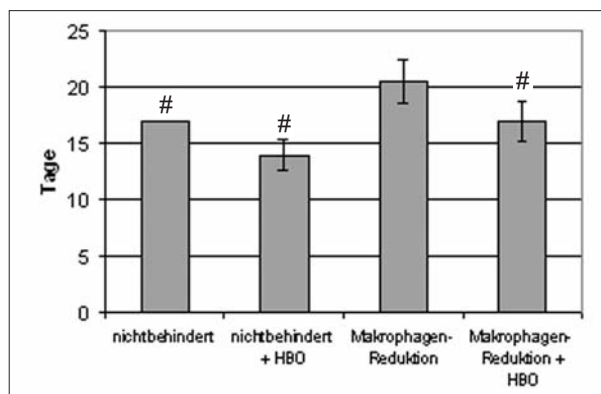


**Abb. 3:** Zeitlicher Verlauf der Neovaskularisation. Relativer Wundverschluss am Tag 3, 12 und 21. \*p<0,05 vs. N-Gruppe; #p<0,05 vs. MR-Gruppe

**Tab. 1:** Experimentelle Gruppen. Nackte Mäuse (n=32) wurden randomisiert einer von vier Gruppen zugeordnet

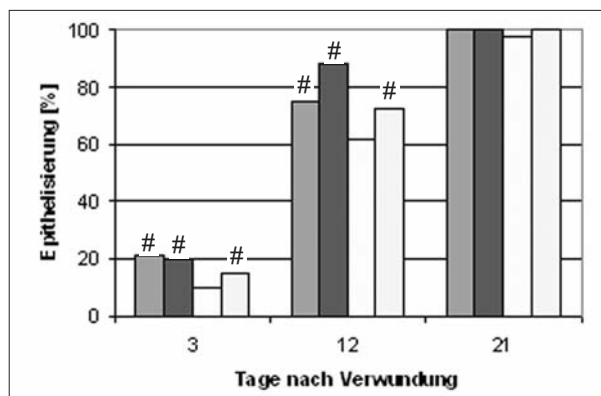
MR	Makrophagenreduktion	Die Tiere wurden mit i-CGN vorbehandelt um die Anzahl der Makrophagen zu reduzieren und die Heilung zu verschlechtern
HR + HBO	Makrophagenreduktion + HBO-Behandlung	Die Tiere wurden mit i-CGN vorbehandelt um die Makrophagenzahl zu verhindern und die Heilung zu verschlechtern. Die Tiere erhielten eine HBO-Behandlung
N	Nicht-behinderte Heilung	Die Tiere wurden mit Kochsalzlösung vorbehandelt. Sie hatten normale Makrophagenzahlen und eine nicht-behinderte Heilung
N + HBO	Nicht-behinderte Heilung + HBO-Behandlung	Die Tiere wurden mit Kochsalzlösung vorbehandelt und hatten normale Makrophagenzahlen und eine nicht-behinderte Heilung. Sie erhielten eine HBO-Behandlung

**Epithelialisierung.** Bei den nicht-behinderten Wunden beschleunigte die HBO-Behandlung die Wund-Epithelialisierung signifikant:  $14,1 \pm 1,6$  vs.  $16,8 \pm 0,5$  Tage (Abb. 4).



**Abb. 4:** Tage bis zur kompletten Epithelialisierung.  
\* $p < 0,05$  vs. N-Gruppe. # $p < 0,05$  vs. MR-Gruppe

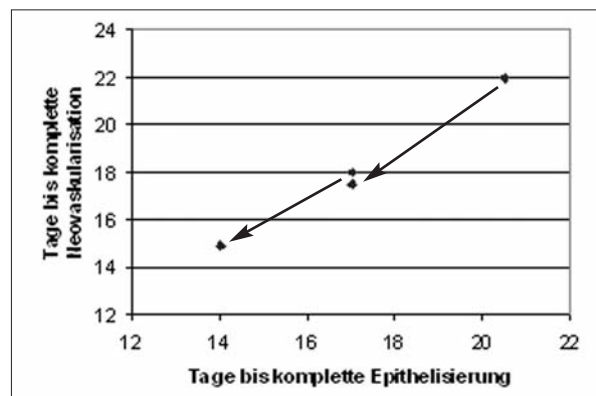
Die Verminderung der Makrophagenzahl führte zu einer Verzögerung der Wund-Epithelialisierung:  $20,4 \pm 1,3$  vs.  $16,8 \pm 0,5$  Tage. Bei den Tieren mit einer behinderten Wundheilung wurde dieser Effekt durch die HBO-Behandlung umgekehrt:  $17,1 \pm 1,5$  vs.  $20,4 \pm 1,3$  Tage;  $p < 0,05$ . Wie bereits bei der Neovaskularisation, führte die HBO-verursachte beschleunigte Epithelialisierung gleichzeitig zu einem früheren Wundverschluss (Abb. 5).



**Abb. 5:** Zeitlicher Verlauf der Epithelialisierung.  
Relativer Wundverschluss an Tag 3, 12 und 21.  
\* $p < 0,05$  vs. N-Gruppe. # $p < 0,05$  vs. MR-Gruppe

Der enge Zusammenhang zwischen der Verbesserung von Neovaskularisation und der Epithelialisierung durch die HBO ist in Abb. 6 dargestellt.

**Immunohistochemie.** Die MMP-2-Expression in den Wunden wurde weder durch die HBO-Behandlung noch durch die Makrophagen-Verminderung signifikant verändert. Im Gegensatz dazu waren TNF- $\alpha$ , MMP-9 und TIMP-1 in der behinderten Heilungsgruppe mit HBO-Behandlung signifikant up-reguliert. TNF- $\alpha$ -Produktion könnte also für den günstigen Effekt durch die HBO-Behandlung verantwortlich sein.



**Abb. 6:** Zusammenhang zwischen der Epithelialisierung und der Neovaskularisation für die vier verschiedenen Behandlungsgruppen. Die HBO-Therapie verkürzte jeweils die Wundheilungszeit (s. Pfeile)

## Diskussion

Angiogenese, Epithelialisierung und Inflammation sind bei der Wundheilung wichtig. Das gilt besonders für die frühe Phase, in welcher die Makrophagen eine Quelle für Wachstum und Inflammations-vermittelte Zytokine sind und die Proliferation und Differenzierung von verschiedenen Zelltypen unterstützen [24]. Wird also die Anzahl der Makrophagen vermindert, kommt es zu einer verzögerten Neovaskularisation und Epithelialisierung [15]. In der vorliegenden Studie kehrte die HBO-Behandlung diesen negativen Effekt auf die Neovaskularisation und auf die Epithelialisierung um.

In der Klinik wird die HBO-Therapie üblicherweise für schlecht verheilende Wunden (diabetische Fußverletzungen, arterielle Ulcera, Radionekrose) verwendet [6-10]. Im Gegensatz zu der Vorstellung, dass die HBO-Behandlung nur für die Behandlung von ischämischen, nicht-heilenden Wunden nützlich sei, zeigten jüngere Studien, dass die HBO-Behandlung auch bei nicht-ischämischen Wunden vorteilhaft ist [25]. Ein wichtiger Befund in der vorliegenden Studie besteht darin, dass die periodische Exposition gegenüber einer Hyperoxie, die TNF- $\alpha$ -Menge im Wundbett in der frühen Phase der Heilung erhöht und damit den negativen Effekt einer Makrophagen-Verminderung umkehrt und so die Neovaskularisation und Epithelialisierung beschleunigt. Ein möglicher Mechanismus für diesen Effekt könnte darin bestehen, dass die erhöhten TNF- $\alpha$ -Mengen im Granulations-Gewebe die Versorgung mit Metalloproteinasen erhöht.

## Schlussfolgerung

Die HBO-Behandlung beschleunigt die Heilung sowohl in behinderten als auch in nicht-behinderten Wunden. Die Ursache hierfür könnte mit der Modulation der TNF- $\alpha$ -Expression und seiner Zielgrößen MMP und TIMP während der frühen Wundreparatur-



Phase zu tun haben. Obwohl das wahrscheinlich nicht der einzige Effekt der HBO-Behandlung ist, liefern diese Befunde Einblick in Faktoren und Pfade, welche bei der HBO-vermittelten Wundreparatur eine Rolle spielen. In diesem Zusammenhang sind experimentelle und klinische Daten interessant, welche der HBO-induzierten NO-Erhöhung eine wichtige Rolle für die Wundheilung zuschreiben [32]. Entsprechend wurden NO-freisetzende Wundverbände bei der experimentellen Wundheilung verwendet [33]. Gleichmaßen lieferten aktuelle Studien die Beteiligung von TNF- $\alpha$  und von MMP-9 bei der NO-verbesserten Wundreparatur [34,35]. Eine hochdosierte NO- und TNF- $\alpha$ -Supplementierung in Kombination mit der HBO-Therapie sollte daher eine größere Anwendung im klinischen Bereich erfahren.

#### Lesenswerte Literatur

- Barker JH, Hammersen F, Bondar I, Uhl E, Galla TJ, Menger MD, Messmer K. The hairless mouse ear for in vivo studies of skin microcirculation. *Plast Reconstr Surg* 1989;83: 948-59
- Barker JH, Kjolseth D, Kim M, Frank J, Bondar I, Uhl E, Kamler M, Messmer K, Tobin GR, Weiner LJ. The hairless mouse ear: an in vivo model for studying wound neovascularization. *Wound Rep Reg* 1994;2:138-43
- Frank JM, Kaneko S, Joels C, Tobin GR, Banis JC Jr., Barker JH. Microcirculation research, angiogenesis, and microsurgery. *Microsurgery* 1994;15:399-404
- Kjolseth D, Frank JM, Barker JH, Anderson GL, Rosenthal AI, Acland RD, Schuschke D, Campbell FR, Tobin GR, Weiner LJ. Comparison of the effects of commonly used wound agents on epithelialization and neovascularization. *J Am Coll Surg* 1994;179:305-12
- Kjolseth D, Kim MK, Andresen LH, Morsing A, Frank JM, Schuschke D, Anderson GL, Banis JC, Tobin GR, Weiner LJ, Hjortdal VE, Barker JH. Direct visualization and measurements of wound neovascularization – application in microsurgery research. *Microsurgery* 1994;15:390-8
- Broussard CL. Hyperbaric oxygenation and wound healing. *J Vasc Nurs* 2004;22:42-8
- Gill AL, Bell CNA. Hyperbaric oxygen: its uses, mechanisms of action and outcomes. *Q J Med* 2004;97:385-95
- Thackham JA, Sean McElwain DL, Long RJ. The use of hyperbaric oxygen therapy to treat chronic wounds: a review. *Wound Rep Reg* 2008;16:321-30
- Abidia A, Laden G, Kuhan G, Johnson BF, Wilkinson AR, Renwick PM, Masson EA, McCollum PT. The role of hyperbaric oxygen therapy in ischaemic diabetic lower-extremity ulcers: a double-blind randomised controlled trial. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2003;25:513-8
- Kessler L, Bilbault P, Orte'ga F, Grasso C, Passemard R, Stephan D, Pinget M, Schneider F. Hyperbaric oxygenation accelerates the healing rate of nonischemic chronic diabetic foot ulcers: a prospective randomized study. *Diabetes Care* 2003;26: 2378-82
- Boykin JV. Hyperbaric oxygen therapy: a physiological approach to selected problem wound healing. *Wounds* 1996; 8:183-98
- Zhang Q, Chang Q, Cox RA, Gong X, Gould LJ. Hyperbaric oxygen attenuates apoptosis and decreases inflammation in an ischemic wound model. *J Invest Dermatol* 2008;128:2102-12
- Knighton DR, Silver IA, Hunt TK. Regulation of wound-healing angiogenesis – effect of oxygen gradients and inspired oxygen concentration. *Surgery* 1981;90:262-70
- Lahat N, Bitterman H, Yaniv N, Kinarty A, Bitterman N. Exposure to hyperbaric oxygen induces tumour necrosis factor-alpha (TNF-alpha) secretion from rat macrophages. *Clin Exp Immunol* 1995;102:655-9
- Frank JM, Born K, Barker JH, Marzi I. In vivo effect of tumor necrosis factor alpha on wound angiogenesis and epithelialization. *Eur J Trauma* 2003;29:1-13
- Frater-Schroder M, Risau W, Hallmann R, Gautschi P, Bohlen P. Tumor necrosis factor type alpha, a potent inhibitor of endothelial cell growth in vitro, is angiogenic in vivo. *Proc Natl Acad Sci USA* 1987; 84: 5277-81
- Mauviel A, Daireaux M, Redini F, Galera P, Loyau G, Pujol JP. Tumor necrosis factor inhibits collagen and fibronectin synthesis in human dermal fibroblasts. *FEBS Lett* 1988; 236:47-52
- Regan MC, Kirk SJ, Hurson M, Sodeyama M, Wasserkrug HL, Barbul A. Tumor necrosis factor-alpha inhibits in vivo collagen synthesis. *Surgery* 1993;113:173-7
- Mooney DP, O'Reilly M, Gamelli RL. Tumor necrosis factor and wound healing. *Ann Surg* 1990;211:124-9
- Piguet PF, Grau GE, Vassalli P. Subcutaneous perfusion of tumor necrosis factor induces local proliferation of fibroblasts, capillaries, and epidermal cells, or massive tissue necrosis. *Am J Pathol* 1990;136:103-10
- Roesel JF, Nanney LB. Assessment of differential cytokine effects on angiogenesis using an in vivo model of cutaneous wound repair. *J Surg Res* 1995;58:449-59
- Appleton I, Tomlinson A, Colvillanash PR, Willoughby DA. Temporal and spatial immunolocalization of cytokines in murine chronic granulomatous tissue. Implications for their role in tissue-development and repair processes. *Lab Invest* 1993;69:405-14
- Bonomo SR, Davidson JD, Tyrone JW, Lin X, Mustoe TA. Enhancement of wound healing by hyperbaric oxygen and transforming growth factor b3 in a new chronic wound model in aged rabbits. *Arch Surg* 2000;135:1148-53
- Leibovich SJ, Wiseman DM. Macrophages, wound repair and angiogenesis. *Prog Clin Biol Res* 1988;266:131-45
- Uhl E, Sirsjo A, Haapaniemi T, Nilsson G, Nylander G. Hyperbaric-oxygen improves wound-healing in normal and ischemic skin tissue. *Plast Reconstr Surg* 1994;93:835-41
- Parks WC. Matrix metalloproteinases in repair. *Wound Rep Reg* 1999;7:423-32
- Rahat MA, Marom B, Bitterman H, Weiss-Cerem L, Kinarty A, Lahat N. Hypoxia reduces the output of matrix metalloproteinase-9 (MMP-9) in monocytes by inhibiting its secretion and elevating membranal association. *J Leukoc Biol* 2006;79:706-18
- Moon SK, Cha BY, Kim CH. ERK1/2 mediates TNF $\alpha$ -induced matrix metalloproteinases-9 expression in human vascular smooth muscle cells via regulation of NF $\kappa$ B and AP-1: involvement of the ras dependent pathway. *J Cell Physiol* 2004;198:417-27
- Han Y, Tuan T, Wu H, Hughes M, Garner WL. TNF- $\alpha$  stimulates activation of pro-MMP2 in human skin through NF- $\kappa$ B mediated induction of MT1-MMP. *J Cell Sci* 2000; 114:131-9
- Madlener M. Differential expression of matrix metalloproteinases and their physiological inhibitors in acute murine skin wounds. *Arch Dermatol Res* 1998;290 (Suppl.):S24-9
- Moses MA, Marikovsky M, Harper JW, Vogt P, Eriksson E, Klagsbrun M, Langer R. Temporal study of the activity of matrix metalloproteinases and their endogenous inhibitors during wound healing. *J Cell Biochem* 1996; 60:379-86
- Boykin JV Jr., Baylis C. Hyperbaric oxygen therapy mediates increased nitric oxide production associated with wound healing: a preliminary study. *Adv Skin Wound Care* 2007;20:382-8
- Bauer JA, Rao W, Smith DJ. Evaluation of linear polyethyleneimine/nitric oxide adduct on wound repair: therapy versus toxicity. *Wound Rep Reg* 1998;6:569-77
- Bove PF, Wesley UV, Greul A, Hristova M, Dostmann WR, van der Vliet A. Nitric oxide promotes airway epithelial wound repair through enhanced activation of MMP-9. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2006;36:138-46
- Schäffer M, Bongartz M, Hoffmann W, Viebahn R. Regulation of nitric oxide synthesis in wounds by INF-g depends on TNF- $\alpha$ . *J Invest Surg* 2006;19:371-9

## Venöse Luftembolie nach Katheterisierung der Jugularvene bei Pferden

JD Schipke

**Hintergrund.** Ursachen für eine Luftembolie ist häufig offene oder schlecht liegende Venenkatheter. Kleine Mengen an eintretender Luft bleiben meist symptomlos. Größere Luft-Volumina können jedoch zu neurologischen Defiziten, Blindheit, kardiovaskulärem Kollaps oder sogar zum Tod führen. Wegen des gegenüber der Atmosphäre negativen Venen-Druckes sind diese häufig Eintrittspforte für Gase, also auch für Luft (**Abb. 1**).



**Abb. 1:** Durch großlumige Venenkatheter und die Halslänge bei Pferden entsteht bei Anheben des Kopfes ein Druckgradient zwischen der V. jugularis und dem rechten Vorhof, so dass Luft aspiriert werden kann

**Fallberichte.** An der Universität in Georgia wurden drei Fälle beobachtet, bei denen es sich wegen der beobachteten Symptome voraussichtlich um eine Luftembolie handelte. Drei Wallache verschiedener Rasse und unterschiedlichen Alters wurden wegen (1) einer Fraktur der Mandibularsymphyse, (2) einer Magenüberladung und (3) einer ventralen Abdominalhernie vorgestellt. Bei den drei Pferden war der Venenkatheter entweder nicht verschlossen oder die Verbindung zur Infusion unterbrochen. In der Folge traten Tachykardien mit trommelartigem Herzgeräusch, Tachypnoe, Muskelfaszikulationen, Ataxien, Zusammenbrüche, horizontaler und vertikaler Nystagmus und Blindheit auf. Zu den zusätzlichen Symptomen gehörten massiver Juckreiz, Angst sowie Beißen und Treten in Richtung Flanke. Alle diese Anzeichen bildeten sich innerhalb von zwei Wochen zurück. Eines der Pferde blieb jedoch auf dem rechten Auge blind.

**Pathophysiologie.** Durch ein großes aspiriertes Luftvolumen vermindert sich die Auswurfleistung des rechten Herzens. In der Folge kommt es zur Hypotension und zum Kollaps. Das daraufhin in

der Lunge freigesetzte Endothelin-1 wirkt vasokonstriktiv, die Permeabilität des Endothels erhöht sich, und es können sich Lungenödeme bilden. Kleine Luft-Emboli bleiben im Muskel oder in den Eingeweiden meist ohne Folge. Im Herz- oder Hirnbereich kann diese Embolie jedoch lebensbedrohlich werden. Durch Luftblasen in den Zerebralfäßen kann außerdem die Gerinnungskaskade ausgelöst werden. Über die verlegten Gefäße kommt es zur Ischämie des betroffenen Gebietes und möglicherweise zum Zerebralödem.

Pferde tolerieren ohne klinische Symptome bis zu 0,25 ml aspirierte Luft / kg. Nachgewiesen werden kann die Luftembolie durch die Echokardiografie oder über Dopplerverfahren.

**Therapie.** Die HBO-Therapie ist die Behandlung der ersten Wahl (**Abb. 2**). Ferner ist die Flüssigkeits-Gabe, insbesondere auch von Mannitol zur Aufhebung der starken Hämokonzentration und der Hirnödeme hilfreich. Von Glukose wird zur Vermeidung einer Hyperglykämie abgeraten. Gegen die neurologischen Symptome lassen sich Diazepam und Phenobarbital einsetzen. Letzteres wirkt wegen der Reduktion des Sauerstoffverbrauches und der Katecholaminfreisetzung zerebro-protectiv.



**Abb. 2:** Die HBO-Therapie ist bei einer Luftembolie bei Pferden erste Wahl

**Zusammenfassung.** Größere Mengen von über die Jugularvenen aspirierter Luft können zu einem Kreislaufzusammenbruch führen. Die Symptome sind jedoch bei frühzeitigem Eingreifen und schneller HBO-Therapie größtenteils reversibel.

### Literatur

1. Pellegrini-Masini A. et al. Suspected venous air embolism in three horses. *Equine vet Educ* 2009; 21(2):79-84
2. Caporelli F. et al. Suspected venous air embolism in a Finnhorse. *Equine vet Educ* 2009;21(2):85-88

JD Schipke

CAISSON 2010;25(1):43

## Aus der Gesellschaft

### Eine schöne Bescherung...

KP Faesecke

war das für die deutsche Arbeitsmedizin, als der Bundespräsident am 24.12.2008 die Verordnung über arbeitsmedizinische Vorsorge unterschrieb. Hierin finden sich Bestimmungen, die auch für GTÜM-ermächtigte Ärztinnen und Ärzte Auswirkungen haben, soweit diese bisher Gewerbliche Taucher untersucht haben (der sog. 'G 31').

Eine entscheidende Veränderung besteht darin, dass das bisher angewandte berufsgenossenschaftliche Ermächtigungsverfahren praktisch entfallen ist. Bisher hatte der Grundsatz 31 sowohl den staatlich geregelten Bereich der Druckluftarbeit als auch den BG-lichen Taucherbereich abgedeckt. Jetzt ist die Vorsorgeuntersuchung für Gewerbliche Taucher als Pflichtuntersuchung in die oben genannte Verordnung aufgenommen worden, während gleichzeitig bestimmt wurde, dass alle Ärztinnen und Ärzte, die Fachärzte für Arbeitsmedizin sind oder die Zusatzbezeichnung 'Betriebsmedizin' führen, alle Vorsorgeuntersuchungen durchführen dürfen, ohne dass es einer gesonderten Ermächtigung, von wem auch immer, bedarf. Das bedeutet theoretisch, dass es in Deutschland statt bisher ca. 800 für Taucheruntersuchungen zugelassene Mediziner nunmehr etwa 12.000 gibt! Das bedeutet gleichzeitig, dass alle bisher von den Berufsgenossenschaften ermächtigten Kolleginnen und Kollegen, die nicht über diese arbeitsmedizinische Qualifikation verfügen, von der Durchführung dieser Untersuchung jetzt ausgeschlossen sind. Inwieweit die betroffenen Kolleginnen und Kollegen einen Bestandsschutz geltend machen können, muss im Einzelfall von den zuständigen Arbeitsschutzbehörden der Länder entschieden werden.

Der Gesetzgeber hat allerdings eine Einschränkung dieser generellen Freigabe verfügt, weil im § 7 der Verordnung bestimmt wird, dass bei Fehlen der 'erforderlichen Fachkenntnisse oder der speziellen Anerkennungen oder Ausrüstungen' andere Ärztinnen oder Ärzte hinzu zu ziehen sind, die diese Anforderungen erfüllen. Während bisher also der Auftraggeber für eine Vorsorgeuntersuchung (in der Regel der Arbeitgeber) davon ausgehen konnte, dass bei Vorliegen einer BG-lichen Ermächtigung die Fachkenntnisse vorhanden waren (weil im Zuge des Ermächtigungsverfahrens geprüft), muss er sich jetzt auf die ehrliche Selbstauskunft des Arztes verlassen, dass dieser weiß, was er tut. Der Taucher sollte also in der Auswahl des untersu-

chenden Arztes kritisch sein. Die bis jetzt immer noch angebotenen 'G 31-Ermächtigungskurse' der Berufsgenossenschaften haben keine Daseinsberechtigung mehr.

Bisher hat es der Gesetzgeber versäumt, den Begriff 'erforderliche Fachkenntnisse' mit Inhalten zu füllen. Das ist traditionell in Deutschland Sache der ärztlichen Selbstverwaltung, also der Ärztekammern. In der Vergangenheit waren aber alle Anträge, für die Tauchmedizin eine, wie niedrig auch angesetzte, Zertifizierung im Interesse der 'Kunden' zu etablieren, fruchtlos.

Deshalb diskutiert der Vorstand der GTÜM einen Vorstoß, in dieses Vakuum Kompetenz und Substanz einzubringen. Wie in anderen Ländern sollte es Sache der zuständigen Fachgesellschaft sein, eine auch im gewerblichen Bereich national anerkannte und führbare Qualifikation zu etablieren, die für den gesetzlich zur Duldung einer Untersuchung verpflichteten Arbeitnehmer erkennbar ist und ihm garantiert, dass die ärztlichen Maßnahmen zur Feststellung seiner Eignung angemessen und von Kompetenz getragen sind.

Es sei noch vermerkt, dass staatliche Ermächtigungen weiterhin für drei Tätigkeitsbereiche erforderlich sind, die entweder einen hohen gesundheitspolitischen Stellenwert haben, wie Röntgen und Strahlenschutz, oder ein besonderes Gefährdungspotential aufweisen wie die Arbeit in Überdruck. Für eine ärztliche Tätigkeit in der Druckluftarbeit (und dazu gehören auch HBO-Kammern) sind also weiterhin die bereits bisher geltenden Ermächtigungs Voraussetzungen zu erfüllen und der zuständigen Behörde nachzuweisen. Auch hier wird von der GTÜM eine Möglichkeit zum Nachweis der fachlichen Kompetenz diskutiert.



KP Faesecke

#### Korrespondenzadresse

Dr. med. Karl-Peter Faesecke  
Arbeitsmediziner  
Postfach 11 14 05  
20414 Hamburg  
[kp.faesecke@gtuem.org](mailto:kp.faesecke@gtuem.org)



## Heute vor...

### Holland's Tunnel

JD Schipke

Vor 88 Jahren – im März 1922 - begannen die Bauarbeiten für den ersten Auto-Tunnel unter dem Hudson-River, der Manhattan mit New Jersey verbinden sollte. Nachdem bereits einige Eisenbahntunnel unter dem Hudson existierten, sollte nun ein Auto-Tunnel dem steigenden Autoverkehr gerecht werden.

Die Planungen hatten bereits 1906 begonnen. Allerdings für eine Brücke. Aus Kostengründen fiel die Entscheidung letztlich auf einen Tunnel mit zwei getrennten Röhren. Für diese innovative Lösung stand damals der Ingenieur Clifford Milburn Holland (Abb. 1). Er bekam die Bauleitung.



**Abb. 1:** Es ist ungewöhnlich, aber der Tunnel wurde nicht nach einem amerikanischen Staatsmann, Helden oder einer historischen Persönlichkeit sondern nach seinem Chefindgenieur CM Holland benannt

Foto: en.wikipedia.org

Schon 30 Monate nach Baubeginn, im Oktober 1924, sollten die von beiden Seiten vorgetriebenen Tunnelhälften miteinander verbunden werden. Am Tage vor der geplanten Zeremonie starb der 41-jährige Holland nach einem Herzinfarkt. Die New York Times: es war der Stress während der gesamten Bauphase. Hollands Nachfolger Milton H. Freeman starb 6 Monate später an einer Pneumonie. Sein Nachfolger – Ole Singstad – beendete das Projekt und entwickelte auch dessen progressives Ventilationssystem.

Beim Bau des Tunnels mussten die Arbeiter einen Großteil der Arbeitszeit in einer unter Überdruck stehenden Arbeitskammer verbringen. Um dort, wo der Tunnel vorangetrieben wird (= Ortsbrust), das Eindringen von Wasser zu verhindern, waren Drücke bis über 3 bar nötig. Daher konnten die Arbeiter nur eine definierte Zeit unter Überdruckbedingungen



**Abb. 2:** Um das Eindringen des Hudson-Wassers zu verhindern, herrschten in der Überdruck-Arbeitskammer Drücke bis über 3 bar. Daher konnten die Arbeiter nur eine gewisse Zeit in der Arbeitskammer verbringen

Foto: corbis/betmann; www.pbs.org

arbeiten (Abb. 2). Nach Arbeitsende verließen die 'sandhogs' (Slang-Ausdruck für Mineure auf Tunnel- und Caissonbaustellen) die Baustelle über dieselben Schleusen, über die sie den Tunnel betreten hatten. Im Laufe der Tätigkeiten im Caisson kam es so zu insgesamt 756.000 Dekompressionen. Es werden nur 528 Fälle von Bends berichtet. Keiner von diesen Unfällen verlief tödlich, obwohl es bei den Bauarbeiten insgesamt zu 14 Todesfällen kam. Zur Erinnerung: Beim Bau der Brooklyn Bridge – der Baubeginn lag knapp 60 Jahre früher – wurden 20 Menschen Opfer der Caisson-Krankheit (= bends). Vermutlich waren es sogar 30 Tote (CAISSON 23(1) 2008).

Der Tunnel war von Anfang an ein Erfolg (Abb. 3). Am Tage seiner Eröffnung benutzten ihn bereits knapp 52.000 bezahlende Fahrzeuge.



**Abb. 3:** Die 8 min-Durchfahrt kostete nach der Eröffnung 50 ct pro Auto, um die 48 Mio \$ Baukosten zu decken. Bis Ende 2005, die Durchfahrt kostete inzwischen 8.- \$, berichtet die Port Authority über 536 Mio \$ kumulative Kapitalanlage

Fotos: links - UPI; assets.nydailynews.com  
rechts - Alex Di Suvero for The New York Times

## Veranstaltungshinweise

Joint International Conference

### **1st CENTRAL EUROPEAN CONFERENCE OF HYPERBARIC AND DIVING MEDICINE 2nd OSTRAVA'S DAYS OF HYPERBARIC MEDICINE**

Term: June 17th-18th, 2010

Conference venue: Spa Hotel Lanterna\*\*\*\*, Velke Karlovice, Czech Republic

Conference Chairman: Michal Hájek, MD

Application form should be drafted, completed and sent on-line from website [www.hbova.cz](http://www.hbova.cz) or by e-mail to [odhm@mnof.cz](mailto:odhm@mnof.cz)



### **36<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society (EUBS)**

International conference on diving and hyperbaric medicine

14.-18. September 2010, Istanbul

#### **FURTHER INFORMATION**

Please regularly visit the official website [www.eubs2010.org](http://www.eubs2010.org) to receive last updated scientific and social information.

First Announcement

### **Verbundsymposium: Universität Kiel / GTÜM Das maritime Umfeld – Herausforderung für Körper und Psyche**

Schwerpunkte: Tauch- und Überdruckmedizin sowie Maritime Psychologie

Ort: Kiel

Datum: 12.-14. November 2010

Vorankündigung

### **12. Wissenschaftliche Tagung der GTÜM Tauch- und Hyperbarmedizin**

Ort: Regensburg

Datum: 18.-20. März 2011

Nähere Informationen werden zeitgerecht in den nächsten CAISSON-Ausgaben  
und auf [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) bekanntgegeben.



## Kurse

### Wichtiger Hinweis in eigener Sache:

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@gtuem.org](mailto:caisson@gtuem.org). Wir können leider anderweitig eingereichte Daten nicht berücksichtigen und bitten in eigenem Interesse um Verständnis. Daten, die die Homepage der GTÜM ([www.gtuem.org](http://www.gtuem.org)) betreffen, senden Sie bitte an: [c.klingmann@gtuem.org](mailto:c.klingmann@gtuem.org).

Das jeweils aktuelle Angebot der uns gemeldeten Kurse gemäß GTÜM-Richtlinien finden Sie im Internet auf unserer Homepage [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) unter 'Termine/Kurse'. Grundsätzlich können nur Kurse im Caisson oder auf [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) veröffentlicht werden, die von der GTÜM anerkannt wurden. Näheres hierzu finden Sie in der Weiterbildungsordnung der GTÜM.

### Universitätsklinik Halle

**Kontakt:** Martin-Luther Universität Halle  
Klinik für Anästhesiologie und operative  
Intensivmedizin HBO-Therapie Dryander-  
strasse 4-7  
D-06097 Halle  
Tel.: 03 45/5 57 43 50  
Fax: 03 45/5 57 43 52  
E-Mail: [hbo@medizin.uni-halle.de](mailto:hbo@medizin.uni-halle.de)  
[www.medicin.uni-halle.de/kai](http://www.medicin.uni-halle.de/kai)

**Thema:** GTÜM Kurs I –  
Tauchtauglichkeits-Untersuchung  
GTÜM Kurs IIa – Taucherarzt  
**Termin:** 10. 04. - 18. 04. 2010  
**Ort:** Halle/Saale

### Baromed Consulting – Schwanewede

**Kontakt:** Dr. Doreen Peusch-Dreyer  
An der Waldschmiede 22  
D-28790 Schwanewede  
Tel.: 04 21/66 63 16  
Fax: 04 21/66 63 72  
E-Mail: [dpeusch@t-online.de](mailto:dpeusch@t-online.de)

**Thema:** GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
**Termin:** 16. 04. - 18. 04. 2010  
**Ort:** Schwanewede bei Bremen  
**Thema:** Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
**Termin:** 17. 04. - 18. 04. 2010  
**Ort:** Schwanewede bei Bremen

### Universität Düsseldorf

**Kontakt:** Dr. T. Muth / S. Siegmann  
Inst. Arbeits- und Sozialmedizin  
Heinrich-Heine-Universität  
D-40225 Düsseldorf  
Tel.: 02 11/8 11 47 21  
**Thema:** GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
**Termin:** 23. 04. - 25. 04. 2010  
**Ort:** Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

### Baromedizin – Tauchmedizinische Fortbildung von konkret

**Kontakt:** Institut für Fort- und Weiterbildung  
Horbacher Straße 73  
D-52072 Aachen  
Tel.: 02 41/9 00 79 20  
Fax: 02 41/9 00 79 24  
E-mail: [info@baromedizin.de](mailto:info@baromedizin.de)  
[www.baromedizin.de](http://www.baromedizin.de)

**Thema:** GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
**Termin:** 13. 05. - 16. 05. 2010  
**Ort:** Aachen

**Thema:** GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
**Termin:** 03. 06. - 06. 06. 2010  
**Ort:** Aachen

**Thema:** GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt  
**Termin:** September 2010 (genauer Termin wird noch bekanntgegeben)  
**Ort:** (wird noch bekanntgegeben)

### Druckkammerzentren Rhein-Main-Taunus

**Kontakt:** im AGZ Wiesbaden (1. OG)  
Schiersteiner Str. 42  
D-65187 Wiesbaden  
Tel.: 06 11/ 84 72 71 70  
Fax: 06 11/ 84 72 71 79  
E-mail: [info@hbo-rmt.de](mailto:info@hbo-rmt.de)  
[www.hbo-rmt.de](http://www.hbo-rmt.de)

**Thema:** HBO-Druckkammer-Bediener Kurs  
(für GTÜM/VDD-Diplom)  
**Termin:** 24. 04. - 09. 05. 2010  
**Ort:** Wiesbaden

**Thema:** GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt  
**Termin:** 24. 04. - 09. 05. 2010  
**Ort:** Wiesbaden

**Thema:** Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
**Termin:** 25. 04. - 26. 04. 2010  
**Ort:** Wiesbaden

*Fortsetzung auf S. 48*



**Druckkammerzentren Rhein-Main-Taunus***Fortsetzung von S. 47*

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 07. 05. - 08. 05. 2010  
Ort: Wiesbaden

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 08. 05. - 09. 05. 2010  
Ort: Wiesbaden

**Druckkammerzentrum Murnau**

**Kontakt: (nur für die nachfolgenden Kurse)**  
**Dr. Wilhelm Welslau**  
**Seeböckgasse 17/2**  
**A-1160 Wien**  
**Tel.: +43 (699) 18 44-23 90**  
**Fax: +43 (1) 944-23 90**  
**www.taucherarzt.at**

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
Termin: 16. 04. - 18. 04. 2010  
Ort: BG Unfallklinik Murnau

Thema: GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt  
Termin: 19. 04. - 25. 04. 2010  
Ort: BG Unfallklinik Murnau

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 17. 04. - 18. 04. 2010  
Ort: BG Unfallklinik Murnau

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 19. 04. - 20. 04. 2010  
Ort: BG Unfallklinik Murnau

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 24. 04. - 25. 04. 2010  
Ort: BG Unfallklinik Murnau

**Institut für Überdruck-Medizin Regensburg**

**Kontakt: Institut für Überdruck Medizin**  
**Im Gewerbepark A45**  
**D-93059 Regensburg**  
**Tel.: 09 41/4 66 14-0**  
**Fax: 09 41/4 66 14-22**  
**E-Mail:**  
**melanie.matousek@hbo-regensburg.de**  
**www.HBO-Regensburg.de**

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
Termin: 23. 04. - 25. 04. 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(8/16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 24. 04. - 25. 04. 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

Thema: HBO-Druckkammer-Bediener-Kurs  
(für GTÜM/VDD-Diplom)  
Termin: Mai 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

Thema: GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
Termin: 01. 10. - 03. 10. 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(8/16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 02. 10. - 03. 10. 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

Thema: GTÜM-Kurs IIa – Taucherarzt  
Termin: 04. 10. - 09. 10. 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

Thema: Hyperbarmedizinische/r Assistent/in  
(für GTÜM/VDD-Diplom)  
Termin: November 2010  
Ort: Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

**taucherarzt.at – Wien**

**Kontakt: Dr. Wilhelm Welslau**  
**Seeböckgasse 17/2**  
**A-1160 Wien**  
**Tel.: +43 (699) 18 44-23 90**  
**Fax: +43 (1) 944-23 90**  
**www.taucherarzt.at**

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(8/16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 03. 09. - 05. 09. 2010  
Ort: Wien

Thema: Tauchmedizin-Refresher  
(8/16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
Termin: 31. 10. - 01. 11. 2010  
Ort: Wien



## ANSCHRIFTENLISTE GTÜM – Stand September 2009

Vorstand		
Präsident	Vize-Präsident	Sekretär
Dr. med. Wilhelm Welslau Arbeitsmediziner Seeböckgasse 17 A-1160 Wien Tel.: +43 (699) 18 44-23 90 Fax: +43 (1) 944-23 90 w.welslau@gtuem.org	Dr. med. Jochen Freier Anästhesist Reifenberger Straße 6 D-65719 Hofheim/Ts. Tel.: +49 (0)6192-50 62 Fax: +49 (0)6192-50 63 j.freier@gtuem.org	Dr. med. Peter HJ Müller Anästhesist Dudenhofer Straße 8 C D-67346 Speyer Tel.: +49 (0)62 32-6 86 58 66 Fax: +49 (0)62 32-6 86 58 66 p.mueller@gtuem.org
Schatzmeister	Redakteur CAISSON	Vorsitzender des VDD e.V.
Dr. med. Karin Hasmler Anästhesistin BG – Unfallklinik Murnau Prof. Küntscherstraße 8 D-82418 Murnau Tel.: +49 (0)88 41-48 27 09 Fax: +49 (0)88 41-48 21 66 k.hasmler@gtuem.org	Prof. Dr. Jochen D Schipke Universitätsklinikum Düsseldorf Exp. Chirurgie, Gebäude 14.81 Moorenstraße 5 D-40225 Düsseldorf Tel.: +49 (0)211-57 99 94  caisson@gmx.org j.schipke@gmx.org	Dr. med. Christian Heiden HNO-Arzt Druckkammerzentrum Traunstein Cuno-Niggel-Straße 3 D-83278 Traunstein Tel.: +49 (0)8 61-159 67 Fax: +49 (0)8 61-158 89 heiden@t-online.de
Beisitzer		
Dr. med. Karl-Peter Faesecke Arbeitsmediziner Wilhelmsburger Krankenhaus Groß Sand 3 D-21107 Hamburg Tel.: +49 (0)40-3179-36 07 Fax: +49 (0)40-3179-36 08 kp.faesecke@gtuem.org	PD Dr. med. Christoph Klingmann HNO-Arzt Universitäts-HNO-Klinik Im Neuenheimer Feld 400 D-69120 Heidelberg Tel.: +49 (0)62 21-56 67 05 Fax: +49 (0)62 21-56 33 81 c.klingmann@gtuem.org	Dr. med. Hendrik Liedtke Chefarzt Anästhesie u. Intensivmed. Krhs. St. Elisabeth und St. Barbara Mauerstraße 5 D-06110 Halle (Saale) Tel.: +49 (0)3 45-213 42 21 Fax: +49 (0)3 45-213 42 22 h.liedtke@gtuem.org
PD Dr. med. Claus-Martin Muth Anästhesist Universitätsklinik f. Anästhesiologie Parkstraße 11 D-89073 Ulm Tel.: +49 (0)731-50 02 51 40 Fax: +49 (0)731-50 02 51 43 c.muth@gtuem.org	Dr. med. Tim Piepho Anästhesist Universitätsklinik f. Anästhesiologie Langenbeckstr. 1 D-55131 Mainz Tel.: +49 (0)61 31-171 Fax: +49 (0)61 31-17 66 49 t.piepho@gtuem.org	Dr. med. Volker Warninghoff Anästhesist - Abteilungsleiter Tauch- und Überdruckmedizin Schiffahrtmed. Institut der Marine Kopperpähler Allee 120 D-24119 Kronshagen Tel.: +49 (0)431-54 09-0 v.warninghoff@gtuem.org
Ausschüsse und Sachbereiche		
Druckkammer-Liste	Recht	Tauchtauglichkeit
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	Benno Scharpenberg Präsident des Finanzgerichts Mecklenburg-Vorpommern Dorfstraße 11c D-17493 Greifswald-Wieck Tel.: +49 (0)38 34-88 49 10 b.scharpenberg@gtuem.org	PD Dr. med. Kay Tetzlaff Internist/Pneumologe Univ. Tübingen, Abt. Sportmedizin Silberstraße 5 D-72076 Tübingen Tel.: +1 203-7 98 40 34 k.tetzlaff@gtuem.org
HBO-Therapie	Hyperbare Arbeitsmedizin	Tauchmedizin
Dr. med. Jochen Freier (s.o.)	Dr. med. Karl-Peter Faesecke (s.o.)	PD Dr. med. Claus-Martin Muth (s.o.)
Taucherarzt-Liste	Technik	Webmaster
Dr. med. Tim Piepho (s.o.)	Dr. med. Volker Warninghoff (s.o.)	PD Dr. med. Christoph Klingmann (s.o.)
Weiterbildung	Geschäftsstelle der GTÜM	
Dr. med. Peter HJ Müller (s.o.)	Frau Dunja Hausmann BG – Unfallklinik Murnau Prof. Küntscherstraße 8 D-82418 Murnau	Tel.: +49 (0)88 41-48 21 67 Fax: +49 (0)88 41-48 21 66 gtuem@gtuem.org www.gtuem.org

## Hinweise für Autoren & Impressum

Einsendeschluss ist jeweils der 15. Tag im ersten Monat des Quartals, das heißt:  
15. Januar des Jahres für Heft 1  
15. April des Jahres für Heft 2  
15. Juli des Jahres für Heft 3  
15. Oktober des Jahres für Heft 4

Es können nur solche Arbeiten und Zuschriften veröffentlicht werden, die per E-Mail oder CD bei der Redaktion eingehen. Zusätzlich zum Datenmedium muss eine gedruckte Ausgabe des Dokuments eingereicht werden.

Bitte beachten Sie bei der Erstellung von Dokumenten die folgenden Hinweise:  
Datenformat: Microsoft Word (ab Version 2.0)  
Schrift: Arial  
Schriftgröße: 10 pt  
Zeilenabstand: automatisch

Absatzformat: Blocksatz  
Silbentrennung: keine  
Literaturverzeichnis: Nummerieren  
Medium: E-Mail: [caisson@gtuem.org](mailto:caisson@gtuem.org)  
CD und DVD

Bildformate:  
JPEG, TIF, BMP als einzelne Dateien, s/w oder farbig mit mindestens 300 dpi gescannt.

Bitte die Stellen im Text markieren, an denen die Abbildungen eingesetzt werden sollen.

Die Autoren werden gebeten, nach Möglichkeit Artikel aus früheren CAISSON-Heften zu zitieren.

## CAISSON

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

### Redaktion

Prof. Dr. Jochen D. Schipke  
Universitätsklinikum Düsseldorf  
Experimentelle Chirurgie/Geb. 14.81  
Moorenstraße 5  
D-40225 Düsseldorf  
Tel.: +49 (2 11) 57 99 94  
[caisson@gmx.org](mailto:caisson@gmx.org)  
[j.schipke@gmx.org](mailto:j.schipke@gmx.org)

### Herausgeber

Vorstand der GTÜM  
Dr. med. Wilhelm Welslau  
Seeböckgasse 17  
A-1160 Wien  
Tel.: +43 (699) 18 44-23 90  
Fax: +43 (1) 944-23 90  
[w.welslau@gtuem.org](mailto:w.welslau@gtuem.org)  
[www.gtuem.org](http://www.gtuem.org)

CAISSON erscheint viermal jährlich, etwa zur Mitte der Monate März, Juni, September und Dezember. Redaktionsschluss ist der 15. des Vormonats.

Druck und Versand: Druckerei Marquart GmbH, Aulendorf • Satz: Eva Ladwein, Essen

Auflage 1.200; der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.  
Alle Zuschriften an die Redaktionsadresse. Kürzungen vorbehalten.

Versand:

Geschäftsstelle: GTÜM, Dunja Hausmann • BG Unfallklinik Murnau • Prof. Küntscher-Straße 8  
82418 Murnau • Tel. 0 88 41-48 21 67 • Telefax 0 88 41-48 21 66 • [caisson@gtuem.org](mailto:caisson@gtuem.org)

Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen die Meinung des Autors dar und sind nicht als offizielle Stellungnahme der Gesellschaft aufzufassen.



## Anzeige

## HAUX-QUADRO Systeme: Neue Möglichkeiten für die HBO

HAUX-LIFE-SUPPORT GmbH • Descostrasse 19 • D-76307 Karlsbad • hauxlifesupport@t-online.de • www.hauxlifesupport.de



## Zu guter Letzt

### Sexuelle Signale werden blass

JD Schipke

Aus dem spanischen Vigo berichten Alberto Velando und Kollegen die Ergebnisse ihrer Beobachtungen an mehr als 100 Tölpeln an der mexikanischen Pazifikküste. Gemeint ist nicht der gemeine Tölpel, sondern der mit den blauen Füßen. Die Forscher bemerkten, dass die leuchtend blaue Farbe bei diesen entengroßen Meeresvögeln umso stärker abnimmt, je größer der Paarungserfolg ist. Dann laufen die Männchen mit unattraktiven graublauen Füßen herum. Kein Töpel-Weibchen wird sich noch umdrehen, denn leuchtend blaue Füße sind, das ist weithin bekannt, identisch mit rücksichtsvollem Partner und hingebungsvollem Vater. Denkt sich auch das Töpelweibchen. Genau wie die anderen Weibchen, die in die ausladenden Prachtfedern, das prächtige Geweih, die imponierende Körpergröße oder den PS-starken 12-Zylinder Charakterstärken hineinprojizieren. Das Signal an das weibliche Geschlecht ist immer dasselbe: hier steht der vollendete Partner. Bei Tieren scheint die Summe der Ressourcen konstant zu sein. Entweder erfolgreiche Fortpflanzung oder aufrechter-



Foto: B Flörchinger

haltener Körper. Gibt der Töpel also eine Paarungssaison lang Ruhe, kann er im Folgejahr erneut mit leuchtend blauen Füßen vor seiner Angebeteten auf und ab töpeln, kann eindrucksvoll mit den Flügeln schlagen – quiet-schend durch die Kurven rasen – oder mit demonstrativ nach vorne gestreckten Blau-Füßen zur Landung ansetzen.

Dieses ganze Balzgehebe und die folgende Jungenaufzucht kosten viel Kraft. Das Blau bleicht. Das ist nicht nur bei Blaufußtölpeln so, sondern gilt allgemein. An verschiedenen Tieren konnten Forscher zeigen, dass Fortpflanzung zulasten der Lebenserwartung geht: Wer Nachwuchs zeugt, verkürzt das eigene Leben.

Gehört nun der menschliche Töpel zum Tierreich? Und würde sich sein Leben verkürzen, würde er mehr Nachwuchs zeugen? Dann gäbe es zwar weniger alte Töpel-Menschen aber mehr Töpel-Kinder. In welcher Phase befinden wir uns jetzt gerade? Hier lassen uns die Spanier ein wenig hängen.

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

Jahrgang 25

Inhalt

März 2010 Nr. 1

<b>Eistauchen:</b> Nicht ohne Erfahrung	2
<b>Editorial</b>	3
Leserbrief zur Fallbeschreibung 'Arterielle Gasembolie einer Elfjährigen...', <i>U van Laak</i>	3
<b>Tauchen</b>	
Technisches Tauchen – Innenansicht einer Freizeitbeschäftigung, <i>A Salm</i>	5
Vereisung des Atemreglers: Tödliche Gefahr beim Bergseetauchen, <i>D Hothorn &amp; HV Ulmer</i>	10
Frauen tauchen, <i>C Haizmann</i>	16
Frauenttauchen – terra incognita der Tauchmedizin, <i>CM Muth</i>	18
<b>Kommentierte Literatur: Tauchen</b>	
Predicting performance in competitive apnoea diving. Part 1: static apnoea, <i>E Schagatay</i>	25
Todesfälle durch Apnoe-Tauchen, <i>DG Walker</i>	27
<b>HBO</b>	
Wirkungen der Hyperbaren Sauerstofftherapie auf die in vitro-Differenzierung und Mineralisation von Knorpel- und Knochenzellen, <i>PC Bolkenius</i>	29
<b>Kommentierte Literatur: HBO</b>	
The case for evidence in wound care: Investigating advanced treatment modalities in healing chronic diabetic lower extremity wounds, <i>KC Lyon</i>	33
In vivo effect of hyperbaric oxygen on wound angiogenesis and epithelialization, <i>AL Sander et al.</i>	38
Venöse Luftembolie nach Katheterisierung der Jugularvene bei Pferden, <i>JD Schipke</i>	43
<b>Aus der Gesellschaft</b>	
Eine schöne Bescherung..., <i>KP Faesecke</i>	44
<b>Heute vor...</b>	
Holland's Tunnel, <i>JD Schipke</i>	45
<b>Veranstaltungshinweise</b>	
1st Central European Conference of Hyperbaric and Diving Medicine, <i>Velke Karlovice, Czech Republic</i>	46
36th Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society (EUBS), <i>Istanbul</i>	46
Verbundsymposium: Universität Kiel / GTÜM, <i>Kiel</i>	46
12. Wissenschaftliche Tagung der GTÜM 2011, <i>Regensburg</i>	46
<b>Kurse</b>	47
<b>Anschriftenliste GTÜM</b>	49
<b>Hinweise für Autoren &amp; Impressum</b>	50
<b>Zu guter Letzt</b>	51