



# CAISSON

27. Jg. Juni 2012 Nr. 2

Begründet von Oskar F. Ehm - Mitteilungen der GTÜM e.V.



**Zum Titelbild:** Mit der Rechteckbauweise bei der QUADRO-Serie wurde Ende der 1990er Jahre begonnen. Im Bild ein Teil der im Ausbau befindlichen weltweit größten HBO-Kammeranlage für die Universitätsklinik in Lille (FR). Der Konstruktionsplan (unten rechts im Titelbild) zeigt, daß der Komplex aus drei Kammern in Planwand/Planboden-Technik zusammengesetzt ist. Die größte Kammer (unten rechts im Konstruktionsplan) hat eine Länge von 17 m.

## Druckkammern aus dem Schwarzwald

JD Schipke

Man sieht vor allen Dingen keine Druckkammern vor sich, wenn man an den Schwarzwald denkt. Und doch ist heute in Karlsbad der führende Druckkammer-Hersteller zu Hause. Die Firma Haux wurde 1980 vom heutigen Senior Gerhard Haux gegründet (Abb. 1).

**Abb. 1:** Gerhard Haux feierte im April 2012 seinen 80. Geburtstag. Auf die Frage, wie es weiter gehen soll antwortet er: 'Früher wollte ich 100 Jahre alt werden. Das will ich inzwischen nicht mehr. Ich will 110 Jahre alt werden.'



Die erste Fertigung fand in der leer geräumten Garage statt. Die heutigen Fertigungshallen sprechen für eine dynamische Entwicklung. Haux-Life-Support (HLS) ist im Bereich der HBO aktiv und ist in diesem Bereich u.a. mit mehr als 500 Starmed-2200-Kammern weltweit führend (Abb. 2).



**Abb. 2:** Eine Starmed 2200 Kammer. Im Bild ein im Ausbau befindlicher, großer Vertreter dieses modularen Systems, mit welchem die Behandlung von 2 bis zu 24 Patienten möglich ist.

Ende der 1990er Jahre wird die Rechteck-Bauweise für die QUADRO-Kammern verwirklicht. In dieser Bauweise wird später die damals größte HBO-Kammer am Karolinska University Hospital in Stockholm (SE) gefertigt und seit 2005 betrieben.

Weitere HLS-Aktivitäten führen in die Tiefen der Meere (Abb. 3). So wurde die BELLSTAR noch vor kurzem auf einer Tiefe von 260 m eingesetzt.



**Abb. 3:** Haux-Life-Support entwickelt und baut Tieftauchsysteme und Tauchglocken in unterschiedlichen Größen.

Letztlich ist HLS im Bereich des Tunnelbaus aktiv. Z.B. mit transportablen, medizinischen Kammern oder mit Schleusen, mit denen sich bis zu 40 Personen in oder aus Überdruckbaustellen schleusen lassen.

Der Senior hat die Geschäfte an Sohn Torsten übergeben, der von seinem Bruder Jochen tatkräftig und kompetent unterstützt wird. Auf glaubwürdige Weise setzen beide die väterlichen Kernsätze um. Z.B. 'Murks ist ein Fremdwort' und 'durch Innovation zur Spitze' (Abb. 4).



**Abb. 4:** Nicht nur bei der Betrachtung dieser Löschanlage glaubt man die Maxime 'Murks ist ein Fremdwort'. Auch ein zweiter Leitspruch lässt sich dieser Anlage zuordnen, denn bei dem SPRAY-FOG-SYSTEM werden die Vorteile einer Sprinkler-Anlage und einem Vernebelungssystem miteinander verbunden: 'durch Innovation zur Spitze'.



## Editorial

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

### HBO und diabetische Wunden

Die 'Deutsche Gesellschaft für Wundheilung und Wundbehandlung e.V.' (DGfW) kümmert sich um Wunden und deren Therapie, wie ihr Name unschwer vermuten lässt. Sie tut dies interdisziplinär, und sie tut es sehr gründlich. Seit 2010 arbeitet die DGfW an der Erstellung einer Leitlinie zur 'Lokaltherapie chronischer Wunden bei Patienten mit den Risiken peripherer arterielle Verschlusskrankheit, Diabetes mellitus, [und] chronisch venöse Insuffizienz'.

In die Entwicklung der Leitlinie wurden u.a. zwölf verschiedene wissenschaftliche Fachgesellschaften betroffener Fachgebiete eingebunden. Eine der beteiligten Fachgesellschaften ist die GTÜM, und zwar insbesondere zum Thema 'Therapie mit hyperbarem Sauerstoff'. Zwei GTÜM-Vorstandsmitglieder (Dr. Freier und Dr. Welslau) waren von Beginn an in die Leitlinienerstellung eingebunden. Die gesamte Erstellung erfolgte im Übrigen in enger Kooperation mit der Arbeitsgemeinschaft wissenschaftlicher medizinischer Fachgesellschaften (AWMF). Das Ergebnis ist eine Leitlinie der höchsten Qualitätsstufe (so genannte 'S3-Leitlinie') unter Berücksichtigung nationaler und internationaler Standards zur Leitlinien-Erstellung. Die ca. 280 Seiten starke Leitlinie wird im Rahmen des 15. Jahreskongresses der DGfW e.V. am 14.-16. Juni 2012 in Kassel veröffentlicht. Die verabschiedete Leitlinie werden Sie auf der Leitlinien-Website der AWMF einsehen und downloaden können ([www.awmf-online.de](http://www.awmf-online.de) oder <http://leitlinien.net>).

Und warum ist diese Leitlinie Thema eines Caisson-Editorials? Nun, der Caisson-Redaktionsschluss liegt leider vor der Leitlinien-Veröffentlichung. Einzelheiten können daher hier nicht preisgegeben werden. Aber soviel ist klar: jedem Leser der Leitlinie wird deutlich werden, dass die Evidenzbasis zur Wirksamkeit der HBO-Therapie bei diabetischen Wunden recht gut ist. Richtig spannend wird es, wenn man in derselben Leitlinie – und mit denselben Maßstäben gemessen – die Bewertungen anderer Therapien liest und mit denen der HBO-Therapie vergleicht. So manche klinisch regelhaft eingesetzte Methode überrascht hier mit mageren Ergebnissen. Damit will ich die Wertigkeit dieser Methoden nicht schlechtmachen, sondern vielmehr die nachweisliche Wirksamkeit der HBO-Therapie ins rechte Licht rücken.

Die Leitlinie wird die Wahrnehmung der HBO-Therapie in der medizinischen Welt wohl nicht öllig umkrempeln, schon klar. Das hatte ja z.B. auch niemand erwartet, nachdem der Gemeinsame Bundesausschuss (G-BA) zwischen 2002 und 2007 eindeutig positive Entscheidungen zu wesentlichen HBO-Indikationen traf (u.a. auch zur Therapie des Diabetischen Fuß-Syndroms). In Schweden werden seit Veröffentlichung der Löndahl-Studie (HODFU 'Hyperbaric oxygen in diabetic foot ulcers', Diabetes Care, 2010) ja auch nicht plötzlich alle therapieresistenten DFS-Patienten der HBO-Therapie zugeführt, leider. Übertriebene Erwartungen der HBO-Anwender und -Befürworter sind hier also fehl am Platz. Aber dennoch: die positiven Bewertungen durch unabhängige Gremien und in qualitativ hochwertigen Veröffentlichungen häufen sich – und sind in Ihrer Beurteilung erfreulich konsistent. Der Erkenntnisdruck steigt jedenfalls...



Ihr Wilhelm Welslau

## Tauchen

### Physikalisch-physiologische und technische Unfallursachen beim tiefen Tauchen mit Luft

J Zimmermann

#### Einleitung

Bei Freizeittauchern kommt es in Tiefen von  $\geq 20$  m immer wieder zu tragischen Zwischenfällen, deren Ursachen mehr oder weniger unklar bleiben [1-3].

Nach der Bergung werden zum Teil funktionsfähige, nicht leer geatmete Tauchgeräte vorgefunden. Der ggf. überlebende Tauchpartner berichtet von Luftmangel-Zeichen des Verunfallten. Als wahrscheinliche Ursachen werden oft 'Tiefenrausch' oder 'Einfrieren der Atemregler' angesehen.

Insider nennen noch 'Essoufflement' ('außer Atem geraten', hier eine akute CO<sub>2</sub>-Vergiftung durch unzureichendes Atemminutenvolumen) und machen u.a. turbulente Strömung in Atemwegen, Verengung der Bronchiolen und zunehmende Ineffektivität der Atemmuskulatur bei höherer Belastung verantwortlich [4]. Alles richtig, aber weit hinter der Realität zurückbleibend. Bestenfalls denkt man noch über unzweckmäßige Organisation und Sicherung beim Taucherabstieg nach. Wichtige Hinweise hierzu geben Pacher [2] und Taher [3].

Mit dem Befund 'Tod durch Ertrinken' wird dann abgeschlossen, was durch physische, psychische und taucherische Überforderung ausgelöst wurde. Die Ursachen für Einschränkungen der Leistungsfähigkeit des Tauchers in größeren Tiefen und die daraus resultierenden Risiken sind – immer noch – zu wenig bekannt. Sie bleiben auch in der Ausbildung der Taucher (und Tauchmediziner?) unberücksichtigt, obwohl Hinweise hierzu seit mehr als 40 Jahren vorliegen [5].

In der Folge wird aus Sicht eines Technikers und Tauchers eine Erklärung angeboten, die mit wenig Physik und Physiologie auskommt und auch normalen Tauchern zugänglich sein sollte. Tauchmediziner finden bei Lanphier & Camporesi [6] die komplexen physiologischen Zusammenhänge.

#### Hypothese

Über Wasser wird die physische Leistung durch die Herz-Kreislaufleistung begrenzt. Daran sind wir ge-

J Zimmermann

CAISSON 2012;27(2):4-10

wöhnt. Im Überlastungsfall findet die Zwangspause in atembarer Umgebung und auf festem Boden statt. In einiger Tiefe (bei höherer Dichte des Atemgases) wird die Atmung der begrenzende Faktor. Lernt und berücksichtigt der Taucher dies nicht rechtzeitig, kommt die Erfahrung für ihn ggf. zu spät.



J Zimmermann

#### Fallbeispiel

Abstieg zweier Taucher (A + B) in einem Binnensee. Vom Boot auf 28 m Tiefe mit schlammigem Grund. A (36 Jahre, 1350 Tauchstunden, durchschnittlich trainiert) und B (22 Jahre, 360 Tauchstunden, sehr guter physischer Trainingszustand) haben die Aufgabe, nach Kompass zum Ufer zu tauchen. Die Ausrüstung besteht aus Drucklufttauchgerät mit Cyklon 200 und Unisuit-Trockenanzügen (Konstantvolumen, handgesteuerte Ventile).

Nach 'Alles Wohl'-Handzeichen auf Grund wird in Richtung Ufer getaucht. Nach wenigen Minuten wird der führende A durch die Verbindungsleine gebremst. B kommt nur langsam voran, wühlt mit den Flossen im Schlamm und atmet heftig, antwortet aber auf Anfrage mit 'Alles Wohl'. A taucht weiter, wird aber nach kurzer Zeit wiederum gestoppt. Er erhält erneut eine 'Alles Wohl'-Antwort, gefolgt von 'Auftauchen'. B bewegt sich unkoordiniert, die Augäpfel sind extrem verdreht. Er wird unter Zuhilfenahme des Tauchanzug-Auftriebes von A an die Oberfläche gebracht und dort vom Boot aufgenommen. B ist ansprechbar und unterstützt seine Bergung.

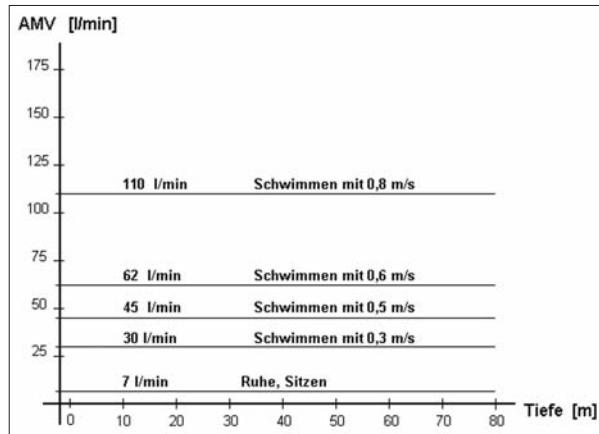
Die Ursachenermittlung ergab, dass B die Halsmanschette seines Trockenanzuges nicht richtig ordnet hatte. Dadurch entwich ständig Tarierluft. Infolge des hohen Abtriebes erforderte das Schwimmen einen Leistungs- und Luftaufwand, den selbst der gut trainierte B nicht erbringen konnte. An das letzte 'Alles-Wohl-' und Auftauchsignal bestand keine Erinnerung.

### Tätigkeit, Luftbedarf und Atmung

Der Sauerstoffbedarf des Organismus wird insbesondere durch die momentane Leistung, d.h. die physische (und psychische) Belastung bestimmt.

In Abb. 1 werden beispielhaft Werte für das Schwimmen präsentiert. Die mögliche Sauerstoffaufnahme ist abhängig vom Trainingszustand und der Dauer der Belastung [8]. Für die Aufnahme des notwendigen Sauerstoffvolumens wird ein 22- bis 25-mal größeres Atemminutenvolumen (AMV) benötigt. Dieses Verhältnis ist jedoch nicht konstant und ist besonders bei körperlich Untrainierten ungünstiger.

Proportional zur Tauchtiefe steigt der  $pO_2$  in der Einatmeluft. Das  $O_2$ -Angebot wird besser. Das AMV bleibt trotzdem mindestens in der genannten Größe erforderlich, um das entstehende  $CO_2$  abzuführen.

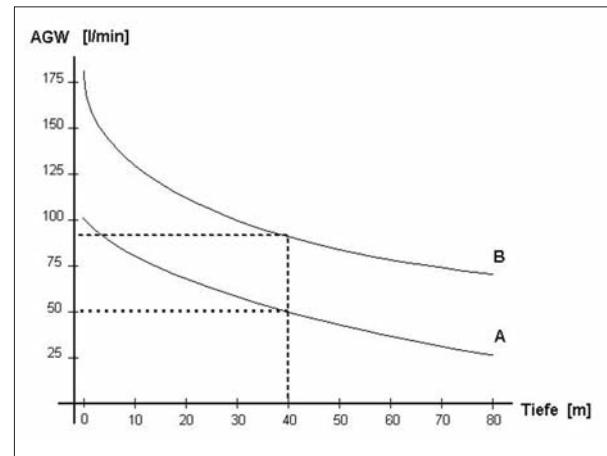


**Abb. 1:** Der Luftbedarf (Ventilation, Atemminutenvolumen: AMV) wird insbesondere von der physischen Leistung bestimmt. Vereinfachend wird in der Graphik angenommen, dass das AMV bei gleicher Leistung mit zunehmender Tiefe annähernd konstant bleibt.

Proportional zum Druck in der Tauchtiefe wächst die Dichte der Atemluft (mit der größeren Gasmasse nimmt nach Boyle Mariotte auch der Luftverbrauch (aus dem Drucklufttauchgerät) zu).

Die Dichte ( $\rho$ ) von Luft bei atmosphärischem Druck beträgt 1,29 g/l; in 40 m Tiefe (= 5 bar) ist  $\rho = 5 \times 1,29 = 6,45$  g/l. Das verursacht höhere Strömungswiderstände, steigende Atemarbeit und verschlechtert den Gasaustausch in der Lunge. Die Folge ist, dass das mögliche AMV mit zunehmender Tauchtiefe (entsprechend der Atemgasdichte) erheblich eingeschränkt wird [6].

Das maximal mögliche AMV wird als Atemgrenzwert (AGW) bezeichnet. Für diese nur kurzzeitig zu realisierende (~15 s), maximal mögliche Ventilationsmenge sind Messwerte bekannt (Abb. 2).



**Abb. 2:** Atemgrenzwert (AGW) bei Luftatmung in Abhängigkeit von der Tiefe, A) nach Alnor, Herget, Seusing, Drucklufterkrankungen [7]. B) nach Lanphier, Camporesi, Physiology and Medicine of Diving [6].

Die Kurven zeigen einen bemerkenswerten Rückgang des AGW mit zunehmender Atemluftdichte. Je nach Probanden (Physis, Training) differieren die absoluten Werte, aber die Tendenz ist identisch. In 40 m Tiefe werden nur noch ca. 50 % der Leistung an der Wasseroberfläche erreicht.

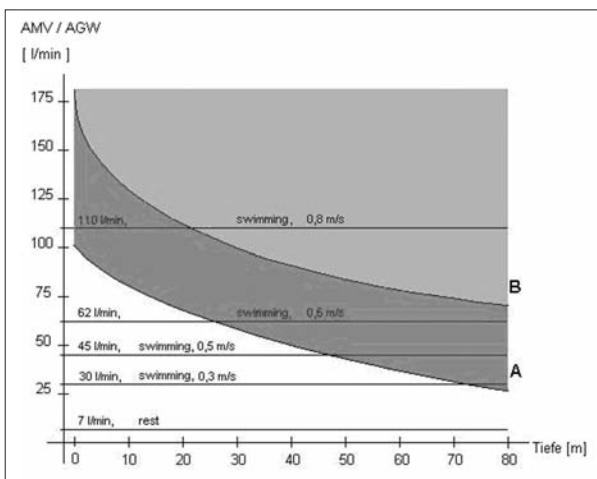
Eigene Messungen mit trainierten (Marine-)Tauern zeigten einen vergleichbaren Verlauf für den AGW:

Wasseroberfläche	40 m Tiefe	
freie Atmung	Atmung über Atemregler	Atemregler
$143 \pm 30 \text{ l/min} = 100\%$	98 %	40 %

Das sind in 40 m Tiefe nochmals 10 %-Punkte weniger als in der AGW-Kurve A (Abb. 2) ohne Atemgerät.

Nun kann eingewandt werden, dass eine Ventilation am AGW nur viel kürzer zu realisieren ist, als es die Atmung in einer Notsituation erfordert. Das ist leider richtig, denn eine längere / minutenlange Ventilation ist noch kleiner! Da aber bessere Daten meines Wissens nicht verfügbar sind, wird im Folgenden der AGW als Limit für die in dieser Situation mögliche Belastungsspitze genutzt.

Legen wir Abb. 1 und Abb. 2 übereinander (Abb. 3) wird deutlich, dass begrenzt durch die Atmung, mit zunehmender Tiefe immer kleinere physische Leistungen erbracht werden können. Anders formuliert: Belastungen im Bereich nahe / oberhalb der Kurven führen zu ungenügendem Gasaustausch,  $CO_2$ -Anreicherung, Atemnot, Panik und letztlich auch zum Unfall, wenn der Rückzug in geringere Tiefen nicht rechtzeitig möglich ist.



**Abb. 3:** Begrenzung der Leistung durch die Dichte der Atemluft. Die Abbildung ergibt sich aus der Überlagerung von Abb. 1 und Abb. 2. Oberhalb der Kurve A (schlecht Trainierte: [7]) oder der Kurve B (gut Trainierte: [6]) wird der AGW in der jeweiligen Tiefe überschritten. Beispiel: In einer Tiefe von 40 m ist Schwimmen mit einer Geschwindigkeit von 0,6 m/s unabhängig vom Trainingszustand nicht mehr möglich.

Ein ausreichender Atemgasaustausch im Bereich oberhalb der AGW-Kurven ist nicht möglich. Wird aber eine hohe Leistung in diesem Bereich erforderlich, dann

- steigt der CO<sub>2</sub>-Spiegel im Blut,
- signalisiert das Atemzentrum Atemnot,
- verhindern die hohen Atemwiderstände eine tiefere, d.h. wirksamere Atmung,
- wird die Atmung flacher, schneller, der Gasaus tausch in der Lunge wird noch schlechter,
- meint der Taucher zu ersticken, gerät in Panik, reißt sich das Mundstück aus dem Mund und ertrinkt.

Insbesondere Taucher mit kleinerem AGW (A) – z.B. schlechter Trainingszustand, Erkältung, Raucher – sind früher gefährdet. Besser trainierte, leistungsfähigere Taucher (B), erreichen ihre Grenze in etwas größerer Tiefe.

**Tab. 1:** Bestimmung des individuellen Atemgrenzwertes

Jeder Taucher kann relativ einfach und hinreichend genau ermitteln, in welchem Leistungs-Bereich er sich befindet:  
er atme (sitzend!) aus seinem Tauchgerät für 15 s so tief und schnell er vermag und errechne die geatmete Luftmenge:

$$\text{AGW [l/min]} = \text{Flaschenvolumen [l]} \times \text{Druckabfall [bar]} \times 4.$$

Ein guter physischer Trainingszustand, eine größere Ventilationsfähigkeit ist also eine direkte Sicherheitsreserve.

Taucher haben berichtet, dass die Verringerung der körperlichen Belastung allein nicht ausreicht, sobald die durch mangelnde CO<sub>2</sub>-Abgabe signalierte Atemnot deutlich manifestiert ist. Nur schnellste Verbesserung der Ventilation (geringere Tiefe = geringere Gasdichte) kann Abhilfe schaffen, andernfalls sind Panik, eventuell Notaufstieg oder fataler Verlauf programmiert.

Hinweise aus Essoufflement-Beschreibungen – ruhig atmen, tief ausatmen (um besser CO<sub>2</sub> abzutreten) sind in dieser Situation völlig unzureichend. Hier irrt auch Pacher [2] damit, dass die Taucher angesichts der Liftsysteme verlernt haben, mit Flossenkleidung aufwärts zu tauchen. In dieser Situation ist eine zusätzliche physische Belastung, d.h. Auftauchen mit Flossenkleidung schlicht nicht mehr zu realisieren!

### Schlussfolgerung

Das Tauchen in größere Tiefen muss so zweckmäßig organisiert und gesichert werden, dass

- bei größer werdender Tiefe nur kleinere physische Leistung erbracht werden muss,
- die Taucher gesund, fit und physisch gut trainiert sind,
- das Tauchgerät geringen Atemwiderstand, geringe Atemarbeit und hohe Atemgas-Lieferleistung gewährleistet,
- das Atemgerät kaltwassergeeignet ist, und Verhaltensmaßnahmen bei Einfrieren getroffen sind,
- Taucheranzug oder Tarierweste ausreichenden Auftrieb bis zur Maximaltiefe gewährleisten,
- die Ausrüstung beherrscht wird,
- bei ersten Anzeichen von Atemproblemen auf geringere Tiefe aufgetaucht wird, wodurch die Ventilation verbessert wird (nur ruhiger atmen und betont tief ausatmen (s. Essoufflement) reicht nicht aus!),
- das Auftauchen ohne zusätzliche Flossenarbeit erfolgen kann, also durch Tariermittel oder Gewichtsabwurf.

Oder man verwendet ein Atemgas mit geringerer Dichte (Helium-Mix), oder man sucht große Tiefen überhaupt nicht auf.

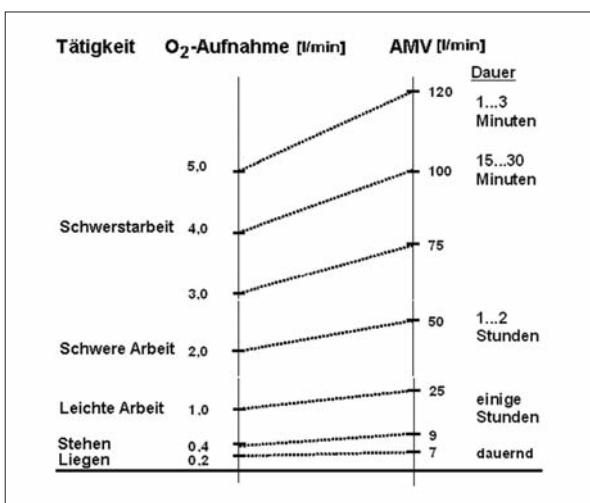
### Weitere physikalisch-physiologische und technische Faktoren

Der O<sub>2</sub>-Bedarf wird durch die aktuelle Leistung bestimmt und ist damit direkt abhängig von der physischen (und psychischen) Belastung. Die mögliche Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>) ist abhängig vom Trainingszustand und der Dauer der Belastung [8] (Tab. 2):

**Tab. 2:** Sauerstoffverbrauch ( $\text{VO}_2$ ) in Abhängigkeit von der Dauer der körperlichen Belastung.

$\text{VO}_2$ [l/min]	Dauer
0,25	dauernd
1	mehrere Stunden
2	1 - 2 h
4	15 - 30 min
5	1 - 2 min

Für die Aufnahme des jeweiligen  $\text{O}_2$ -Volumens ist ein 22- bis 25-mal größeres AMV erforderlich. Dieser Faktor ist nicht konstant und besonders bei körperlich Untrainierten ungünstiger (Abb. 4)!



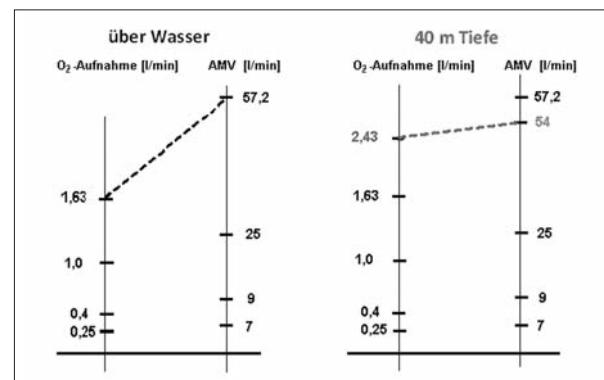
**Abb. 4:**  $\text{O}_2$ -Aufnahme und Atemminutenvolumen (AMV). Zwischen beiden Größen liegt ein Faktor von 22 bis 25.

Proportional zur Tauchtiefe wird die Atemluft dichter. Die erhöhte Dichte verursacht höhere Strömungswiderstände, steigende Atemarbeit, und sie verschlechtert den Gasaustausch in der Lunge. Bei gleichgroßer äußerer Leistung wirkt die erschwerete Atmung in der Tiefe wie eine schwerere körperliche Leistung (Abb. 5). Bei gleicher äußerer Leistung (150 W) ist die  $\text{O}_2$ -Aufnahme in der Tiefe etwa um die Hälfte erhöht. Das AMV ist dagegen um ca. 6 % erniedrigt und der  $\text{pCO}_2$  im arteriellen Kapillarblut steigt auf den hohen Wert von 61 mmHg (normal: 40 mmHg). Solche Leistungen dürfen allerdings nur von gut Trainierten erreicht werden.

### Atmung und Atemgerät –

#### Physikalisch-technische Gegebenheiten

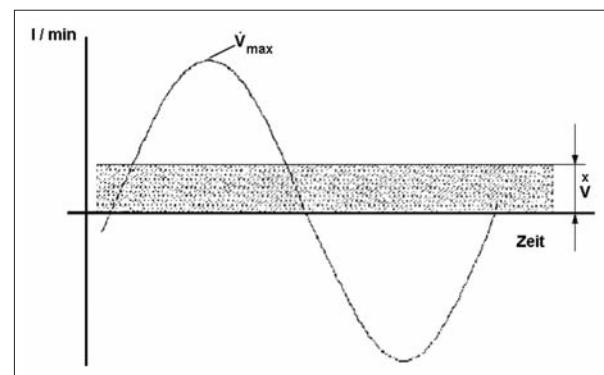
Auch bei gutem Wissen und Können des Tauchers sowie zweckmäßiger Organisation des Abstieges könnte in der aufgesuchten Tiefe Not- (Schwerst-) Arbeit – z.B. für Rettungsmaßnahmen – verrichtet werden müssen. Die Leistung des Atemgerätes muss die Atemgasversorgung bis zum AGW bei ausreichend geringem Atemwiderstand gewährleisten. Ist das technisch nicht realisierbar, sind Einsatzbegrenzungen erforderlich.



**Abb. 5:**  $\text{O}_2$ -Aufnahme und Atemminutenvolumen (AMV) bei Ergometer-Belastung (= 150 W) bei atmosphärischem Druck (links) und in 40 m Tiefe (rechts). Der arterielle  $\text{pCO}_2$  beträgt an der Oberfläche ca. 40 mmHg. Er ist in 40 m Tiefe auf ca. 60 mmHg erhöht;  $n = 8$

**Gasmassedurchsatz (Luftlieferleistung).** Der Atemregler muss die Luftversorgung bis zum AGW bei ausreichend geringem Atemwiderstand gewährleisten. AGW und AMV sind Durchschnittswerte, für die Sicherstellung der Atmung als periodischem Vorgang sind jedoch die maximalen Momentwerte ausschlaggebend!

Der Atemregler hat demnach im Moment des stärksten Einatmens (Ausatmens) ein Volumen ( $V_{\max}$ ) zu fördern, das etwa dreimal größer als das durchschnittliche AMV ( $V_x$ ) ist (Faktor  $\pi$  bei angenommen sinusförmigem Verlauf der Atemkurve, Abb. 6).



**Abb. 6:** AMV-Durchschnitt (schraffiert) und maximale Momentwerte

Hinzu kommt, dass diese Gasmasse in der Tauchtiefe strömt.

Soll ein Atemregler bis 60 m Tiefe eingesetzt werden, muss er also bei Messung an der Wasseroberfläche eine Luftmenge =  $\text{AGW}_{60\text{m}} \times \pi \times \text{Pabs}_{60\text{m}} = 70 \times \pi \times 7 = 1540 \text{ l/min}$  am Atemanschluss liefern und durch den Ausatemweg abgeben können. Ventile und Luftwege müssen für diesen Durchsatz bemessen sein, wenn die Atmung nicht extrem behindert werden soll.

### Atemwiderstand (Einatem- / Ausatemdruck), Atemarbeit.

Zum Organismus-internen Widerstand gegen den Gasstrom bei der Atmung (elastische Widerstände des Brustkorbs und Lungengewebes, Strömungswiderstand in den Luftwegen, Deformationswiderstände der Lunge, Trägheitswiderstände der Gewebe- und Gasmassen) addiert sich der durch das Atemgerät verursachte äußere Widerstand. Dadurch wird der Energieaufwand der Atemmuskulatur zur Förderung des Atemvolumens vergrößert. Mit 'Atemwiderstand' oder 'Atemdruck' wird gemeinhin diejenige Druckdifferenz zum Umgebungsdruck bezeichnet, die das Atemgerät veranlasst, eine bestimmte Atemgasmenge zu fördern (Einatmung: relativer Unterdruck, Ausatmung: relativer Überdruck).

Die (externe) 'Atemarbeit' beziffert die zusätzlich durch die Atemmuskulatur aufzubringende Arbeit zur Förderung einer Atemgasmenge. Dieser Wert erlaubt damit eine gute Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Atemgerätes. Atemdruck und Atemarbeit sollten so klein wie möglich sein. Sie werden wesentlich durch die Konstruktion bestimmt, also durch die Ausführung der Ventile, Membranen, Federn und luftführenden Verbindungen.

Bei der Normung von Atemgeräten sollte von solchen physikalisch-physiologischen Anforderungen ausgegangen werden, die für den gesamten Einsatzbereich eine komfortable Atemgasversorgung erlauben (Luftliefermenge und Atemwiderstände / Atemarbeit). Da in Normungsgremien (DIN/EN) in der Regel die Vertreter der Hersteller überwiegen, sind die Ergebnisse natürlich auch Hersteller-freundlich.

Ein Vergleich der DIN/EN 250 (Atemgeräte - Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft-Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; 2000) mit den Anforderungen für die Prüfung von Atemreglern der US-Navy (1987) zeigt deutlich, dass letztere die physiologisch-technischen Anforderungen höher wertet (**Tab. 3**).

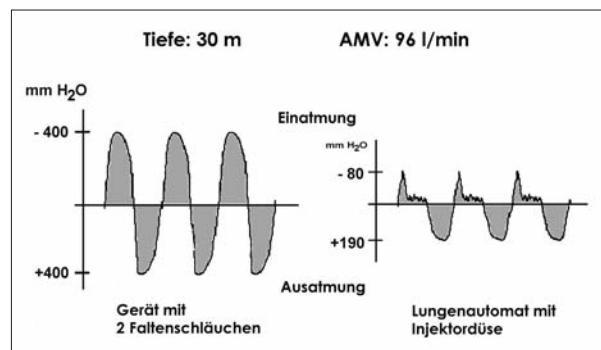
Bei einem AMV von 62,5 l/min in 50 m Tiefe sind bei zulässigen 3,0 J/l entsprechend 187,5 J/min oder 3,125 J/s aufzubringen. Das sind 3,125 Watt zusätzliche Atemleistung! Wer also 'tief' will, sollte sich nach einem Atemgerät umsehen, das leistungsfähiger ist!

Die Atemarbeit für die Einatmung aus Atemreglern ist durch Ausnutzung des Venturi-Effekts (Injektordüse, richtig eingestellt) zu verringern. Für die Ausatemseite entfällt diese Möglichkeit (**Abb. 7, rechts**).

**Tab. 3:** Prüfung von Atemreglern: DIN / EN 250 vs. US-Navy

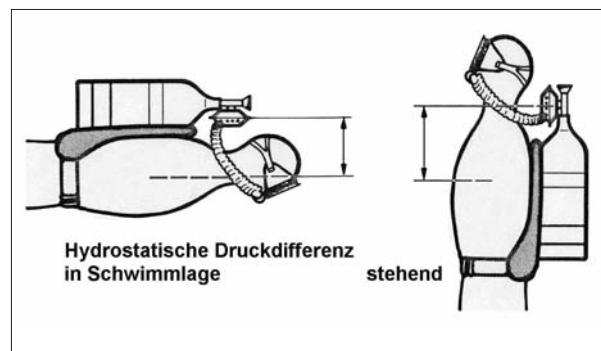
	DIN / EN 250	US-Navy
Testtiefe	50 m	60 m
AMV (50 m)	62,5 l	62,5 l
Kaltwassertest	4 - 2 °C	< 0 °C (Seewasser)
Testdauer	5 min	60 min
<b>Grenzwerte:</b>		
Atemarbeit	3,0 J/l	1,4 J/l
Einatemdruck	2,5 kPa (25 mbar)	1,5 kPa (15 mbar)
Ausatemdruck	2,5 kPa (25 mbar)	1,5 kPa (15 mbar)

Bei Kreislaufgeräten wirken insbesondere der Widerstand der Faltenschläuche (deshalb der große Querschnitt) und des Absorbers negativ.



**Abb. 7:** Atemwiderstände (Beispiele)

Zusätzlich wird noch die Tiefendifferenz Lunge – Atemregler (oder Atembeutel) wirksam. Sie lässt sich direkt in Millimetern Wassersäule feststellen (**Abb. 8**).



**Abb. 8:** Einfluss der Tiefendifferenz auf den Atemwiderstand. Hier: Zweischlauch-Atemregler

**Mitteldruck.** Atemregler werden heute ausschließlich zweistufig ausgeführt. Die erste Stufe reduziert den Vorratsluftdruck auf einen Zwischendruck (Arbeits-, Reduktor-, Mitteldruck), die zweite Stufe ist der eigentliche Atemregler.

Die in den Stufen arbeitenden Ventile sind für überkritische Druckverhältnisse (d.h. Überschall-Strömungsgeschwindigkeit) ausgelegt. Sie erreichen den vorgesehenen Gasmassedurchsatz nur, wenn der Druck vor der Düse des Ventils mindestens 1,9-mal größer als der Druck dahinter ist. ( $p_{\text{krit}} = p_n \times 0,528$  (für Luft))

Der Wert von 1,9 trifft für Luft und ideale Düsen zu, im Luftstrom des Atemreglers 'stört' aber noch das Schließelement, das Ventil. Daher tritt der Leistungsrückgang schon früher ein.

Wird beispielsweise mit einem Atemregler, dessen Mitteldruck auf 5 bar (6 bar abs.) eingestellt ist, an der Wasseroberfläche (1 bar abs.) geatmet, dann ist  $p_v / p_n = 6 : 1 >> 1,9$ .

Wird mit diesem Atemregler eine Tiefe von 40 m aufgesucht, wirkt natürlich der Druck der 40 m Wassersäule zusätzlich auf die Membrane (Kolben) der 1. Stufe, diese stellt hier einen Mitteldruck von  $6 + 4 = 10$  bar ein. Der Umgebungsdruck = Druck nach der Düse = beträgt 5 bar abs. Mit  $10 / 5 = 2$  ist die Leistungsgrenze erreicht, die Luftlieferleistung wird absinken und gleichzeitig der Atemwiderstand steigen, wenn ein höheres AMV gefordert wird.

Ebenso lässt sich auch der geringste Flaschendruck bestimmen, bis zu dem die erste Stufe noch leistungsfähig funktioniert.

**Totraum.** Zu dem Totraum der oberen Atemwege addiert sich durch das Volumen des Atemanschlusses bis zum Atemregler ein externer Totraum. Auswirkungen sind höhere CO<sub>2</sub>-Belastung und höhere Atemarbeit, welche beide durch eine vermehrte Ventilation kompensiert werden müssen. Besonders negativ sind hier Vollgesichtsmasken ohne eingebaute Mundstücke oder innere Atemmaske (Abb. 9).

**Kaltwassertauglichkeit/Einfrieren.** In kaltem Wasser steigt – insbesondere bei hoher Luftlieferleistung (Arbeit, größere Tiefe) – die Wahrscheinlichkeit der Vereisung des Atemreglers. Die Ursache wird üblicherweise dem Joule-Thompson-Effekt (Temperaturänderung des Druckgases bei Entspannung) zugeschrieben, die Abkühlung bei Luft kann 20-30 °C betragen. Vergessen wird dabei, dass es sich in den Ventilen des Atemreglers um gasdynamische Vorgänge handelt [12]. Im Gasstrom im Ventilbereich entstehen Druckstöße. In der Folge sinkt die Temperatur im Gas um bis zu 100 °C.

In DIN EN 250 wird eine Prüfung der Kaltwassertauglichkeit für Atemregler gefordert. Geprüft wird die Funktion in Frischwasser mit einer Temperatur von 4-2°C bei 6 bar Druck / 50 m Tiefe über die Dauer von 5 min. In der Praxis muss bei allen Atemreglern mit einer Vereisung im kalten Wasser gerechnet, und entsprechende Vorkehrungen müssen getroffen werden.

### Zusammenfassung

Die größere Dichte der Atemluft, insbesondere in Tiefen über 20 m, ist die physikalisch-physiologische Ursache für eine deutlich verringerte physische Leistungsfähigkeit der Taucher. Diese Gefahrenursachen sind vielen Tauchern nicht bekannt, und diese Gefahren werden in der Ausbildung nicht ausreichend berücksichtigt.

Taucherabstiege in diese Tiefenbereiche werden viel zu häufig ohne ausreichende Kondition und Übung, mit unzureichender Taucherausrüstung und ungenügender Sicherung durchgeführt. Das provoziert Unglücksfälle, deren eigentliche Ursachen gemeinhin nicht ausreichend erkannt werden.



**Abb. 9:** Atemarbeit und CO<sub>2</sub>-Belastung sind bei Vollgesichtsmasken erhöht, wenn diese keine eingebauten Mundstücke oder Atemmasken haben.

**Literatur**

1. www.tauchunfall.at, www.taucher.net
2. Pacher A. Tauchunfälle in alpinen Gewässern, CAISSON Nr. 4/2010
3. Taher A. Unfälle bei TEC-Tauchern auf dem Sinai, CAISSON Nr. 4/2010
4. Muth C-M. Essoufflement, Divemaster 2/1996
5. Miles. Medizinische Probleme und Fortschritte beim Tiefseetauchen, II. Marinemedizinisch-Wissenschaftliches Symposium in Kiel, 1968
6. Lanphier EH. & Camporesi EM. Respiration and exertion, in The Physiology and Medicine of Diving, W.B.Saunders Company Ltd
7. Alnor, Herget, Seusing: Drucklufterkrankungen, JA Barth, München 1964
8. Haux G. Tauchtechnik Bd.1, Springer, Berlin, Heidelberg, New-York 1969
9. Sergejew/Kurenkow: Physiologisch-hygienische Grundlagen der Klassifikation der Arbeit von Tauchern (russ.), V. Internat. Symposium über Schifffahrtsmedizin, Rostock, 1972
10. Zimmermann, Grossmann: Lungenautomaten für Tauchgeräte – Anforderungen und Leistungen, poseidon 10/11 1976
11. DIN EN 250 (2000); DIN 58640 (1979); TGL 30886 (1986)
12. Technische Strömungsmechanik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975

**Korrespondenzadresse**

Jörg Zimmermann  
Stargarder Straße 2, 18437 Stralsund  
j-j.zimmermann@t-online.de



## Druckkammerzentrum Traunstein

### ***Partnersuche / Anteilsverkauf / Übernahme der Leitung***

Im Rahmen der Nachfolgesuche für die verantwortliche Übernahme der ärztlichen Leitung unseres seit 1995 ununterbrochen erfolgreichen Druckkammerbetriebes in Cooperation mit dem Klinikum Traunstein bieten wir Interessenten die Übernahme der Mehrheitsanteile unserer Druckkammer-GbR an. Bei Fortführung des derzeitigen Einsatzes der hyperbaren Sauerstofftherapie finden Sie ein sehr interessantes, weit gefächertes Behandlungsspektrum, eine eingespielte Mannschaft und qualifizierte ärztliche Vertreter für den Bedarfsfall.

Kontakt: Heiden@t-online.de • Mobil: 0049-172-8366 350



## Gentner – Partner der Tauchprofis

<b>Standardwerk.</b>	<b>Leitlinie.</b>	<b>Management.</b>	<b>Rettungsplan Tauchunfall.</b>
<p>Ch. Klingmann K. Tetzlaff (Hrsg.)</p> <p><b>Moderne Tauchmedizin</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Handbuch für Tauchlehrer, Taucher und Ärzte</li> </ul> <p>2. vollständige überarbeitete Auflage 2012 ISBN 978-3-87247-744-6 Gebunden, 792 Seiten, fünffarbig € 65,- ; sFr 80,-</p>	<p>K. Tetzlaff – Ch. Klingmann C.-M. Muth – T. Piepho W. Welslau (Hrsg.)</p> <p><b>Checkliste Tauchtauglichkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Untersuchungsstandards und Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) und der Österreichischen Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin (ÖGTH)</li> </ul> <p>2. korrigierter Nachdruck 2012 ISBN 978-3-87247-681-4 Gebunden, 368 Seiten € 30,- ; sFr 37,-</p>	<p>Mirko Obermann Andreas Häckler Nicole Kiehaber (Hrsg.)</p> <p><b>Modernes Tauchbasenmanagement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Handbuch für Tauchschulen Tauchbasen nach ISO 24803</li> </ul> <p>1. Auflage 2012 ISBN 978-3-87247-732-3 Gebunden, 496 Seiten, vierfarbig € 49,- ; sFr 60,-</p>	<p>Hubertus Bartmann Claus-Martin Muth (Hrsg.)</p> <p><b>Notfallmanager Tauchunfall</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Praxishandbuch für Taucher Tauchmediziner Rettungsdienste</li> </ul> <p>4. vollst. überarbeitete Auflage 2012 ISBN 978-3-87247-746-0 Gebunden, Taschenbuchformat vierfarbig, 456 Seiten, Preis € 40,- ; sFr 50,-</p>

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



Gentner Verlag

Gentner Verlag • Buchservice Medizin  
Postfach 101742 • 70015 Stuttgart  
Tel. 0711/63672-857 • Fax 0711/63672-735  
buch@gentner.de • www.gentner.de (→ Buchshop Medizin) • www.tauchmed.com

MEHR  
INFORMATION  
UND ONLINE  
BESTELLEN:



## Kommentierte Literatur: Tauchen & HBO

### Scuba diving is not associated with high prevalence of headache: a cross-sectional study in men

R Di Fabio<sup>1</sup>, N Vanacore<sup>2</sup>, C Davassi<sup>1</sup>, M Serrao<sup>1</sup>, F Pierelli<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Medico-Surgical Sciences and Biotechnologies, 'Sapienza' University of Rome, Latina, Italy

<sup>2</sup> National Centre of Epidemiology, National Health Institute, Rome, Italy

<sup>3</sup> Istituto Neurologico Mediterraneo Neuromed IRCCS, Centre for the Study of Adaptive Disorder and Headache, Pozzilli, Italy

**Objective:** to study the prevalence of cephalgia in male divers.

**Background:** scuba divers work in stressing environments and have a high cerebrovascular risk, both conditions which are supposed to contribute to the genesis of cephalgia. However, no study assessed expressly the prevalence of cephalgia in divers, to date.

**Methods:** we enrolled 201 professional male scuba divers ( $41.0 \pm 7.2$  years) and controls ( $41.1 \pm 7.2$  years), and the risk ratio and its corresponding 95% confidence of suffering from cephalgia was calculated.

**Results:** we found that 16 % of divers and 22 % of matched controls were affected by cephalgia ( $p > .05$ ), accounting for a risk ratio of 0.71 (95 % ci: 0.47-1.07). Divers reported fewer attacks per month ( $1.8 \pm 0.7$ ,  $n = 32$ ) with regard to controls ( $2.5 \pm 1.8$ ,  $n = 45$ ) ( $P = .02$ ), but no differences concerning age at onset and severity were detected ( $P > .05$ ). Divers suffered from migraine, migraine with aura and tension headache as much as controls.

**Conclusion:** scuba diving, an intense physical activity characterized by cerebral micro-vascular distress, is not associated with cephalgia, as a whole, or migraine, tension headache or migraine with aura, more commonly than in a matched, non-diving, population. A longitudinal study may disclose if diving may act as a protective factor in the occurrence of crises of cephalgia.

**Keywords:** diving; migraine; aura; cephalgia; headache

### Scuba-Tauchen geht nicht mit häufigen Kopfschmerzen einher: eine Querschnittsstudie an Menschen

**Ziel der Studie:** Häufigkeit von Kopfschmerzen bei männlichen Tauchern studieren.

**Hintergrund:** Scuba-Taucher betätigen sich in anstrengender Umgebung und haben ein hohes zerebrovaskuläres Risiko. Beide Bedingungen könnten zur Entstehung von Kopfschmerzen beitragen. Bis heute gibt es keine Studie, welche sich ausdrücklich um die Häufigkeit von Kopfschmerzen bei Tauchern kümmert.

**Methoden:** 201 professionelle männliche Scuba-Taucher ( $41.0 \pm 7.2$  Jahre) und 201 Kontrollpersonen ( $41.1 \pm 7.2$  Jahre) wurden in die Studie eingeschlossen. Das relative Risiko und die zugehörigen 95 %-Konfidenz-Intervalle für das Erleiden von Kopfschmerzen wurden berechnet.

**Ergebnisse:** 16 % der Taucher und 22 % der gematchten Kontrollpersonen waren von Kopfschmerzen betroffen ( $p > 0.05$ ). Damit lag das relative Risiko bei 0,71 (95 %; CI: 0,47-1,07). Taucher berichteten über weniger Attacken pro Monat ( $1,8 \pm 0,7$ ,  $n=32$ ) im Vergleich zu Kontrollpersonen ( $2,5 \pm 1,8$ ,  $n=45$ ) ( $p=0,02$ ). Es wurden keine Unterschiede in Bezug auf das Alter und den Umfang berichtet ( $p > 0,05$ ). Taucher litten an Migräne, Migräne mit Aura und Spannungs-Kopfschmerz ebenso häufig wie die Kontrollpersonen.

**Schlussfolgerung:** Scuba-Tauchen, eine intensive körperliche Aktivität, welche durch zerebralen mikrovaskulären Distress charakterisiert wird, ist nicht stärker mit Kopfschmerzen insgesamt oder mit Migräne, Spannungs-Kopfschmerz oder Migräne mit Aura betroffen als bei nicht-tauchenden Kontrollpersonen. Eine longitudinale Studie könnte offen legen, ob das Tauchen als protektive Größe für die Häufigkeit von Kopfschmerzen fungiert.

**Schlüsselwörter:** Tauchen; Migräne; Aura; Kopfschmerzen; Zephalalgie

R Di Fabio, N Vanacore, C Davassi, M Serrao, F Pierelli  
Headache 2012 Mar;52(3):385-92

Übersetzung: JD Schipke

CAISSON 2012;27(2):12-17



## Einleitung

Heutzutage ist die Beziehung zwischen Scuba-Tauchen und Kopfschmerzen nicht vollkommen klar. 'Scuba-Tauchen' wird im Folgenden als 'Tauchen' bezeichnet. Nach einer Hypothese spielen zerebrale Mikro-Embolisierungen und stressige Bedingungen eine Rolle bei der Entstehung von Kopfschmerz [1-3].

Taucher haben ein erhöhtes zerebrovaskuläres Risiko, welches mit den hohen Umgebungsdrücken zusammenhängt, mit welchen sie es zu tun haben [4]. Taucher haben eine erhöhte Prävalenz und Größe eines Offenen Foramen ovale über die Zeit, und sie führen häufig Valsalva-Manöver durch [5,6]. Dadurch kommt es im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung zu einer größeren Belastung des Gehirns [7]. Darüber hinaus können Taucher als Folge einer zerebralen Embolisierung eine Dekompressions-Erkrankung (DCS) erleiden. Dabei handelt es sich um eine Erkrankung, welche durch Kopfschmerzen, Bewusstlosigkeit und fokale neurologische Defizite charakterisiert ist [8].

Berufstaucher führen außerdem physikalische Anstrengungen durch, zu denen das Anheben von Tariergeichten sowie Drucklufttauchgeräten gehört. Zusätzlich sind sie stressigen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Außerdem müssen sie sich vor möglichen physikalischen Gefährdungen, Geräteversagen und Ertrinken fürchten (Abb. 1).



**Abb. 1:** Stressige Bedingungen und zerebrale Mikro-Embolisierungen könnten bei der Zephalgie-Entstehung eine Rolle spielen.

Obwohl psycho-physikalische Belastung und Mikro-Embolisierung des Gehirns ein Substrat für das Entstehen von Kopfschmerzen bedeuten und nicht selten während des Tauchens vorkommen, hat die wissenschaftliche Literatur sich bisher im Wesentlichen nicht mit dem zerebrovaskulären Risiko von Tauchen beschäftigt [9-12]. Eine Studie an 911 weiblichen Apnoe-Tauchern in Korea berichtet eine Häufigkeit für den Spannungskopfschmerz von 21,4 % und eine Häufigkeit der

Migräne von 9,1 %. Eine Kontrollgruppe existierte in dieser Studie nicht [13].

In einer Studie, in welcher das Risiko für eine DCS im Vordergrund stand, berichteten 23 % der Taucher über Migräne oder chronische Kopfschmerzen. Bestimmte Kopfschmerz-Typen wurden allerdings nicht angegeben, und auch hier existierte keine Kontrollgruppe [8].

Bis heute existiert keine Studie über die Häufigkeit von Kopfschmerzen als Ganzes, Migräne, Spannungskopfschmerz und Migräne mit Aura als unabhängige nosologische Entitäten bei Berufstauchern und einer Gruppe von gematchten Kontrollpersonen.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass Kopfschmerzen bei beruflich tätigen Tauchern häufiger als bei den Kontrollpersonen auftreten würden.

## Methoden

Eine Querschnittsstudie wurde vom 1. März 2010 bis zum 28. Februar 2011 durchgeführt. Professionelle, männliche Scuba-Taucher ( $n=201$ ) ( $41 \pm 7,2$  Jahre; Taucherfahrung:  $11,0 \pm 8,4$  Jahre; Spannweite 1-33 Jahre;  $5,1 \pm 2,4$  Tauchgänge / Monat; Spannweite 1-15 Tauchgänge; Trainings-Tauchgänge / Monat:  $3,8 \pm 1,9$ ; Spannweite 0-14 Tauchgänge; Einsatz-Tauchgänge / Monat:  $1,3 \pm 1,1$ ; Spannweite 0-10 Tauchgänge; Tauchgänge auf Tiefen >30 m / Monat:  $1,4 \pm 1,3$ ; Spannweite 0-13 Tauchgänge). Bei den Tauchern handelte es sich um Mitglieder der italienischen Feuerwehr. Bei den gematchten Kontrollpersonen ( $41,1 \pm 7,2$  Jahre) handelte es sich um Verwandte von Patienten des Labors für Elektromyographie beim 'Policlinico Casilino' in Rom.

Der Neurologe, der die Diagnose durchgeführt hat, wusste nicht, ob es sich um einen Taucher oder um eine Kontrollperson handelte.

Bei der Datenerhebung wurden erfasst irgendwelche signifikanten Erkrankungen, welche die regelmäßige Einnahme von Medikamenten erforderte, kardiale Erkrankungen, systemischer Hochdruck, Diabetes, Asthma, andere neurologische Störungen, Rheuma, vorangegangene chirurgische Eingriffe am Kopf und traumatische Verletzungen. All diese Größen waren Gründe für einen Studien-Ausschluss. Angaben über tägliche Gewohnheiten (Rauchen, Alkohol und Kaffee) wurden ebenfalls erfasst.

Ein Ausschlusskriterium für die Kontrollgruppe bestand dann, wenn irgendeine Erfahrung mit Tauchen vorlag. Detaillierte Informationen über Beson-

derheiten des Kopfschmerzes (Krankheitsbeginn, Vorhandensein einer Photo-/Phonophobie, Aura, Episoden von Schwindel oder Erbrechen während der Anfälle, Häufigkeit und Dauer der Attacken, Qualität und Intensität des Schmerzes, Medikamenten-Verbrauch) wurden in Interviews mit Hilfe von strukturierten Fragebögen gesammelt [14]. Die Teilnehmer wurden dann entsprechend der internationalen Klassifikation von Kopfschmerzen (ICHD-II) klassifiziert [15]. Migräne wurde über MIDAS erfasst [16].

Alle Teilnehmer gaben ihre schriftliche Zustimmung zur Teilnahme an der Studie, welche durch das lokale Ethikkomitee genehmigt war.

## Ergebnisse

Es gab zwischen den beiden Gruppen im Hinblick auf Body-Maß-Index, Ausbildung, Alkohol- und Kaffee-Konsum keine Unterschiede. Die Taucher rauchten tendenziell weniger und hatten einen etwas geringeren Blutdruck ([Tab. 1](#)).

**Tab. 1:** Charakteristika der Taucher und der Kontrollperson

	Taucher n = 201	Kontrollen n = 201	p
Alter [Jahre]	41,0 ± 7,2	41,1 ± 7,2	n.s.
BMI	25 ± 2	25 ± 3	n.s.
Ausbildung [Jahre]	12,8 ± 1,6	12,6 ± 2,5	n.s.
systolischer Blutdruck [mmHg]	118,8 ± 5,6	120,2 ± 4,7	0,05
diastolischer Blutdruck [mmHg]	78,3 ± 4,3	79,4 ± 2,8	0,02
Raucher [n]	24	43	0,01
Zigaretten / Tag	1,0 ± 3,2	2,2 ± 5,0	0,04
Personen [n]	58	48	n.s.
Alkohol [ml / Tag]	70 ± 130	60 ± 110	n.s.
Personen [n]	173	176	n.s.
Kaffee / Tag	1,8 ± 1,1	2,0 ± 1,1	n.s.
n.s. = nicht signifikant			

Diejenigen Taucher mit Kopfschmerzen neigten dazu, weniger zu rauchen, und sie hatten einen niedrigeren systolischen und diastolischen Blutdruck als die Kontrollen ([Tab. 2](#)). Es ergab sich, dass 16 % der Taucher und 22 % der Kontrollen Probleme mit Kopfschmerzen hatten. Diese Zahlen ergaben ein relatives Risiko von 0,71 (95 % CI: 0,47-1,07). Darüber hinaus berichteten die Taucher mit Zephalalgie weniger Attacken pro Monat. Es ergaben sich aber keine Unterschiede im Hinblick auf das Alter bei Kopfschmerzbeginn, die MIDAS-Werte oder die Verwendung von Medikamenten ( $p>0,05$ ) ([Tab. 3](#)).

Der Umfang der Krisen war nicht durch die Anzahl, die Tauch-Charakteristika (oberflächlich oder  $> 30$  m), den Tauchtyp (Training oder Einsatz) oder durch die Tauchjahre beeinflusst ( $p>0,05$ ). Die logistische Regressionsanalyse zeigte zusätzlich, dass das Auftreten von Kopfschmerzen nicht durch das Rauchen oder den Blutdruck beeinflusst wurde ( $p>0,05$ ).

Die Teilnehmer mit Kopfschmerzen wurden einer der folgenden drei Untergruppen zugeordnet: Migräne, Spannungs-Kopfschmerz, Migräne mit Aura. Insbesondere war die Häufigkeit der Migräne zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich (Taucher: 4,5 % und Kontrollen: 8,0 %). Damit ergab sich ein relatives Risiko von 0,56 (95 %; CI: 0,25-1,24). Auch die Zusammensetzung der Gruppencharakteristika waren für die Taucher und die Kontrollen, die unter Migräne litten, nicht unterschiedlich ( $p>0,05$ ) ([Tab. 2](#)).

Die Häufigkeit der Migräne-Attacken wurde nicht beeinflusst durch die Zahl, die Charakteristika oder den Tauchtyp. Es gab allerdings eine tendenzielle Verminderung der Krisen mit zunehmendem Alter ( $r= -0,8$ ;  $p=0,06$ ) und mit der Taucherfahrung ( $r= -0,6$ ;  $p=0,09$ ).

Spannungs-Kopfschmerz wurde bei 10,0 % der Taucher und bei 13,5 % der Kontrollperson gefunden. Das ergab ein relatives Risiko von 0,74 (95 %; CI: 0,72-1,27). Die Taucher mit Spannungs-Kopfschmerz waren jünger als die Kontrollpersonen und rauchten tendenziell weniger ([Tab. 2](#)). Die logistische Analyse, welche das Alter und die Rauchgewohnheiten als mögliche Prädiktoren berücksichtigte, lieferte keine signifikanten Ergebnisse. Die klinischen Charakteristika des Spannungs-Kopfschmerzes waren in den beiden Gruppen vergleichbar ( $p>0,05$ ) ([Tab. 3](#)).

Bei den Tauchern hatten 1,5 % und bei den Kontrollen 1,0 % Migräne mit Aura. Das ergab ein relatives Risiko von 1,2 (95 %; CI: 0,5-2,5). Der Umfang und die klinischen Charakteristika innerhalb der beiden Gruppen waren gleichwertig ([Tab. 2 + 3](#)) ( $p>0,05$ ).

Eine Person entwickelte gelegentlich nach längeren Tauchgängen visuelle Auraanfälle ohne Migräne. Bei diesem Taucher wurde im Nachhinein ein Offenes Foramen ovale diagnostiziert; dieses wurde chirurgisch verschlossen. Dieser Taucher wurde in der Gruppe der Kontrollpersonen mit Migräne mit Aura nicht berücksichtigt.

Ein anderer Taucher, der nie Migräne hatte, berichtete von einer Episode einer visuellen Aura mit

**Tab. 2:** Charakteristika für Kopfschmerz, Migräne, Spannungs-Kopfschmerz, Migräne mit Aura und keine Kopfschmerzen.

	Kopfschmerzen *			Migräne			Spannungs-Kopfschmerz			Migräne mit Aura			keine Kopfschmerzen		
	Taucher n = 32	Kontrolle n = 45	p	Taucher n = 9	Kontrolle n = 16	p	Taucher n = 20	Kontrolle n = 27	p	Taucher n = 3	Kontrolle n = 2	p	Taucher n = 169	Kontrolle n = 156	p
Alter [Jahre]	41,9 ± 7,2	41,1 ± 7,2	n.s.	40,1 ± 8,1	42,8 ± 7,4	n.s.	38,2 ± 6,9	42,7 ± 5,9	0,02	42,7 ± 9,2	38,5 ± 0,7	n.s.	41,4 ± 7,1	40,8 ± 7,4	n.s.
BMI	25,1 ± 2,3	25,4 ± 3,6	n.s.	25 ± 3,1	26,6 ± 2	n.s.	25 ± 2,8	24,9 ± 3,1	n.s.	26,6 ± 1,8	28,2 ± 3	n.s.	25,1 ± 2,2	25,3 ± 3,7	n.s.
Ausbildung [Jahre]	12,8 ± 1,6	12,7 ± 2,5	n.s.	13,4 ± 1,3	12,8 ± 2,8	n.s.	12,7 ± 2,3	12,9 ± 2,2	n.s.	12,6 ± 4,5	17	n.s.	12,8 ± 1,4	12,6 ± 2,5	n.s.
sysstolischer Blutdruck [mmHg]	118,8 ± 5,6	120,2 ± 4,7	0,05	118,9 ± 3,3	121,3 ± 5	n.s.	119,5 ± 3,9	120 ± 3,9	n.s.	120	107 ± 3	n.s.	118,7 ± 6	120,3 ± 4,6	0,05
diastolischer Blutdruck [mmHg]	28,3 ± 4,3	79,4 ± 2,8	0,02	78,9 ± 3,3	77,5 ± 5,8	n.s.	79,5 ± 3,9	79,4 ± 2,9	n.s.	80	70	n.s.	78,1 ± 4,4	79,8 ± 1,9	< 0,01
Raucher [n]	4	9	n.s.	---	5	---	4	4	n.s.	3	2	n.s.	20	34	0,01
Zigaretten / Tag	6 ± 2,7	16,1 ± 3,3	< 0,01	---	16 ± 4	---	6 ± 2,7	16,2 ± 2,5	0,01	---	---	---	8,9 ± 5,6	9 ± 5,6	n.s.
Personen [n]	7	12	n.s.	1	5	n.s.	4	7	n.s.	2	---	---	51	36	n.s.
Alkohol [ml / Tag]	50 ± 100	110 ± 150	n.s.	200	240 ± 90	n.s.	200	230 ± 80	n.s.	200	---	---	260 ± 100	250 ± 90	n.s.
Personen [n]	30	41	n.s.	9	15	n.s.	18	25	n.s.	3	1	n.s.	143	135	n.s.
Kaffee/Tag	2,1 ± 0,7	2,5 ± 1,1	n.s.	2 ± 0,5	2,3 ± 0,8	n.s.	2,1 ± 0,8	2,6 ± 1,4	n.s.	2	2	n.s.	2,2 ± 0,9	2,3 ± 0,9	n.s.

\* Personen mit Migräne, Spannungs-Kopfschmerz und Migräne mit Aura wurden zusammengefasst

anschließender Migräne nach einem längeren Tauchgang. Bei ihm wurde im Nachhinein ein kleines Offenes Foramen ovale festgestellt. Eine Kontrollperson berichtete über seltene Anfälle einer trigeminalen Neuralgie. zwei Taucher und drei Kontrollpersonen mit Migräne hatten gelegentlich Spannungs-Kopfschmerz.

Darüber hinaus fanden wir keine Beziehung in der Häufigkeit irgendeiner Kopfschmerzform (Migräne, Spannungs-Kopfschmerz, Migräne mit Aura) oder den MIDAS-Werten mit dem Alter, dem BMI, dem Rauchverhalten, dem Kaffee- oder Alkoholkonsum bei den Tauchern und bei den Kontrollpersonen ( $p > 0,05$ ).

13 Taucher berichteten über mindestens eine Episode einer DCS mit Hautjucken, marmorierter Haut oder Gelenkschmerz (eine Person mit Migräne, zwei mit Spannungs-Kopfschmerz, zwei mit Migräne mit Aura, vier Taucher ohne Zephalalgie). Die DCS war nie mit einer Zephalalgie assoziiert.

## Diskussion

Eine Beziehung zwischen Kopfschmerzen und Tauchen wurde bereits früher vermutet [17]. Bisher besteht aber keine Untersuchung über die Prävalenz der Zephalalgie bei Scuba-Tauchern, die das Risiko für die Entstehung einer Zephalalgie im Vergleich zu einer Kontrollpopulation abschätzt.

Der Hauptbefund dieser Studie besteht darin, dass sich im Hinblick auf die Prävalenz von Kopfschmerzen keine Unterschiede zwischen einer Gruppe von männlichen Berufstauchern und Alters- und Geschlechtsgematchten Kontrollen. Taucher hatten kein erhöhtes Risiko, unter Zephalalgie zu leiden. Im Gegensatz zu der initialen Hypothese, nach welcher Tauchen eine auslösen könnte, hatten die Taucher tendenziell weniger Kopfschmerzen als die Kontrollpersonen.

Die Taucher berichteten über weniger Kopfschmerz-Krisen und Migränen pro Monat. Das spricht dafür, dass die Trigger bei Tauchern weniger intensiv sind als bei der allgemeinen Bevölkerung. In diesem Zusammenhang wird daran erinnert, dass Taucher wegen ihres Berufes 'gesund leben' müssen. Dazu gehören ein straffes Trainingsprogramm und periodisch stattfindende, medizinische Untersuchungen. In unserer Studiengruppe rauchten die Taucher tendenziell weniger und hatten

**Tab. 3:** Klinische Charakteristika von Kopfschmerz, Migräne, Spannungs-Kopfschmerz, Migräne mit Aura bei Tauchern und Kontrollpersonen.

	Kopfschmerzen *	Migräne	Spannungs-Kopfschmerz	Migräne mit Aura								
	Taucher n = 32	Kontrolle n = 45	Taucher n = 9	Kontrolle n = 16	p	Taucher n = 20	Kontrolle n = 27	p	Taucher n = 3	Kontrolle n = 2	p	
Beginn [Jahre]	28,4 ± 6,7	29,3 ± 5,8	n.s.	24,7 ± 6,1	27,1 ± 6,6	n.s.	31,5 ± 5,8	32,9 ± 5,0	n.s.	21,7 ± 2,9	22,6 ± 3,6	n.s.
Tauchqualifikation [Jahre]	29,3 ± 4,8	---	---	30,4 ± 5,1	---	---	29,1 ± 4,6	---	---	27,7 ± 7,4	---	---
MIDAS-Werte	1,9 ± 0,7	1,9 ± 0,7	n.s.	2,2 ± 0,4	2,3 ± 0,6	n.s.	1,9 ± 0,6	1,7 ± 0,6	n.s.	1,5 ± 0,7	1,5 ± 0,7	n.s.
Häufigkeit [Krisen / Monat]	1,8 ± 0,7	2,5 ± 1,8	0,02	1,8 ± 0,6	3,6 ± 1,9	0,01	1,8 ± 0,7	2,0 ± 1,4	n.s.	1 ± 1	1	n.s.
Fotophobie [n (%)]	7 (22)	10 (22)	0,02	7 (80)	12 (75)	n.s.	2 (10)	2 (7)	n.s.	1 (33)	1 (50)	n.s.
Phonophobie [n (%)]	5 (16)	15 (33)	n.s.	7 (80)	12 (75)	n.s.	2 (10)	2 (7)	n.s.	1 (33)	1 (50)	n.s.
Schwindeln (%)	4 (13)	12 (27)	n.s.	2 (22)	8 (50)	n.s.	1 (5)	2 (7)	n.s.	1 (33)	2 (100)	n.s.
Einseitiger Schmerz [n (%)]	10 (33)	17 (38)	n.s.	8 (89)	15 (93)	n.s.	1 (5)	1 (4)	n.s.	---	---	---
Pulsierende Schmerzen [n (%)]	9 (28)	15 (33)	n.s.	9 (100)	15 (93)	n.s.	---	---	n.s.	---	---	---
Verschlechterung bei Routineaktivitäten [n (%)]	11 (34)	18 (40)	n.s.	8 (89)	15 (93)	n.s.	---	1 (4)	---	3 (100)	2 (100)	n.s.
Medikamente [n (%)]	13 (41)	19 (42)	n.s.	6 (67)	12 (75)	n.s.	6 (30)	6 (23)	n.s.	1 (33)	1 (50)	n.s.

\* Personen mit Migräne, Spannungs-Kopfschmerz und Migräne mit Aura wurden zusammengefasst

einen geringfügig niedrigeren Blutdruck als die Nichttaucher. Beide Bedingungen können einen gewissen Einfluss auf Zephalalgie-Trigger [18-20]. Darüber hinaus wurde vor einiger Zeit darauf hingewiesen, dass körperliche Tätigkeit ein probates therapeutisches Mittel gegen Migräne darstellt [21].

Betrachtet man die einzelnen Teile der Zephalalgie, dann ergab sich, dass Taucher von Migräne, Spannungs-Kopfschmerz

und Migräne mit Aura nicht häufiger als die normale Bevölkerung betroffen ist.

Taucher mit Spannungs-Kopfschmerz waren jünger als ihre Vergleichspersonen. Die körperliche Anstrengung, um zu schwimmen und schweres Gerät zu tragen, die stressigen Umgebungsbedingungen, die psychologische Spannung verbunden mit besonderen Situationen wie Rettungsaktionen oder Leichenbergung sowie das Fahren auf Schiffen, auf welchen eine permanente Anpassung der Körperhaltung erforderlich ist, könnte diesen Befund teilweise erklären.

Obwohl in der vorliegenden Studie die Taucher mit Spannungs-Kopfschmerz weniger rauchten, sollte darauf hingewiesen werden, dass Rauchgewohnheiten nicht notwendigerweise mit Triggern von Spannungs-Kopfschmerzen zu tun haben [18].

Interessanterweise waren Scuba-Taucher nicht von Migräne mit Aura betroffen. Diese Erkrankung würde die Berufsausübung unmöglich machen und scheint durch eine zerebrale Mikro-EMBOLISIERUNG getriggert zu werden [2,22], welche als Folge eines Notaufstieges entstehen kann. Die niedrige Prävalenz von Migräne mit Aura und die seltenen Krisen bei der Tauchergruppe legen nahe, dass Migräne mit Aura keine übliche Erkrankung bei tauchenden Menschen ist.

Bei den weiteren Untersuchungen fand sich kein Zusammenhang zwischen der Taucherfahrung und der Krisenhäufigkeit oder der Schwere der Zephalalgie. Dieser Befund legt nahe, dass das Tauchen Kopfschmerzen nicht triggert. Im Sinne einer Bestätigung fanden sich bei den Tauchern nur zwei Personen, die über seltene Migräne-Episoden nach dem Tauchgang berichteten. Sieben Taucher, die üblicherweise nicht unter Migräne litten, berichteten über seltene Fälle einer 'Kopfspannung' früh nach tiefen Tauchgängen. Sie rechneten diese Zephalalgie-Episoden einer unsachgemäßen Wartung der Atemregler zu.

22 von 32 (63 %) der Taucher mit einer Zephalalgie, neun von neun (100 %) mit Migräne, drei von drei (100 %) mit Migräne mit Aura und 13 von 20 (65 %) mit Spannungs-Kopfschmerz hatten bereits Kopfschmerzen, bevor sie Berufstaucher wurden.



Nichtsdestoweniger spielten die Taucherfahrung und das Alter bei der Abnahme der Migräne-Attacken bei den Tauchern eine Rolle. Bei dieser Überlegung sollte auch berücksichtigt werden, dass junge Taucher mit häufigen Migräne-Anfällen möglicherweise vom Tauchen ausgeschlossen wurden und damit einen Auswahl-Bias verursachten. Andererseits wurde auf der Basis der medizinischen Unterlagen der Feuerwehr innerhalb der letzten zehn Jahre niemand wegen ungewöhnlicher häufiger Migräne-Krisen vom Tauchen ausgeschlossen. Andererseits bedeutet die Abwesenheit einer Zephalalgie keine Voraussetzung, um ein professioneller Taucher zu werden.

### Schlussfolgerung

Tauchen, eine intensive körperliche Aktivität, welche durch einen zerebralen mikrovaskulären Distress charakterisiert ist, ist nicht häufiger mit Zephalalgie als Ganzem oder mit Migräne, Spannungs-Kopfschmerz oder Migräne mit Aura als unabhängiger nosologischer Entität assoziiert als bei einer gematchten, nicht-tauchenden Kontrollgruppe.

Mit einer longitudinalen Studie könnte man eventuell beschreiben, ob Tauchen ein protektiver Faktor für das Auftreten von Migräne ist und umgekehrt, ob es einen Risikofaktor für die Entwicklung von Spannungs-Kopfschmerz im jüngeren Alter darstellt.

### Lesenswerte Literatur

1. Martin PR. Managing headache triggers: Think 'coping' not 'avoidance.' *Cephalalgia* 2010;30:634-637
2. Nozari A, Dilekoy E, Sukhotinsky I, et al. Microemboli may link spreading depression, migraine aura, and patent foramen ovale. *Ann Neurol* 2010;67:221-229
3. Chen Y. Advances in the pathophysiology of tension-type headache: From stress to central sensitization. *Curr Pain Headache Rep* 2009;13:484-494
4. Wilmshurst P. Brain damage in divers. *BMJ* 1997; 314:689-690
5. Balestra C, Germonpré P, Marroni A. Intrathoracic pressure changes after Valsalva strain and other maneuvers: Implications for divers with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med* 1998;25:171-174
6. Germonpre P, Hastir F, Dendale P, Marroni A, Nguyen AF, Balestra C. Evidence for increasing patency of the foramen ovale in divers. *Am J Cardiol* 2005; 95:912-915
7. Knauth M, Ries S, Pohmann S, et al. Cohort study of multiple brain lesions in sport divers: Role of a patent foramen ovale. *BMJ* 1997;314:701-705
8. Torti SR, Billinger M, Schwerzmann M, et al. Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale. *Eur Heart J* 2004;25:1014-1020
9. Schwerzmann M, Seiler C, Lipp E, et al. Relation between directly detected patent foramen ovale and ischemic brain lesions in sport divers. *Ann Intern Med* 2001;134:21-24

10. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet* 2011;377:153-164
11. Wilmshurst PT, Nightingale S, Walsh KP, Morrison WL. Effect on migraine of closure of cardiac right-to-left shunts to prevent recurrence of decompression illness or stroke or for haemodynamic reasons. *Lancet* 2000;356:1648-1651
12. Evans RW, Wilmshurst P, Nightingale S. Is cardiac evaluation for a possible right-to-left shunt indicated in a scuba diver with migraine with aura? *Headache* 2003;43:294-295
13. Choi JC, Lee JS, Kang SY, Kang JH, Bae JM. Chronic daily headache with analgesics overuse in professional women breath-hold divers. *Headache* 2008; 48: 1037-1043
14. Barbanti P, Fabbrini G, Aurilia C, Vanacore N, Crucu G. A case-control study on excessive daytime sleepiness in episodic migraine. *Cephalgia* 2007; 27:1115-1119
15. Headache Classification Subcommittee of the International Headache Society. The international Classification of Headache Disorders: 2nd Edition. *Cephalgia* 2004;24:9-160
16. Stewart WF, Lipton RB, Whyte J, et al. An international study to assess reliability of the Migraine Disability Assessment (MIDAS) score. *Neurology* 1999; 53:988-994
17. Cheshire WP. Headache and facial pain in scuba divers. *Curr Pain Headache Rep* 2004;8:315-320
18. López-Mesonero L, Márquez S, Parra P, Gámez-Leyva G, Muñoz P, Pascual J. Smoking as a precipitating factor for migraine: A survey in medical students. *J Headache Pain* 2009;10:101-103
19. Mancia G, Rosei FA, Ambrosioni E, et al. Hypertension and migraine comorbidity: Prevalence and risk of cerebrovascular events: Evidence from a large, multicenter, cross-sectional survey in Italy (MIRACLES study). *J Hypertens* 2011;29:309-318
20. Spierings EL, Ranke AH, Honkoop PC. Precipitating and aggravating factors of migraine versus tension-type headache. *Headache* 2001;41:554-558
21. Darabaneanu S, Overath CH, Rubin D, et al. Aerobic exercise as a therapy option for migraine: A pilot study. *Int J Sports Med* 2011;32:455-460
22. Wahl A, Praz F, Tai T, et al. Improvement of migraine headaches after percutaneous closure of patent foramen ovale for secondary prevention of paradoxical embolism. *Heart* 2010;96:967-973

### Korrespondenzadresse

R Di Fabio

*Department of Medico-Surgical Sciences and*

*Biotechnologies*

*'Sapienza' University of Rome*

*Via Francesco Fuggiana 34*

*Latina 00041, Italy*

*rodifa@gmail.com*

## Ultrasound in diving and hyperbaric medicine

IC Gawthrope

Ultrasound is a safe and effective imaging modality, the use of which is increasing exponentially in many areas of clinical medicine. In this article, we present what is, to our knowledge, the first in-chamber use of an ultrasound machine. We discuss the challenges this presented, how they were addressed and explore the possible clinical applications that in-chamber ultrasound may deliver in hyperbaric medicine.

**Keywords:** Ultra sound; hyperbaric medicine; equipment; review

### Ultraschall beim Tauchen und bei der Hyperbaren Medizin

Ultraschall ist eine sichere und effiziente, bildgebende Methode, die exponentiell zunehmend in vielen Bereichen der klinischen Medizin verwendet wird. In diesem Beitrag wird, vermutlich das erste Mal, die Verwendung von Ultraschall in einer Druckkammer beschrieben. Wir diskutieren die damit verbundenen Herausforderungen und auch, wie damit umgegangen wurde. Zusätzlich werden mögliche klinische Anwendungen diskutiert, welche sich möglicherweise durch Ultraschall in Druckkammern für die hyperbare Medizin eignen könnten.

**Schlüsselwörter:** Ultraschall; hyperbare Medizin; Ausrüstung; Übersichtsarbeit

Kommentar: JD Schipke

#### Einleitung

Die sich rapide entwickelnde Technologie führte zur Entwicklung von Ultraschall-Geräten, die preiswert und kompakt sind, und die qualitativ hochwertige Bilder liefern. Ultraschall ist ein sicheres, effektives, dynamisches und wiederholbares Verfahren für die Bildgebung. Es kann am Krankenbett durchgeführt werden und ist nicht mit ionisierenden Strahlen verbunden. Die Kombination dieser Faktoren hat dazu geführt, dass Ultraschall zunehmend in nahezu allen Bereichen der Medizin verbreitet ist.

'Point-of-Care'-Ultraschall ist definiert als ein Ultraschall, welcher am Krankenbett angewendet und interpretiert wird. Dieses Verfahren führte zu dem Begriff von 'Ultraschall-Stethoskop' [1]. Die Ultraschall-Ausbildung für nicht-bildgebende Fachbereiche ist relativ weit fortgeschritten, und es gibt für viele Fachkollegen Leitlinien [2]. Ultraschall ist inzwischen in den Lehrplan für viele Facharzt Weiterbildungspläne enthalten, und es ist geplant, Ultraschall in vielen Zentren in den USA, UK und Australien in das Undergraduate-Training aufzunehmen [3]. Einige amerikanische medizinische Fakultäten haben sogar damit begonnen, Studenten mit tragbaren Ultraschall-Geräten für die Anwendung der klinischen Rotation zu versehen [4].

Die formale Rolle des Point-of-Care-Ultraschalles im Bereich der hyperbaren Medizin muss noch etabliert werden. Wir sehen jedoch sowohl für klinische als auch für forscherrische Zwecke eine Reihe von Möglichkeiten. Zur Erfassung von physiologischen Parametern wurden bereits Ultraschall-Transducer über die Medikamenten-Schleuse in die hyperbare Kammer eingeführt [5-7]. Nach unserer Kenntnis wurde jedoch über ein Ultraschall-Scanning mit einem Gerät innerhalb der Kammer bisher nicht berichtet.

#### Mögliche Anwendungen von Ultraschall in der Hyperbaren Medizin

Von einem raschen Zugang zu einem Ultraschall-Gerät innerhalb der Überdruckkammer können Patienten verschiedentlich profitieren:

**Pneumothorax.** Das Auffinden eines Pneumothorax mit Ultraschall ist in der Notfallmedizin gut etabliert [8]. Taucher mit einer zerebralen, arteriellen Gasembolie (CAGE) haben per definitionem ein pulmonales Barotrauma, und sie unterliegen einem erhöhten Risiko, einen Pneumothorax zu entwickeln. Sollte das während einer hyperbaren Behandlung vorkommen und während des Aufstieges unentdeckt bleiben, dann wären die Konsequenzen möglicherweise katastrophal. Bei einer Routine-CAGE-Behandlung befindet sich der Patient üblicherweise in Rückenlage. Zum Auffinden eines Pneumothorax verfügt das Röntgenverfahren über eine Sensitivität zwischen 28 und 75 %. Im Gegensatz dazu hat ein pulmonaler Ultraschall – selbst mit wenig Erfahrung – eine Sensitivität

IC Gawthrope  
Diving Hyperb Med 2012;42(1):36-9

CAISSON 2012;27(2):18-22



zwischen 86 und 98 % [9,10]. Das Fehlen von Lung-Sliding, von Kometen-Schweif-Fehlern, und das Vorliegen eines Kontaktpunktes verstärken die Diagnose, die innerhalb von 2-3 min erfolgreich zu Ende gebracht werden kann [11].

Ein Pneumothorax wird über die erhöhte Resonanz bei Perkussion und verminderten Atemgeräuschen an der betroffenen Seite bestimmt. Das frühe Auffinden innerhalb einer geräuschvollen Kammer kann sehr schwer sein, und die Entscheidung für die Verwendung einer Nadel ist ebenfalls schwer, wenn keine überzeugende Evidenz für das Vorhandensein eines Pneumothorax vorliegt. Mit Hilfe eines Ultraschall-Gerätes innerhalb der Kammer ließe sich ein supiner Pneumothorax vor der Kompression feststellen. Sollte sich ein Pneumothorax unter Druck entwickelt haben, dann ließe sich bei Indikation eine Thorakozentese durchführen. Kliniker hätten mit dem In-Kammer-Ultraschall auch die Möglichkeit, andere Diagnosen zu verfolgen, nachdem ein Pneumothorax ausgeschlossen wurde.

**Notfall.** Notfall-Patienten in einer Kammer bedeuten für den hyperbaren Arzt einzigartige Probleme. Eine Reihe von hyperbaren Einrichtungen führen täglich HBO-Behandlungen von Intensiv-Patienten durch. In-Kammer-Ultraschall liefert eine sinnvolle Möglichkeit für einen weiten Bereich von Notfall-Anwendungen. Die pulmonale Ultrasonographie lieferte korrektere Ergebnisse als die Auskultation oder die Thorax-Radiographie, wenn es sich um das Auffinden eines Pneumothorax, eines Pleuraergusses, eine Konsolidierung oder das alveolare, interstitielle Syndrom handelt [12]. Die Echokardiographie am Krankenbett ermöglicht die einfache Erfassung der kardialen Funktion, und so erlebt die Echokardiographie im Rahmen der Intensivmedizin einen Boom [13]. Die angemessene intravaskuläre Füllung kann genau erfasst werden, indem der Durchmesser der unteren V. cava (IVC) und seine respiratorischen Veränderungen visualisiert werden [14]. Darüber hinaus lassen sich auch Änderungen des IVC-Parameters benutzen, um die Reaktion einer Volumengabe abzuschätzen. Ultraschall ist zum Standard für die prozedurale Anleitung und zur Abschätzung der richtigen Lage von intravaskulären Kathetern geworden.

**Dekompressions-Erkrankung.** Der Nutzen von Ultraschall für die Messung von intravaskulären Bläschen ist gut dokumentiert [15-18]. Die Echokardiographie hat sich zu einer starken Alternative gegenüber dem traditionellen, auralen Doppler für die Erfassung des Dekompressions-Stresses erwiesen [15-17]. Inzwischen existieren Vergleiche zwischen Bläschen-Skalen (aurale Bläscherfassung) und visueller, echokardiographischer Bläschen-

erfassung. An derartigen Vergleichen wird weiter gearbeitet [18]. Nach Studienlage ist der Ultraschall einfacher zu lernen und besser reproduzierbar als der aurale Doppler [15,16]. Die Verwendung von In-Kammer-Ultraschall könnte zum besseren Verständnis der Bläschenbildung und -auflösung während der Behandlung beitragen.

**Forschung.** In-Kammer-Ultraschall ist ein hervorragendes Instrument, um weitere Informationen über verschiedene physiologische Größen innerhalb der hyperbaren Umgebung zu erhalten. Wenn die Information innerhalb der Kammer vorliegt, werden gewisse Schwierigkeiten umgangen. Diese entstehen dann, wenn Ultraschall-Aufnehmer durch Schleusen in die Kammer hinein geführt werden müssen, und wenn die Analyse von außerhalb der Kammer betrachteten Bilder von einer zweiten Person in die Kammer hinein berichtet werden muss [6,7].

### Auswahl und Test eines Ultraschall-Gerätes

Wir suchten nach einem transportablen Ultraschall-Gerät mit einer guten Bildqualität. Das Gerät sollte drucktauglich sein, und es sollten eine Reihe verschiedener Transducer für die Echokardiographie, die abdominale sowie die vaskuläre Bildgebung vorhanden sein. Mit Hilfe des Biomedizinischen Dienstes am Fremantle Krankenhaus bestimmten wir die Dinge, welche vermutlich die größten Probleme darstellen würden. Es fanden sich:

- elektrische/Energieversorgung,
- Brandgefahr,
- Schaden durch Druck oder Mechanik.

Zusammen mit unseren biomedizinischen Kollegen kontaktierten wir eine Reihe von Ultraschall-Geräte-Vertreibern und diskutierten mit diesen die Möglichkeit, die Geräte unter Druck zu testen.

**Energieversorgung.** Für das Testen und die Modifikationen von elektrischer Ausrüstung für die Nutzung in einer hyperbaren Umgebung gibt es wenig Anleitungen. Es gibt Übersichtsartikel über die Verwendung von medizinischen Geräten unter erhöhtem Druck, und es existieren grundsätzliche Sicherheitsprinzipien und Leitlinien [19-22]. In Australien gibt es aber keine Standards für die Verwendung von Ausrüstung unter hohem Druck in Sauerstoff-angereicherter Umgebung. Das American-National-Fire-Protection-Association-Dokument NFPA 53 enthält eine Empfehlung zu Materialien, zur Ausrüstung und zu Systemen, welche in Sauerstoff-angereicherter Atmosphäre verwendet werden, und es existieren allgemeine Empfehlungen des European Committee for Standardisation [23,24]. Weil es keine australischen Standards gab, verwendete der Biomedizinische Service aus

Fremantle diese Empfehlungen als Basis für das Testen.

Heutige Ultraschall-Geräte haben die Abmessungen von Laptops und sind mit einer Lithium-haltigen Batterie im Tandem mit einer 240-V-Versorgung ausgerüstet. Lithium-Batterien überhitzen sich bei erhöhtem Druck. Daher haben sie den Ruf, für Druckkammern unter Druck ungeeignet zu sein. Unsere In-Kammer-Energieversorgung besteht aus einem gefilterten Gleichstrom mit einer Spannung von 12 oder 24 V. Von allen verfügbaren Geräten testeten wir lediglich eines: Logiq e™; GE Healthcare. Dieses Gerät konnte als einziges mit unserem 24-V-Anschluss arbeiten.

Es wurde beschlossen, für die In-Kammer-Verwendung die internen Batterien zu entfernen und das Laptop mit dem 24-V-Anschluss zu verbinden. Bei dem Wechsel des von der Firma gelieferten Gleichrichters für die direkte 24-V-Versorgung geht die Erdung verloren. Das wurde als eine Gefährdung betrachtet, durch welche es zu einem elektrischen Schock oder zu einer Funkenbildung und Feuer kommen könnte. Eine schnelle Keramik-Sicherung wurde daher in das Kabel installiert.



**Abb. 1:** Ultraschall-System in Laptop-Ausführung. Das gesamte System enthält keine Elemente, in denen sich Druckdifferenzen entwickeln könnten. Rechts im Bild eine von mehreren Sonden. Für die Anwendung in einer Kammer mit Überdruck wurde eine Reihe von Modifikationen nötig.

**Brandgefahr.** Feuer und Funkenbildungs-Risiko sind die gefährlichsten und wahrscheinlichsten Gefährdungen in einer Überdruckkammer. Um dieses Risiko zu vermeiden, muss die Temperatur aller Komponenten niedrig gehalten werden, und zusätzlich muss die Ausrüstung sauber, staubfrei und gut ventiliert sein. Die NFPA-Leitlinien legen fest, dass die maximale Oberflächentemperatur irgend-einer Komponente innerhalb der Kammer 85 °C nicht übersteigen darf. Bei der Registrierung der

Temperatur wurden von uns etwa 100 Messungen durchgeführt. Sie ergaben, dass sich die CPU am schnellsten erwärmt. Die maximale Temperatur betrug 64 °C.

Beim Betreiben des Systems mit 24-V-Gleichstrom floss ein Strom von 2,13 A ohne Sonde und 2,5 A mit Sonde. Die NFPA-Vorgaben erlauben für In-Kammer-Geräte maximal 48 W. Mit den oben angegebenen Zahlen ergibt sich eine Leistung von 60 W. Das sind 12 W mehr als empfohlen. Nach eingehenden Überlegungen und mit funkenfreien Steckern war der Biomedizinische Dienst zuver-sichtlich, dass bei einer maximalen Oberflächentemperatur von nur 64 °C das System bei Druck sicher laufen würde.

Staub kann als brennbares Agens agieren. Also muss potentiell gefährliche Ausrüstung innerhalb der Kammer staubfrei bleiben. Daher wurde ein Plan entwickelt, nach welchem die Ultraschall-Konsole sauber und staubfrei gehalten werden sollte.

**Risiko durch Druck-/mechanische Schäden.** Das Logiq e™ enthält keine versiegelten Komponen-ten, an denen sich Druckdifferenzen bilden könnten. Das Haupt-Chassis enthält zwei Lüftungs-pfade, welche zu beiden Seiten des Gerätes füh-ren. Die Ultraschall-Transducer sind vollkommen versiegelt, wodurch es grundsätzlich zu einem Pro-blem durch Druckdifferenzen kommen könnte. Aber diese Transducer wurden bereits früher ein-gesetzt, nachdem sie durch die Medikamenten-Schleuse in die Kammern hinein geführt waren [5-7].

**Ultraschall-System in der Kammer.** Nach Berücksichtigung aller ernsthaften Bedenken außerhalb der Kammer erfolgte die Übernahme des Ultraschall-Gerätes in die Kammer in einzelnen Schritten.

**Ultraschall-Transducer:** Die Ultraschall-Transducer mit ihren piezoelektrischen Kristallen wurden zunächst allein in der Kammer getestet. Die Bild-qualität und die Integrität der Kristalle wurden in normobarer Umgebung geprüft, nachdem die Transducer vorher mit Drücken bis zu 4,0 bar ge-testet worden waren.

**Ultraschall-Gerät:** Nach den notwendigen Modifi-kationen wurde das Laptop allein für Untersuchun-gen in der Kammer freigegeben. Die internen Bat-terien wurden entfernt und das Ultraschall-Gerät an die 24-V-Gleichstromversorgung innerhalb der Kammer angeschlossen. Der Transducer wurde an ein Phantom angeschlossen, um ein Bild zu erzeu-gen, welches sich durch ein Kammerfenster be-trachten ließ. Die Temperaturnessungen wurden



während der unbemannten Versuche innerhalb der Kammer weitergeführt. Die maximalen Temperaturen überschritten die vorher gemessenen 64 °C nicht. Es ergaben sich keine unerwarteten Fragestellungen.

**Wartung:** Das System wird monatlich präventiv gewartet. Das gilt im Wesentlichen für die Entfernung von Staub, einem System-log-check, einem elektrischen Sicherheitstest und einem Scan der Festplatte.

**Klinische Anwendung:** Der Biomedizinische Dienst erstellte einen Bericht über die Änderungen und eine Gebrauchsanweisung. Die erste bemannte Verwendung des gesamten Systems fand im April 2010 statt. Eine Gruppe von qualifizierten hyperbaren und Notfall-Ärzten begab sich mit dem Ultraschall-System unter einen Druck von 4,0 bar. Die Mediziner hatten diesem Vorgehen zugestimmt. Ein Gruppenmitglied hatte Erfahrung mit Ultraschall-Untersuchungen und führte in einem begrenzten Rahmen Untersuchungen durch, wie sie klinisch innerhalb einer Überdruckkammer durchgeführt würden. Die Bilder wurden für eine spätere Betrachtung gespeichert. Das GE-logic e™-Ultraschall-System lieferte nach der Modifikation bis zu einem Druck von 4,0 bar Bilder, welche keine verschlechterte Qualität aufwiesen.

Nach den Testläufen und in Abwesenheit von alternativen Systemen, wurde das GE-Ultraschall-System gekauft und für den Gebrauch in der Überdruckkammer modifiziert. Der Biomedizinische Dienst bestätigte die Sicherheit für eine bemannte Verwendung innerhalb der Kammer und gestattete die weitere Testung an Freiwilligen (Zustimmung erforderlich). Weitere Testläufe wurden ohne Probleme durchgeführt.

Inzwischen ist der Ultraschall in die klinische Tätigkeit eingeführt, und eine Reihe hyperbarer Mitarbeiter wurde für den Einsatz trainiert. Von allen Teilnehmern an unseren Forschungsprojekten und von den Notfall-Patienten wird die Zustimmung eingeholt. Bis heute sind Untersuchungen an über 30 Patienten unproblematisch durchgeführt worden. Wir haben sichere Arbeitsabläufe, und die Verwendung des Gerätes wird sorgfältig durch den Biomedizinischen Dienst nach dem vorher genehmigten Protokoll protokolliert. Vor kurzem hat auch die Ethikkommission einer Reihe von Forschungsprojekten zugestimmt, zu denen eine Echokardiographie-Studie unter Druck gehört.

## Diskussion

Wir haben in der Notfallmedizin erlebt, dass sich die potentiellen Indikationen für Ultraschall in der

Hyperbaren Medizin rasch ausbreiten. Es ist daher für die Benutzer wichtig, die Limitierungen und die Sicherheitsaspekte für eine In-Kammer-Verwendung zu verstehen.

In unserer Einrichtung wird bei allen potentiellen CAGE-Patienten eine Ultraschall-Untersuchung durchgeführt, um einen Pneumothorax vor der Behandlung auszuschließen. Innerhalb der Kammer und bei erhöhtem Druck betrachten wir den Ultraschall für das Flüssigkeits-Management von septischen Patienten als unentbehrlich. Wir haben die Rückbildung von Stickstoff-Bläschen innerhalb der Kammer bei kommerziellen Tauchern während der Oberflächendekompression nachgewiesen, und wir untersuchen inzwischen routinemäßig unsere Mitarbeiter auf Bläschen-Bildung nach Behandlung von Patienten. Wir haben bei zwei Patienten mit nicht-heilenden Wunden okkulte Wunden gefunden, welche eine Drainage erforderten, und dadurch eine erfolgreiche Heilung erleichtert.

Die hyperbare und tauchmedizinische Einheit in Fremantle plant, in eine neue Kammer umzu ziehen. Bei dieser Gelegenheit ließen sich mit beträchtlichen Extrakosten einfache radiographische Systeme in die Kammer installieren. Dieses Vorgehen kann im Einzelfall sinnvoll sein. Aber mit der erfolgreichen Installation des In-Kammer-Ultraschalles glauben wir nicht, dass dieses Vorgehen deutlich zu einer verbesserten Bildgebung am Wirkungsort beitragen wird.

Wenn der Ultraschall als eine sinnvolle Erweiterung in unserem Bereich anerkannt werden sollte, und wenn potentiell ein Markt existiert, dann hätten wir die Möglichkeit, mit Herstellern zusammen zu arbeiten, so dass sich Systeme ergeben, die mit der einzigartigen Umgebung kompatibel sind.

## Schlussfolgerung

Wir glauben, dass der Ultraschall eine wichtige Rolle in der Hyperbaren Medizin spielen wird, und wir haben gezeigt, dass er sicher und erfolgreich in einer hyperbaren Umgebung verwendet werden kann.

## Lesenswerte Literatur

1. Moore CL, Copel JA. Point of care ultrasonography. New Engl J Med 2011;364:749-57
2. Ultrasound training recommendations for medical and surgical specialities. London: The Royal College of Radiologists, UK; 2005. Available from: <http://www.rcr.ac.uk/docs/radiology/pdf/ultrasound>
3. Wong I, Jayatilleke T, Kendall R, Atkinson P. Feasibility of a focused ultrasound training programme for medical undergraduate students. Clin Teach 2011;8:3-7
4. Rao S, van Holsbeeck L, Musial JL, Parker A, Bouffard JA, Bridge P, et al. A pilot study of comprehen-

- sive ultrasound education at the Wayne State University School of medicine: a pioneer year review. *J Ultrasound Med* 2008;27:745-9
5. Marabotti C, Belardinelli A, L' Abbate A, Scalzini A, Chiesa F, Cialoni D, et al. Cardiac function during breath-hold diving in humans: An echocardiographic study. *Undersea Hyperb Med* 2008;35:83-90
  6. Molenat F, Boussuges A, Grandfond A, Rostain JC, Sainty JM, Robinet C, et al. Haemodynamic effects of hyperbaric hyperoxia in healthy volunteers: an echocardiographic and Doppler study. *Clin Sci* 2004; 106:389-95
  7. Lafay V, Boussuges A, Ambrosi P, Barthelemy P, Frances Y, Gardette B, et al. Doppler- echocardiography study of cardiac function during a 36 atm (3,650 kPa) human dive. *Undersea Hyperb Med* 1997;24:67-71
  8. Blaivas M, Lyon M, Duggal S. A prospective comparison of supine chest radiography and bedside ultrasound for the diagnosis of traumatic pneumothorax. *Acad Emerg Med.* 2005;12:844-9
  9. Wilkerson R, Stone M. Sensitivity of bedside ultrasound and supine anteroposterior chest radiographs for the identification of pneumothorax after blunt trauma. *Acad Emerg Med* 2010;17:11-7
  10. Werneck K, Galanski M, Peters PE, Hansen J. Pneumothorax: evaluation by ultrasound. *J Thoracic Imaging* 1987;2:76-8
  11. Dulchavsky SA, Schwarz KL, Kirkpatrick AW, Billica RD, Williams RD, Diebel LN, et al. Prospective evaluation of thoracic ultrasound in the detection of pneumothorax. *J Trauma* 2001;50:201-5
  12. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Greiner P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004;100:9-15
  13. Schmidt GA. ICU Ultrasound: The coming boom. *Chest* 2009;135:1407-8
  14. Barbier C, Loubieres Y, Schmit C, Haydon J, Ricome JL, Jardin F, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med* 2004;30:1740-6
  15. Eftedal O, Brubakk AO. Agreement between trained and untrained observers in grading intravascular bubble signals in ultrasonic images. *Undersea Hyperb Med* 1997;24:293-9
  16. Brubakk AO, Eftedal O. Comparison of three different ultrasonic methods for quantification of intravascular gas bubbles. *Undersea Hyperb Med* 2001; 28:131-6
  17. Eftedal OS, Lydersen S, Brubakk AO. The relationship between venous gas bubbles and adverse effects of decompression after air dives. *Undersea Hyperb Med* 2007;34:99-105
  18. Pollock NW. Use of ultrasound in decompression research. *Diving Hyperb Med* 2007;37:68-72
  19. Kot J. Medical equipment for multiplace hyperbaric chambers. Part 1: Devices for monitoring and cardiac support. *Eur J of Underwater and Hyperb Med* 2005;6(4):115-20
  20. Kot J. Medical equipment for multiplace hyperbaric chambers. Part 2: Ventilators. *Eur J of Underwater and Hyperb Med* 2006;7(1):9-12
  21. Kot J. Medical equipment for multiplace hyperbaric chambers. Part 3: Infusion pumps and syringes. *Eur Jo of Underwater and Hyperb Med* 2006;7(2):29-31
  22. Burman F, Sheffield R, Posey K. Decision process to assess medical equipment for hyperbaric use. *Undersea Hyperb Med* 2009;36:137-44
  23. NFPA 53: Recommended practice on materials, equipment, and systems used in oxygen-enriched atmospheres. Quincy, MA: National Fire Protection Association 2004
  24. Pressure vessels for human occupancy (PVHO) - Multi-place pressure chamber systems for hyperbaric therapy- Performance, safety requirements and testing. prEN14931:2004. Brussels: European Committee for Standardisation (CEN) 2004

**Korrespondenzadresse**

Dr. Ian Gawthroe  
Fremantle Hyperbaric Unit  
Fremantle Hospital  
PO BOX 480, WA 6160, Australia  
Tel: +61-(0) 8-9431-2233  
Fax: +61-(0) 8-9431-2235  
[ian.gawthroe@health.wa.govau](mailto:ian.gawthroe@health.wa.govau)



## Kommentierte Literatur: HBO-Therapie

### Should the placement of carbon monoxide (CO) detectors be influenced by CO's weight relative to air?

NB Hampson, TG Courtney, JR Holm

*Center for Hyperbaric Medicine, Virginia Mason Medical Center, Seattle, WA*

**Background:** Numerous states and localities have recently passed legislation mandating the installation and use of residential carbon monoxide (CO) detectors/alarms. Interestingly, there seems to be confusion about the optimal placement, if any, of CO alarms inside the home.

**Objectives:** It was the goal of this study to demonstrate the behavior of CO in air and to help provide a data-based recommendation for CO alarm placement.

**Methods:** CO was calculated to be slightly lighter than air. An 8-foot-tall airtight Plexiglas chamber was constructed and CO monitors placed within at the top, middle, and bottom. CO test gas (15 L, 3000 parts per million) was infused at each of the three heights in different trials and CO levels measured over time.

**Results:** Contrary to a significant amount of public opinion, CO did not layer on the floor, float at the middle of the chamber, or rise to the top. In each case, the levels of CO equalized throughout the test chamber. It took longer to equalize when CO was infused at the top of the chamber than the bottom, but levels always became identical with time.

**Conclusions:** As would have been predicted by the Second Law of Thermodynamics, CO infused anywhere within the chamber diffused until it was of equal concentration throughout. Mixing would be even faster in the home environment, with drafts due to motion or temperature. It would be reasonable to place a residential CO alarm at any height within the room.

**Keywords:** carbon monoxide; poisoning; alarm; detector

### Sollten Kohlenmonoxid-Detektoren in Abhängigkeit von der spezifischen Dichte von CO platziert werden?

**Hintergrund:** In zahlreichen Bundesstaaten und Einrichtungen wurde vor kurzem Gesetze erlassen, welche die Installation und die Verwendung von regionalen Kohlenmonoxid (CO)-Detektoren/Alarmeinrichtungen betreffen. Interessanterweise gibt es eine gewisse Verwirrung über die optimale Platzierung von CO-Alarmeinrichtungen innerhalb eines Hauses.

**Ziel der Studie:** Demonstration des Verhaltens von CO in Luft und Erarbeitung einer Daten-basierten Empfehlung für die Platzierung von Alarmeinrichtungen.

**Methoden:** CO ist etwas leichter als Luft. Eine 2,5 m große, luftdichte Plexiglaskammer wurde konstruiert. CO-Melder wurden oben, in der Mitte und am Boden platziert. CO-Testgas (15 l, 3.000 ppm) wurde in jeder der drei verschiedenen Höhen infundiert, und die CO-Konzentrationen wurde im Zeitverlauf gemessen.

**Ergebnisse:** Im Gegensatz zur öffentlichen Meinung lagerte sich CO nicht am Boden am, floatierte nicht in der Mitte der Kammer und stieg zur Decke an. In jedem Fall glichen sich die CO-Konzentrationen innerhalb der Kammer aus. Wurde CO in den oberen Teil der Kammer infundiert, dauerte die Zeit bis zum Ausgleich länger als bei einer Infusion am Boden. Im Verlauf der Zeit wurden die Konzentrationen immer identisch.

**Schlussfolgerungen:** Entsprechend dem zweiten Gesetz der Thermodynamik diffundierte das irgendwo in die Kammer infundierte CO so lange, bis eine gleiche Konzentration innerhalb der Kammer erreicht war. Die Vermischung würde innerhalb von Räumen wegen Bewegungs- oder Temperatur-verursachten Strömungen sogar schneller erfolgen. Es ist daher vernünftig, lokale CO-Alarmeinrichtungen innerhalb von Räumen in beliebiger Höhe anzubringen.

NB Hampson, TG Courtney, JR Holm  
J Emerg Med 2012 Apr;42(4):478-82. Epub 2011 May 4.

CAISSON 2012;27(2):23-27

**Schlüsselwörter:** Kohlenmonoxid; Vergiftung; Alarm; Detektor; Installationshöhe

**Übersetzung:** JD Schipke

## Einleitung

In den Vereinigten Staaten gab es in den vergangenen Jahren vermehrte Bemühungen, um Kohlenmonoxid (CO)-Vergiftungen zu vermeiden. Die dabei eingesetzten Strategien beinhalteten eine verbesserte Öffentlichkeitsarbeit und Empfehlungen für häusliche CO-Detektoren (Alarmeinrichtungen) [1]. Eine Reihe von Bundesstaaten und kommunalen Einrichtungen haben eine Gesetzgebung für die Installation von CO-Alarmeinrichtungen im Wohnbereich erarbeitet [2]. Unglücklicherweise gibt es im Internet eine beachtliche Auseinandersetzung darüber, ob CO schwerer oder leichter als Luft ist und darüber, ob das bei der Platzierung der Alarmeinrichtungen eine Rolle spielt.

Eine gewisse Unsicherheit im Hinblick auf die Platzierung von CO-Alarmeinrichtungen hat potentiell einen Einfluss auf den Kauf und die Anwendung (Abb. 1). Eine Internetsuche lieferte kontrastierende Meinungen und unterschiedliche Empfehlungen in diesem Bereich. So formuliert z.B. eine Seite des Verbraucherschutzes: Einige Quellen sagen, CO-Detektoren sollten in der Nähe des Bodens installiert werden, weil CO absinkt. Andere Quellen sagen, dass CO-Detektoren nahe der Decke installiert werden sollten [3]. Die gleiche Institution schreibt ohne weitere Evidenzen ein wenig später: Alarmeinrichtungen in der Nähe des Bodens sind weniger effektiv, weil das Gas nach oben steigt, und Batterie-betriebene Lösungen sind besser, weil sie sich an der Decke montieren lassen [3].

Das ist nur eins von 100 Beispielen, welche den potentiellen Käufer 'anleiten und informieren' sollen. Es ist daher nicht überraschend, dass eine gewisse Verwirrung herrscht. Weil die Verkäufe weiterhin zunehmen werden, und weil die Gesetze in Kraft treten werden, sind klare Empfehlungen im Hinblick auf die Installation von CO-Alarmeinrichtungen wichtig.



**Abb. 1:** Es gibt auf dem Markt eine Vielzahl von CO-Meldern, die sich in der Form, der Stromversorgung, der Anbringung und dem Preis unterscheiden. Einige Modelle eignen sich sowohl als Rauchmelder als auch als CO-Melder (unten rechts).



Die Frage, ob CO schwerer oder leichter als Luft ist, lässt sich leicht mit Hilfe der basalen Chemie lösen. Das Molekulargewicht von Kohlenstoff beträgt 12, von Stickstoff 14 und von Sauerstoff 16. Damit sind die Gewichte der verschiedenen Moleküle: CO 28, Stickstoff ( $N_2$ ) 28 und Sauerstoff ( $O_2$ ) 32. Akzeptiert man, dass Luft im Wesentlichen aus Stickstoff (79 %) und Sauerstoff (21 %) besteht, dann ergibt sich, dass CO ungefähr 3 % leichter als gasförmige Luft ist.

Es stellt sich also die Frage, ob dieser geringe Unterschied die Verteilung von CO innerhalb von Räumen beeinflusst. Steigt CO tatsächlich nach oben - weil es leichter als Luft ist – dann wäre die logische Konsequenz, CO-Detektoren an der Decke zu montieren. Diese Aussage kontrastiert mit der Tatsache, dass viele CO-Detektoren so konstruiert sind, dass sie sich in normale Steckdosen stecken lassen.

Eine Textquelle beschwört das Bild einer CO-Schicht, welche sich etwa in der Mitte eines Raumes ausbreitet: Weil CO etwas leichter als Luft ist, und weil erwärmte Luft aufsteigt, sollten die Detektoren ungefähr 1,50 m über dem Boden an der Wand platziert werden [4]. Nur wenige Haushalte haben Steckdosen in der Nähe der Decke oder etwa 1,50 m über dem Fußboden an der Wand.

Um zu einer vernünftigen Empfehlung zu kommen, untersuchten wir die CO-Verteilung nach einer Infusion in eine Testkammer, in welcher es keinen Luftstrom, störende Objekte, interne Bewegungen oder sich verändernde Temperaturen gab.

### Materialien und Methoden

Die CO-Kammer war etwa 0,6 m breit, 0,6 m tief und 2,4 m hoch. Sie bestand im Wesentlichen aus Plexiglas und war luftdicht. Mit einer Höhe von 2,4 m entsprach die Kammer in etwa den typischen Wohnungsbedingungen. Mit den genannten Abmessungen hatte die Kammer ein Volumen von ungefähr 900 l.

Für die Messungen innerhalb der Kammer wurden drei neuere, industrielle CO-Detektoren verwendet (MiniMAXX XT; Honeywell; Morristown, NJ). Diese Geräte haben eine CO-Auflösung von 1 ppm, eine Genauigkeit von 1 ppm und einen Messbereich von 0-200 ppm. Nach einer anfänglichen Kalibrierung ergaben die drei Instrumente identische Werte, wenn sie gleichzeitig in einen Plastiksack mit einer CO-Konzentration zwischen 0 und 100 ppm gesteckt wurden. Die drei Detektoren wurden jeweils oben, in der Mitte und unten innerhalb der Testkammer montiert.

CO wurde über Ventile in der Wand (oben, mittig, unten) gegenüber den entsprechenden CO-Detektoren eingeleitet (3.000 ppm CO in  $N_2$ ). Die Tests wurden in einem Temperatur-kontrollierten Raum durchgeführt. Die Temperatur innerhalb der Kammer wurde registriert. Eine Thermosonde hing in der Mitte der Testkammer, und eine andere wurde jeweils vor dem verwendeten Ventil angebracht.

CO wurde aus einem Druckzylinder über Schlauchmaterial mit einem Fluss von 30 l/min über 30 s eingeleitet. Dadurch sollte sich innerhalb der Kammer eine CO-Konzentration von etwa 50 ppm ergeben. Die CO-Messungen oben, in der Mitte und am Boden der Kammer wurden zeitgleich über die Dauer von 150 min nach CO-Infusion registriert. Die Infusionen auf jeder Höhe wurden dreimal durchgeführt.

**Statistik.** Eine Einwegevarianzanalyse wurde benutzt, um den Zeitpunkt zu bestimmen, zu welchem der Unterschied zwischen den CO-Konzentrationen in den verschiedenen Höhen nicht mehr statistisch signifikant unterschiedlich war.

### Ergebnisse

Das Endergebnis war unabhängig vom Infusionsort. Die CO-Konzentration auf den drei verschiedenen Ebenen glich sich an (Abb. 2). Letztlich betrug die CO-Konzentration bei allen Experimenten etwa 60 ppm. Dieser Wert lag gut innerhalb der Genauigkeit der CO-Messgeräte.

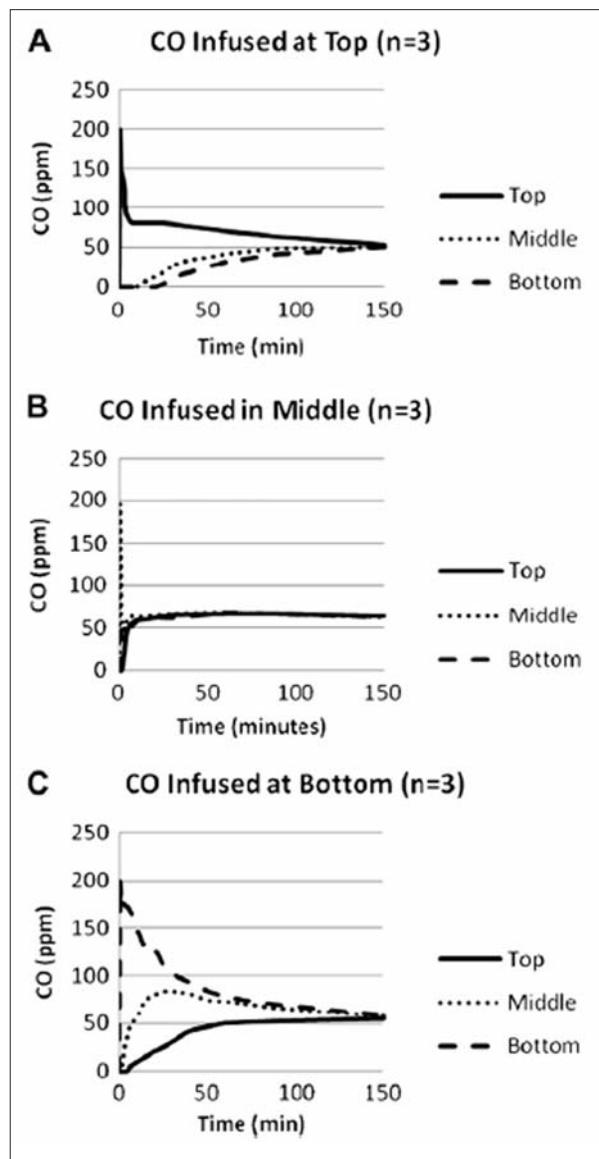
Die Zeit bis zum Ausgleich der CO-Konzentration hing vom Infusionsort ab. Der Ausgleich war nach 2 min erreicht, wenn CO in der Kammermitte infundiert wurde. Die Ausgleichszeit stieg auf 40 min, wenn CO am Boden infundiert wurde. Es dauerte 105 min bis zum Ausgleich, wenn das Gas oben infundiert wurde. Nichtsdestoweniger lag die Endkonzentration jeweils auf dem gleichen Niveau, und es gab keinen Hinweis darauf, dass sich CO am Boden, in der Mitte oder an der Decke anreicherte.

Die Temperatur des CO, welches in die Kammer eintrat, war nahezu thermoneutral (etwa 0,5 °C niedriger als im Zentrum der Kammer). Etwa 90 s nach CO-Infusion hatten sich die beiden Temperaturen bereits wieder angeglichen.

### Diskussion

Die Ergebnisse zum CO-Konzentrationsausgleich innerhalb der Kammer waren vorhersagbar. Das zweite Gesetz der Thermodynamik beschreibt das Verhalten bestimmter Gase und sagt, dass ein Gas solange innerhalb eines Raumes diffundiert, bis eine maximale Entropie erreicht ist. Wenn diese 'Randomisierung' erreicht ist, ist die Kon-

zentration eines Gases innerhalb eines umschlossenen Raumes gleich. Obwohl Faktoren wie molekulares Gewicht und Temperatur die Geschwindigkeit dieser Diffusion beeinflussen, verhindern sie letztlich nicht die Verteilung des Gases.



**Abb. 2:** CO-Konzentrationen in parts per million (ppm). Die Messungen erfolgten oben, mittig und unten in einer 2,4 m hohen Kammer. CO wurde oben (A), mittig (B) und unten (C) infundiert. Die Kurven repräsentieren jeweils die Mittelwerte von drei Messungen. Unabhängig vom Protokoll war die CO-Konzentration am Ende der Messzeit (= 150 min) ausgeglichen.  
Der CO-Konzentrationsausgleich erfolgte am schnellsten, wenn das Gas in der Mitte infundiert wurde (2 min). Ein mittlerer Wert ergab sich, wenn das Gas am Boden infundiert wurde (40 min). Wurde das Gas oben in die Kammer infundiert, ergab sich ein Konzentrationsausgleich erst nach 105 min.

Gase verhalten sich nicht so wie unvermischbare Flüssigkeiten, bei welchen eine auf einer anderen

lagern kann, z.B. Öl und Wasser. Würden Gase sich so verhalten, dann müsste sich Sauerstoff in der Nähe des Bodens ansammeln und die unteren 21 % eines Raumes einnehmen. In einem Raum mit 2,4 m Höhe würde also jeder gefährdet sein, unabhängig davon, ob er in einem Bett liegt oder in einem Raum steht.

Der relative rasche Ausgleich der CO-Konzentrationen nach Infusion am Boden ist interessant, weil er darauf hin zu deuten scheint, dass das molekulare Gewicht von CO etwas niedriger als das von Luft ist. Unabhängig von der Tatsache, dass das infundierte Gas geringfügig kühler als die Luft in der Testkammer war, stieg CO schneller an als es absank. Das weist darauf hin, dass das Molekulargewicht eine größere Rolle für die Diffusionsrate als die Temperaturdifferenz gespielt hat. Die Temperatur spielte vermutlich deswegen keine größere Rolle, weil das CO aus der Vorratsflasche durch ein Schlauchsystem, durch ein Flussmeter und dann erst in die Testkammer einströmte, so dass es hier nahezu thermoneutral war.

Was sagen nun diese Ergebnisse über die Platzierung von CO-Detektoren in der Wohnung? Die Antwort lautet: Sie können irgendwo im Raum installiert werden, und es muss gehofft werden, dass sie effektiv arbeiten. Jedes in einer Wohnung vorstellbare Szenario würde die Geschwindigkeit der Vermischung des Gases in einem realen Raum gegenüber einer versiegelten Kammer erhöhen – laufende Menschen, Luftströmungen durch Ventilatoren, CO-Transport über warme Luft, welche am Fußboden in den Raum gelangen und dann aufsteigen.

Der Glaube, dass CO absinkt, ist mit Sicherheit falsch. Aussagen wie 'CO ist schwerer als Luft und wird sich daher am Boden ansammeln' muss mit Fakten widersprochen werden [5]. Selbst wenn CO deutlich schwerer oder leichter als Luft wäre, würde es sich gleichmäßig zwischen Decke und Boden verteilen.

### Limitationen

Das vorgestellte Modell ist zugegebenermaßen eine Vereinfachung gegenüber einer umfangreichen Ingenieurs-Literatur, in welcher die zahlreichen Faktoren der CO-Verteilung im Wohnbereich beschrieben wurden [6,7]. So wurden z.B. in der vorliegenden Studie keine dynamischen Testbedingungen durchgeführt, und die Tests wurden nicht bei verschiedenen Umgebungstemperaturen wiederholt.

Es wird darauf hingewiesen, dass trotz der verschiedenen Zeiten für den CO-Ausgleich als Folge



der verschiedenen Höhen in diesem Modell, die CO-Konzentration nicht ausgeglichen sein muss, um einen CO-Alarm auszulösen. Die meisten Geräte sind so programmiert, dass sie bei einer Konzentration von 35 ppm alarmieren. Diese Konzentration ist deutlich unterhalb derjenigen, welche toxisch ist. Aus diesem Grunde wurde eine CO-Infusion gewählt, welche sich gerade oberhalb dieses Levels ausgleichen sollte. Das National Institute for Occupation and Safety and Health empfiehlt eine Expositionsgrenze für CO von im Mittel 35 ppm über die Dauer von 8 h und von 200 ppm als eine Obergrenze [8]. Hätten wir uns für eine Infusion entschieden, mit welcher sich ein Konzentrationsausgleich bei 200 ppm ergeben hätte, dann wäre bei jedem der Sensoren eine Wert von 35 ppm erreicht worden und hätte ungefähr sechsmal schneller als in unserem Modell einen Alarm gegeben.

### Schlussfolgerungen

Die public-health-Bemühungen, der Bevölkerung die Verwendung von CO-Alarmeinrichtungen nahe zu bringen, sollten fortgeführt werden. Auf der Basis der vorliegenden Studie scheint die Platzierung der Detektoren deren Funktionalität nicht zu beeinflussen.

### Lesenswerte Literatur

1. Centers for Disease Control and Prevention. Carbon monoxide poisoning. Available at: [www.cdc.gov/co/](http://www.cdc.gov/co/). Accessed April 10, 2010.
2. First Alert. Fire safety legislation. Available at: <http://firstalert.com/legislation-map/>. Accessed April 10, 2010
3. Shopwiki. Carbon monoxide detectors. Available at: [www.shopwiki.com/wiki/Carbon+Monoxide+Detectors](http://www.shopwiki.com/wiki/Carbon+Monoxide+Detectors). Accessed April 10, 2010

4. US Environmental Protection Agency. Indoor air quality. Available at: [http://iaq.custhelp.com/cgi-bin/iaq.cfg/php/end-user/std\\_adp.php?p\\_faqid=3022&p\\_created=1173186701](http://iaq.custhelp.com/cgi-bin/iaq.cfg/php/end-user/std_adp.php?p_faqid=3022&p_created=1173186701). Accessed April 10, 2010
5. Askville by Amazon. Available at: [http://askville.amazon.com/carbon-monoxide-lighter-heavier-gases-air/AnswerViewer.do?request\\_Id=17227895](http://askville.amazon.com/carbon-monoxide-lighter-heavier-gases-air/AnswerViewer.do?request_Id=17227895). Accessed April 10, 2010
6. Persily AK. Carbon monoxide dispersion in residential buildings: literature review and technical analysis [NISTIR 5906]. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce; 1996
7. Ross D, Smith M, Spearpoint M, Smith D, Colwell R. Evaluation of carbon monoxide detectors in domestic premises: literature review. Garston, UK: Building Research Establishment, CR 30/96; 1996
8. Recommendations for occupational safety and health. compendium of policy documents and statements [DHHS (NIOSH) Publication No. 92-100]. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health; 1992

### Korrespondenzadresse

NB Hampson, MD  
Section of Hyperbaric Medicine  
Virginia Mason Medical Center  
1100 Ninth Avenue  
Seattle, WA 98101  
USA

## UHMS announces new indication for hyperbaric treatment: Idiopathic sudden sensorineural hearing loss

SM Piper, TR LeGros, H Murphy-Lavoie

In December 2011 the UHMS board ratified the recommendation that idiopathic sudden sensorineural hearing loss (ISSHL) be recognized as the newest indication for hyperbaric oxygen ( $\text{HBO}_2$ ) therapy. The recommendation was brought by the Louisiana State University Undersea and Hyperbaric Medicine Fellowship.

**Keywords:** HBO; Idiopathic sudden sensorineural hearing loss; UHMS

## UHMS kündigt eine neue Indikation für die HBO-Therapie an: Idiopathischer, plötzlicher, sensorineuraler Hörverlust

Im Dezember 2011 ratifizierte der UHMS-Vorstand die Empfehlung, den idiopathischen, plötzlichen, sensorineuralen Hörverlust (ISSHL) als die neueste Indikation für die Hyperbare Sauerstoff (HBO)-Therapie anzuerkennen. Die Empfehlung wurde durch die Undersea and Hyperbaric Medicine Gemeinschaft der Louisiana State University eingebracht.

**Schlüsselwörter:** HBO; Behandlung; idiopathischer, plötzlicher, sensorineuraler Hörverlust; UHMS

Übersetzung: JD Schipke

### Hintergrund

Der idiopathische, plötzliche, sensorineurale Hörverlust (ISSHL) ist klassischerweise als ein Hörverlust über  $\geq 30$  dB definiert, wenn er innerhalb von drei Tagen eintritt und mindestens drei zusammenhängende Frequenzen betrifft. Die übliche klinische Präsentation beinhaltet den individuellen Eindruck eines plötzlichen, einseitigen Hörverlustes, Tinnitus, das Gefühl einer klanglichen Fülle und Schwindel. Die Inzidenz wird in den USA auf 5 bis 20 Fälle/100.000/Jahr geschätzt. Die Inzidenz könnte allerdings auch höher sein, weil vermutlich viele Fälle nicht berichtet werden. Darüber hinaus wird geschätzt, dass sich bis zu 65 % der Fälle spontan erholen.

### Rationale für die HBO

Ätiologie und Pathologie des ISSHL sind unklar. Zu den zahlreichen, pathophysiologischen Mechanismen gehören: Gefäßverschluss, virale Infektion, Bruch labyrinthischer Membranen, Immunsystem-assoziierte Erkrankung, abnormale, cochleäre Stress-Antwort, Trauma, abnormales Gewebswachstum, Toxine, ototoxische Medikamente und Schädigung der cochleären Membran.

Das Rationale für die HBO-Therapie des ISSHL wird deutlich, wenn man sich den hohen Stoff-

wechsel und die mangelnde Vaskularisierung der Cochlea klarmacht. Die Cochlea und die darin enthaltenen Strukturen benötigen ein hohes Sauerstoffangebot. Die direkte, vaskuläre Versorgung, insbesondere des Corti-Organs, ist minimal. Die Oxigenation der Strukturen innerhalb der Cochlea geschieht über die Sauerstoffdiffusion von cochleären, kapillären Netzen in die Perilymphe und die Cortalyphe. Die Perilymphe ist die primäre Sauerstoffquelle für diese intercochleären Strukturen.

Unglücklicherweise ist die Sauerstoffspannung in der Perilymphe bei Patienten mit ISSHL signifikant vermindert. Um eine beträchtliche Erhöhung des Sauerstoffgehaltes in der Perilymphe zu erreichen, muss die arteriell-perilymphatische Differenz der Sauerstoffkonzentration extrem hoch sein. Das kann mit der HBO-Therapie erreicht werden.

### Evidenz-basierte Medizin

In einer umfangreichen Literatur werden therapeutische Interventionen für die ISSHL-Behandlung miteinander verglichen. Allerdings wurden bisher nur wenige kontrollierte Studien durchgeführt. Darüber hinaus gibt es keinen klaren Konsens über die Behandlung, denn > 60 verschiedene Protokolle sind beschrieben. In einer Meta-Analyse der Cochrane Collaboration wurden die drei wichtigsten und effizientesten Behandlungsmethoden (Steroide, Vasodilatatoren und HBO) systematisch untersucht. Lediglich die Verwendung der HBO erreichte eine positive, objektive und kritische Bewertung (Cochrane Review 2010).

SM Piper, TR LeGros, H Murphy-Lavoie  
PRESSURE - The membership Newsletter of the  
Undersea and Hyperbaric Medical Society, März/April  
2012:2-3

CAISSON 2012;27(2):28-29



Sowohl die Steroide als auch die Vasodilatatoren wurden folgendermaßen bewertet: ....sie haben 'keine guten Evidenzen für eine Effektivität' bei der Behandlung der ISSHL.

Im Gegensatz dazu kam das Cochrane Review zu der Schlussfolgerung: .... 'für Menschen mit akuter ISSHL verbesserte die Anwendung der HBO das Hörvermögen signifikant ...'.

Nach mehreren kontrollierten Studien verbessert sich das Hörvermögen umfangreicher, wenn die Patienten früh mit der HBO und gleichzeitig mit oralen Steroiden behandelt werden. Die Verwendung der HBO für die Behandlung der ISSHL entspricht der Klassen IIa (AHA Evidenz-basiertes Bewertungssystem) mit einem 'A'-Evidenzniveau (die Daten wurden aus mehreren, randomisierten, klinischen Studien abgeleitet).

### Auswahlkriterien für Patienten

Patienten mit moderatem bis deutlichem ISSHL ( $\geq 41$  dB), welche sich innerhalb von 14 Tagen nach Symptombeginn vorstellen, können für eine HBO-Behandlung berücksichtigt werden. Obwohl Patienten, die sich nach dieser Zeit vorstellen, ebenfalls eine Verbesserung mit der HBO erwarten können, legt die medizinische Literatur nahe, dass die frühe Behandlung bessere Ergebnisse zeitigt. Die beste Evidenz unterstützt die Verwendung der HBO innerhalb von zwei Wochen nach Symptombeginn.

### Klinisches Management

Patienten mit ISSHL sollten von einem HNO-Arzt und einem Audiologen umfangreich untersucht werden. Zu der Untersuchung gehören entsprechende audiologische und bildgebende Untersuchungen. Auf diese Weise soll das Ausmaß und die mögliche Ätiologie der Erkrankung ermittelt werden. Patienten, bei denen ISSHL nachgewiesen wurde und welche die Auswahlkriterien erfüllen, können von der HBO-Behandlung profitieren.

Das empfohlene Behandlungsprofil besteht aus 100 % Sauerstoff bei 2,0-2,5 bar über 90 min pro Tag. Es sollten 10 bis 20 Sitzungen durchgeführt werden. Die Behandlung bei 2,4 bar ist vermutlich am Praktischsten, insbesondere für Einrichtungen mit Mehrplatz-Kammern. Patienten ohne bekannte Kontraindikationen gegenüber einer Steroidtherapie sollten parallel mit oralen Kortikosteroiden behandelt werden. Anschließende Konsultationen und Follow-up bei einem Hals-Nasen-Ohrnärzt werden empfohlen.

### Nützlichkeits-Kontrolle

Die optimale Anzahl von HBO-Sitzungen wird unterschiedlich sein. Die Zahl hängt von der

Schwere und der Dauer der Symptomatologie und von der Reaktion auf die Behandlung ab. Eine Nutzenkontrolle nach 20 Sitzungen wird empfohlen.

### Kosten

Es gibt in der Literatur keine formale und detaillierte Kostenanalyse für ISSHL. Andererseits hat die WHO den Kostenfaktor für einen Hörverlust beschrieben. Ein Hörverlust macht es schwer, eine Arbeit zu erhalten, sie auszuführen und sie zu behalten. Personen mit einem eingeschränktem Hörvermögen werden häufig stigmatisiert und sozial isoliert. Die Kosten für eine spezielle Ausbildung und die verlorene Beschäftigung als Folge einer Hörschädigung bedeuten eine schwere soziale und ökonomische Last (WHO, 2010). Der Hörverlust bei Erwachsenen ist global gesehen der häufigste Behinderungsgrund, und der dritthäufigste Grund für verlorene Jahre wegen einer Behinderung. Darüber hinaus steht der Hörverlust bei Erwachsenen an der 15. Stelle der Krankheitslasten, und vermutlich wird sich der Hörverlust bis zum Jahr 2030 auf Platz 7 nach vorne schieben (WHO, 2008).

Zusätzliche Studien werden empfohlen, um die Pathologie besser zu definieren und die ISSHL-Behandlung zu optimieren. Auf der Basis der augenblicklichen, medizinischen Evidenz überwiegt der Nutzen der HBO die Risiken. Darüber hinaus wiegen eine signifikante Verbesserung des Hörvermögens und ein Minimieren der sozialen und ökonomischen Last dieser Erkrankung die Behandlungskosten auf.

### Literatur

Eine detailliertere Diskussion der medizinischen Evidenz und eine Literaturliste werden in einer der nächsten Ausgaben von *Undersea and Hyperbaric Medicine* und in der nächsten Ausgabe der *Hyperbaric Oxygen Therapy Indications* erfolgen.

Zur Information siehe auch:

[http://oto.sagepub.com/content/146/3\\_suppl/S1](http://oto.sagepub.com/content/146/3_suppl/S1)

## Pressemitteilungen

### Neue Vorschriften für Druckkammern im Tunnelbau

Germanischer Lloyd, Hamburg, Februar 2012

Personen-Druckluftschleusen sind eine notwendige Einrichtung für Druckluftarbeiten bei Tunnelbauprojekten. Für einfache Personenschleusen gibt es in einigen Ländern nationale Basisanforderungen und in Europa seit einigen Jahren eine europäische Norm. Der Germanische Lloyd (GL) trägt dieser Entwicklung Rechnung und veröffentlicht neue Vorschriften zur technischen Beschaffenheit von Druckluftschleusen.

Seit einiger Zeit erreichen Tunnelbauvorhaben immer größere Tiefen und damit bei Druckluftarbeiten auch immer höhere Drücke. Dabei werden die technischen Anforderungen, z.B. durch den Einsatz von Mischgasen, verlängerten Auftauchzeiten und beweglichen Kammern deutlich komplexer.

Angesichts fehlender weltweiter Standards für diesen anspruchsvollen technischen Bereich hat der

GL eigene Vorschriften mit dem Titel 'VI – Additional Rules and Guidelines, Part 11 – Other Operations and Systems, Chapter 4 – Hyperbaric Chambers for Tunnelling' veröffentlicht.

Die Vorschriften, die sich insbesondere an Hersteller, Betreiber, Bauunternehmen, Aufsichtsbehörden, Berufsgenossenschaften wenden, sind als international gültiges Regelwerk auf Englisch auf der GL Internetseite verfügbar und bestehen aus drei Kapiteln, die sich mit dem Zertifizierungsverfahren, den bemannten und unbemannten Druckluftschleusen sowie den Druckkammern zur Behandlung von Dekompressionskrankheiten beschäftigen.

Weitere Informationen unter:  
<http://www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/english/ergvors/teil-11/kap-4/englisch/inhalt.pdf>

### Medizinisches Großgerät für Karlsruhe

HP Klicznik, Druckkammerzentrum Freiburg GmbH, Mai 2012

Nach Karlsruhe kommt eine Therapie-Druckkammer. Damit sollen Rauchgasvergiftungen sowie Tauchunfälle behandelt und mit der Hyperbaren Sauerstofftherapie (HBO) Krankheiten geheilt oder gebessert werden. Träger ist das Druckkammerzentrum Freiburg GmbH, Zentrum für Hyperbarmedizin; dort steht diese Therapieform schon seit über 15 Jahren zur Verfügung.

Das Bild zeigt die nicht ganz einfache Einbringung der Druckkammer an ihren Standort in der Ettlinger Straße 31, wiegt diese doch bei einer Länge von gut 7 m und einem Durchmesser von 2,20 m etwa 20 t.

Eröffnet wird das Druckkammerzentrum Karlsruhe am 22.06.2012; die Einrichtung wird am 02.07.2012 ihren Betrieb für Patientinnen und Patienten aufnehmen.



#### Korrespondenzadresse

Hanspeter Klicznik Geschäftsführer  
Druckkammerzentrum Freiburg GmbH  
[info@hbo-freiburg.de](mailto:info@hbo-freiburg.de)

## In Hessen gefundene Lösung sollte bundesweit Schule machen

Verband Deutscher Druckkammerzentren (VDD) e. V. Traunstein / Wiesbaden, Februar 2012

Für Notfälle bei Kassenpatienten besteht in Deutschland zur Zeit keine gesicherte und rasche Versorgung mit hyperbarem Sauerstoff. Mit einer Ausnahme: Am 10.02.2012 entschied das Hessische Sozialministerium in einer unbürokratischen Lösung, die Druckkammerversorgung für Notfallpatienten in diesem Bundesland zu sichern. Mit der Anbindung an die Asklepios Paulinen Klinik als 'Zentrum für hyperbare Notfall- und Intensivmedizin' konnte das Druckkammerzentrum Wiesbaden seitdem bereits 21 Notfälle untersuchen und 7 Patienten behandeln, und zwar fast immer nachts.

'Wir freuen uns sehr darüber, dass die Hessische Landesregierung gemeinsam mit Druckkammer-Betreibern, Krankenkassen und der Hessischen Krankenhausgesellschaft eine Lösung dieser schon lange unbefriedigenden und für Unfallopfer gefährlichen Situation gefunden hat', begrüßt Dr. med. Christian Heiden, Vorstand des Verbandes Deutscher Druckkammerzentren (VDD e.V.) die neue Entwicklung. 'Wir wünschen uns, dass dieses Beispiel bundesweit Schule macht.'

### Zum Hintergrund

Die Druckkammerbehandlung ist z.B. bei CO-Intoxikation, schwerer Rauchgasvergiftung, Tauchunfall (Dekompressionskrankheit, DCS) u. a. lebensrettend und deshalb international Standard bei deren Behandlung. Der in ihr verabreichte Hyperbare Sauerstoff (HBO) ist die einzige wirksame Therapie, Spätschäden zu verhindern. Die Finanzierung der Versorgung für Notfallpatienten, die direkt vom Rettungsdienst in die Druckkammer gebracht werden, ist jedoch momentan weder durch das ambulante noch stationäre Abrechnungssystem gedeckt, obwohl diese Behandlung auch von den zuständigen deutschen Behörden als wirksam und sinnvoll anerkannt sind. Vor allem sind auch die hohen Vorhaltekosten für die 24-h Bereitschaft einer Druckkammer bisher nicht gedeckt.



### 'Zentrum für Hyperbare Notfall- und Intensivmedizin'

Die Lösung des Problems fand man in Hessen in der Anbindung des Wiesbadener Druckkammerzentrums an der Asklepios Paulinen Klinik. Damit diese die Druckkammer refinanzieren kann, hat ihr nun das Hessische Sozialministerium den Versorgungsauftrag 'Zentrum für Hyperbare Notfall- und Intensivmedizin' zugewiesen. 'In Hessen hat man den Fehler im System erkannt und einen pragmatischen Weg gefunden' betont Michael Kemmerer, Geschäftsführer des VDD e.V. und der Druckkammerzentren Rhein-Main-Taunus GmbH. Auch das bisher oft ins Feld geführte Argument, dass hohen Vorhaltekosten insgesamt verhältnismäßig wenige Behandlungsfälle gegenüberstehen, scheint die Praxis zu widerlegen.

'Seit dem 10. Februar haben wir 7 schwere Rauchgasvergiftungen und CO-Intoxikationen versorgt und 14 weitere Patienten mit den Klinikärzten gemeinsam untersucht', berichtet Kemmerer. 'Diese Fälle beruhen überwiegend auf Wohnungsbränden und defekten Heizungsanlagen. In den wärmeren Monaten werden wir uns dann verstärkt um Tauchunfälle zu kümmern haben. Eine bundesweit flächendeckende, gesicherte Druckkammer-Versorgung ist auch abseits der Ballungszentren wie Rhein-Main nötig. Es geht hier um Menschenleben.'

Bereits im Januar hatte der VDD e.V. auf der 'boot 2012' in Düsseldorf gemeinsam mit der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.) sowie den deutschen Tauchsport- und Versicherungsverbänden erneut auf den fehlenden staatlichen Versorgungsauftrag und die ungesicherte Finanzierung in der Druckkammer-Notfallversorgung aufmerksam gemacht.

## Meeresbiologie

### Das Petermännchen Europas Giftfisch Nummer eins

H Mathä

*Gifffische greifen Mallorca-Urlauber an.  
Schon mehr als 50 Verletzte titelte das  
Hamburger Abendblatt am 14. Juli 2007.  
Und BILD setzte noch eines drauf.  
Der heimtückische, arglose Badetouristen  
jagende Giftfisch, der die Ballermänner  
auf Malle in Angst und Schrecken versetzte,  
ist: das gemeine Petermännchen. Ein  
Drachenfisch, den wir uns im Folgenden  
näher ansehen wollen.*

Anja wird diesen heißen Julitag wohl nie vergessen. Mit ihrem Freund Thorsten ist sie aus der Gluthölle von Berlin an die Ostsee geflüchtet. Nach den fast 40 °C Hitze in der Hauptstadt ist es auf der Insel Rügen himmlisch kühl. Lässt aber der stetig wehende Wind nach, wird es auch am Strand recht warm. Die kühle Ostsee verspricht rasche Abkühlung. An der schmucken Seebrücke und den Strandkörben vorbei stapft sie durch den weißen Sand. Anja genießt den warmen Sand unter ihren Füßen und watet in das sanft wogende Meer. Sie winkt Thorsten zu. Aber der will nicht mit ins Wasser. Plötzlich fährt ein brennender Schmerz durch ihre Fußsohle. Ein Gefühl, als wäre sie auf einen glühenden Nagel getreten. Gellend schreit sie auf. Die Retter der DLRG reagieren zeitgleich mit Thorsten und sprinten ins Wasser. Die vor Schmerzen wimmernde Frau wird ans Ufer gebracht. Rasch wird klar: Wieder einmal hat ein Petermännchen zugeschlagen.

So wie Anja ergeht es jedes Jahr vielen Badenden an Europas Küsten. An den flachen Stränden lauert der gefürchtete Fisch! Nun ist es aber nicht das Lebensziel des Petermännchens, ahnungslosen Badegästen in die Füße zu stechen! Der Lauerjäger wartet vielmehr bestens getarnt und halb im Sand vergraben auf kleine Fische. Er ist sich seiner Tarnung bewusst und kümmert sich zunächst wenig um irgendwelche herumstaksende Füße: Kommt mir der Käsefuß noch einen Schritt näher, dann stell ich wieder meine Giftstacheln auf, und wenn er mich tritt, dann hab ich zwar wieder Grätenschmerzen, aber dem widerlichen Luftatmern geht es sicher dreckiger als mir! Hähähä!"

#### Nomen est omen?

Die Internet-Recherche ergibt allerlei Kurioses: Aus Schwerin, genauer gesagt tief aus dem Schweriner Schloss, stammen Legenden um einen Kobold mit diesem Namen. Sogar ein Petermännchen-Museum gibt es, und auch ein Bier wurde nach ihm benannt. Petermännchen gibt es in Nordfriesland nicht nur im Wattenmeer sondern auch an Land. Eine Strohpuppe, die am Biketag (= 21. Februar) verbrannt wird, trägt diesen Namen. In Köln hingegen entlasten Pittermännchen den Köbes (= Kellner). Bei trinkfreudigen Runden verschafft das Bierfässchen ein wenig Ruhe. Warum der Fisch diesen Namen trägt, ergibt die Recherche nicht. Nehmen wir es hin. Viele Fische haben vom Menschen eigenartige oder gar dämliche Namen erhalten. So auch das Petermännchen.



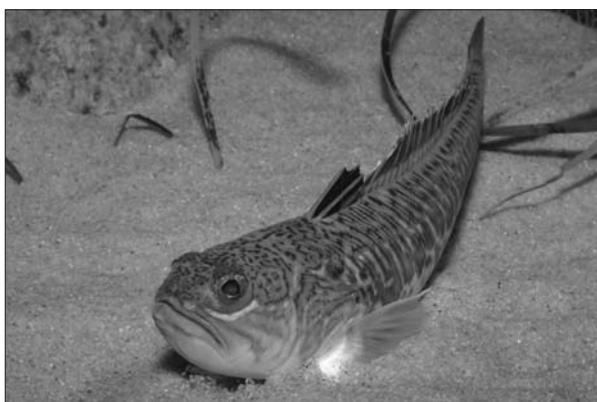
H Mathä

#### PETERMÄNNCHEN (Weberfische)

Latein	Trachinidae (Drachenfische) mit 8 Arten
Englisch	Weeverfish
Länge	≤ 50 cm
Färbung	gepunktete oder gestreifte Tarnung
Lebensraum	reiner Bodenbewohner
Verbreitung	Ostatlantik und Nebenmeere wie Mittelmeer, Nord- und Ostsee
Verwechslungsmöglichkeit	Eidechsenfische, diese besitzen aber ein endständiges Maul

#### Aussehen

Petermännchen sind wirklich keine schönen Fische: Ein dicker Kopf mit Glupschaugen und einem großen, mürrisch wirkenden Maul mit vielen kleinen, pfeilspitzen Zähnen. Darauf folgt der recht plumpe, kegelförmige Körper, der in der kraftvollen Schwanzflosse endet. Stützt sich der Fisch auf den Brustflossen ab, gibt ihm das ein sprangbereites, aggressives Aussehen (Abb. 1).



**Abb. 1:** Petermännchen gehören zu den Drachensischen und damit nicht zu den hübschen Fischarten. Als Bodenbewohner liegt das Petermännchen gern im Sand und neigt nicht zu größeren Ausflügen. Das eigene Territorium wird aggressiv verteidigt.

### Verhalten

Dieser typische Lauerjäger wartet im Boden eingegraben auf Beute. Oft sind nur die glotzenden Augen zu sehen. Kommt ein kleiner Fisch oder eine Garnele nahe genug, dann macht der Jäger einen jähnen Satz nach vorne und reißt das Maul weit auf. Sekundenbruchteile später sitzt er in einer Schlammwolke wieder am Boden. Mit der Beute zwischen den spitzen Zähnen.

### Giftapparat und Gift

Zwei Giftdorne sitzen in den Kiemendeckeln. Sie sollen dem Raubfisch, der es auf das Petermännchen abgesehen hat, in den Rachen stechen und das Petermännchen ausspucken lassen. Fünf bis acht Strahlen der vorderen Rückenflosse sind ebenfalls giftig. Alle Giftstachel können auf- und dem Feind entgegen gerichtet werden. An jeder Stachel-Wurzel liegt ein schwammiges Gewebe, in welchem das Gift gebildet wird. Bei einem Stich reißt das den Stachel umgebende Gewebe, und Toxin gelangt in die Wunde. Das Gift besteht aus Serotonin und einem Proteingemisch. Ersteres verursacht den sofortigen, heftigen Schmerz und zweiteres die Schwellungen.

### Symptome

Sofort nach dem Stich treten starke, brennende Schmerzen auf, die sich rasch ausbreiten. Lassen die Schmerzen nach, kann ein Taubheitsgefühl folgen. Die betroffenen Gliedmaßen schwellen immer stark an (**Abb. 2**). Die Schmerzen können über Tage, die Schwellungen über Wochen erhalten bleiben. Bei gesunden Erwachsenen sind lebensbedrohliche Symptome unwahrscheinlich. Ein Arzt sollte jedoch immer aufgesucht werden!

### Erste Hilfe und Therapie

Verunglückte aus dem Wasser retten. Arztbesuch.



**Abb. 2:** Das Bild zeigt einen Fischer, der sehr unaufmerksam mit einem Petermännchen handierte. Die Schmerzen können über Tage und die Schwellungen über Wochen anhalten.

Ist dies nicht möglich, dann die Stachelreste aus der Wunde entfernen, desinfizieren und keimfrei verbinden. Die Heißwassermethode ist einmal modern, ein andermal verpönt. Das ändert sich regelmäßig, wie so manches in der Ersten Hilfe. Sollte die Heißwassermethode gerade 'in' sein, dann wird die Einstichstelle in so heißem Wasser gebadet, wie es gerade noch erträglich ist. Das thermolabile Toxin soll dadurch zerstört werden. Das Resultat ist meist zusätzlich zur Stichverletzung eine Verbrühung samt großer Brandblase.

### Unfallvermeidung

Es ist ganz einfach: Nicht barfuß ins Wasser gehen! Badeschuhe oder Schlappen schützen die Füße nicht nur vor den Meeresbewohnern mit Stacheln sondern auch vor den Glasscherben der letzten Beachparty. Für Taucher mit Füßlingen stellen Petermännchen bei normaler Verhaltensweise (des Tauchers) keine Gefahr dar. Nur in Ausnahmesituationen können die Fische ihre Stacheln auch aktiv zum Angriff einsetzen. Wer allerdings einen Giftfisch anfasst, wird auch gestochen werden: Selbst schuld!

### Zusammenfassung

Die acht Petermännchen-Arten an Europas Küsten stehen im dringenden Verdacht, an den meisten Verletzungen von Badenden eine Teilschuld zu tragen. Die Fische setzen ihre Stacheln aber nur zu ihrer Verteidigung ein. Steigt man nicht bloßen Fußes auf sie oder fasst sie gar an, so geht von ihnen kaum eine Gefahr aus.

### Korrespondenzadresse

Harald Mathä  
Gartenstadtstr. 13  
A-4048 Puchendorf  
[harry@taucher.net](mailto:harry@taucher.net)

## Aus der Gesellschaft

Aktionsbündnis  
**Tauchunfall**



### Es muss etwas geschehen

In den letzten Jahren mussten wir in Deutschland schmerzlich erleben, wie ein Rettungshubschrauber mit einem lebensgefährlich verunfallten Sporttaucher an Bord auf der Suche nach einer einsatzbereiten Notfalldruckkammer erfolglos durch die Bundesrepublik irrt. Wegen Treibstoffmangels erfolgt die Landung in einer Großstadt. Dort gibt es zwar eine Druckkammer, der Taucher überlebt diese Odyssee aber nicht. In einem weiteren Fall wurden bald 9 Stunden benötigt, um einen jungen teilgelähmten Taucher erfolgreich in einem HBO-Zentrum unterzubringen. Unklarheiten, anfängliches Missmanagement, gefolgt von Absagen möglicher Zielzentren und schließlich dann auch noch wetterbedingtes Flugverbot hatten das Zeitintervall so untragbar anwachsen lassen.

### Aktionsbündnis Tauchunfall

Auf der BOOT-Messe 2012 wurde am 26. Januar auf Initiative des VDST das 'Aktionsbündnis Tauchunfall' unter Führung der GTÜM und unter Beteiligung der in Deutschland aktiven Tauchmedizin-Hotlines: aqua med, DAN Europe und VDST (in alphabetischer Reihenfolge) geschlossen. Auschlaggebend für diese Aktion war, dass mehrfach für schwere Tauchunfälle stundenlang kein einsatzbereites Druckkammerzentrum zur Verfügung stand. Ziel des Aktionsbündnisses ist die Verbesserung der Behandlungssituation für verunfallte Taucher mit druckkammerpflichtigen Krankheitsbildern in Deutschland.

Am 27.01.12 beschloss das Aktionsbündnis eine Überarbeitung der GTÜM-Druckkammerliste, um die Ist-Situation der Druckkammer-Einsatzbereitschaft in Deutschland korrekt erfassen zu können. Hintergrund ist die Erfahrung, dass in der Vergangenheit die Einsatzbereitschaft der Druckkammer-Einrichtungen in zahlreichen Fällen nicht der genannten Zuordnung zu einer der Kategorien der GTÜM-Liste entsprach, obwohl diese Liste gemäß Selbstauskunft der Druckkammern erstellt wurden.

### Verbindliche Erklärung

In einem ersten Schritt wurden alle Druckkammer-Einrichtungen, die bisher in der GTÜM-Druckkammer-Kategorie '24h-Bereitschaft mit Intensivmedizin' aufgeführt wurden, um schriftliche Bestätigung

der Ärztlichen Leitung und der Geschäftsführung gebeten, ob bestimmte Qualitätskriterien definitiv erfüllt werden. Werden diese personellen, technischen und organisatorischen Punkte nicht erfüllt, können schwere Tauchunfälle nur unzureichend und nicht entsprechend aktueller medizinischer Standards versorgt werden.

Ergänzend wurde auch ein Druckkammerzentrum angeschrieben, welches nach der BOOT 2012 einen offiziellen Versorgungsauftrag eines Bundeslandes zur Druckkammerversorgung von Notfällen erhielt (Quelle: Presseformation des Hessischen Sozialministeriums vom 10.02.2012).

Alle unten genannten Kriterien wurden einstimmig beschlossen. Bei Nichterfüllung von nur einem der 9 Punkte besteht nach Auffassung des Aktionsbündnisses keine qualifizierte '24h-Bereitschaft mit Intensivmedizin'. Ziel der neuen Druckkammer-Kategorie ist, verunfallten Tauchern eine unverzügliche Behandlung nach aktuellen medizinischen Standards auch bei einem schweren Tauchunfall zu ermöglichen.

### Vier Notfallzentren

Bis Redaktionsschluss lagen uns 4 Erklärungen über die Erfüllung aller 9 Kriterien vor:

- Vivantes Klinikum im Friedrichshain, Berlin
- Universitätsklinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Halle/Saale
- Druckkammerzentrum Rhein-Main-Taunus, Asklepios-Paulinen-Klinik, Wiesbaden
- Landeshauptstadt München, Feuerwache 5, München

Diese vier Druckkammerzentren werden bis auf Weiteres in einer neuen GTÜM-Druckkammer-Kategorie geführt werden. Sollte in der Praxis eine dieser Druckkammern die Bedingungen mehrfach nicht erfüllen, wird eine Zuordnung dieser Druckkammer zu einer anderen Kategorie der GTÜM-Liste erfolgen.

Auf Anfrage (aktionsbuendnis-tauchunfall@gtuem.org) informieren wir andere Druckkammern gern über das Anmeldeverfahren für die neue Druckkammer-Kategorie. Die GTÜM-Druckkammerliste wird gemäß Vorstandsbeschluss um die neue Kategorie ergänzt.



1. Gesicherte 24h-Behandlungs-Bereitschaft innerhalb 60 min,  
*(zu 1: Wenn eine Behandlung nicht gesichert innerhalb von 60 min. durchgeführt werden kann, handelt es sich um keine 24h-Bereitschaft. Eine Telefonliste, nach deren Abtelefonieren man weiß, ob eine Behandlungsmannschaft steht oder nicht, stellt keine gesicherte Bereitschaft dar.)*
2. gesicherte 24h-Bereitschaft eines Arztes mit GTÜM-Diplom 'Taucherarzt' oder vergleichbarem EDTC/ECHM-Diplom,
3. gesicherte 24h-Bereitschaft eines FA f. Anästhesie (in Personalunion mit Taucherarzt möglich),
4. gesicherte 24h-Bereitschaft eines Druckkammer-Bediener mit GTÜM/VDD-Diplom 'Druckkammer-Bediener' oder vergleichbarer Qualifikation,
5. gesicherte 24h-Bereitschaft einer Pflegekraft mit GTÜM/VDD-Diplom 'Intensivmedizinische Pflegekraft für Hyperbarmedizin' oder vergleichbarer Qualifikation,  
*(zu 2-5: Anzahl und Qualifikation des geforderten Druckkammerpersonals beschreiben den Minimalstandard. Entsprechend äußern sich alle einschlägigen nationalen und internationalen Empfehlungen, Leitlinien u.a. Veröffentlichungen. Es werden hier nicht zwingend GTÜM-Qualifikationen gefordert, sondern für alle Funktionen auch vergleichbare Qualifikationen akzeptiert. Die durch EDTC und ECHM europaweit etablierten Personalstandards für Druckkammerbehandlungen wurden in Deutschland durch die GTÜM umgesetzt. Der Verband Deutscher Druckkammerzentren (VDD e.V.) verpflichtet Mitgliedszentren auf die Einhaltung dieser Standards, eine Zertifizierung von Zentren durch den VDD (in Kooperation mit dem Germanischen Lloyd) fordert diese Personalstandards ebenfalls. Eine Ausweitung des Interpretationsspielraums für Personalqualifikation erscheint vor diesem Hintergrund nicht sinnvoll. In anderen medizinischen Bereichen bekannte, krankenhausinterne Regelungen z.B. Nichtfachärzten Facharztaufgaben und -Verantwortung zu übertragen, erscheinen für das hier abgefragte generelle Anforderungsprofil nicht anwendbar.)*
6. HBO-Druckkammer entsprechend DIN EN 14931,
7. zum Betrieb in HBO-Druckkammern zugelassenes automatisches Beatmungsgerät,
8. Patienten-Monitoring nach intensivmedizinischen Standards vor, während und nach der Druckkammer-Behandlung,
9. gesicherte stationäre Aufnahme zur intensivmedizinischen Behandlung.  
*(zu 7 - 9: Bei Übernahme der Behandlung eines (potentiell) intensivpflichtigen Patienten muss seine Versorgung nach intensivmedizinischen Standards vor, während und nach Druckkammer-Behandlungen sichergestellt sein.)*

### Wie geht es weiter?

Das bisherige Vorgehen des Aktionsbündnisses ist vielleicht nicht jedem unmittelbar verständlich. Das Ziel soll die Verbesserung der Behandlungssituation für verunfallte Taucher sein, und die erste Maßnahme besteht darin, die Liste der 'Druckkammern für schwere Notfälle' von 9 auf 4 zusammenzustreichen? Wird damit nicht das Gegenteil erreicht? Das Aktionsbündnis musste bei seinem ersten Treffen einstimmig feststellen, dass die von den Tauchunfall-Hotlines erlebte Behandlungswirklichkeit in Deutschland nicht so ist, wie es die Druckkammer-Liste der GTÜM vermuten lässt. In der Praxis gab es bei schweren akuten Tauchunfällen deutlich verzögerte Behandlungen, wie eingangs bereits erwähnt.

Die neue Druckkammer-Kategorie mit momentan 4 Druckkammern beschreibt das 'Bauchgefühl' von Insidern hinsichtlich der geringen Auswahl an Behandlungsmöglichkeiten recht gut, unabhängig davon, ob man Druckkammer A eher in der Kategorie und Druckkammer B eher außerhalb sehen würde. Die Zukunft wird zeigen, ob es weitere Druckkammerzentren gibt, die inzwischen die geforderten 9 Punkte für die Aufnahme in die neue Kategorie bestätigen können. Auf der anderen Seite muss sich erweisen, ob die jetzt aufgeführten Druckkammern die erklärten Bedingungen tatsächlich erfüllen. Die neue Druckkammer-Kategorie wird auf jeden Fall dynamisch sein.

In diesem ersten Schritt hat das Aktionsbündnis Tauchunfall offenbart, dass zur lege artis Versorgung schwerer Tauchunfälle rund um die Uhr derzeit offenbar nur vier Zentren in ganz Deutschland zur Verfügung stehen. Das ist erschreckend wenig, wenn man vergleichsweise das Netz von Notarzt-Hubschraubern betrachtet. Der deutsche Ist-Zustand für Tauchunfall-Behandlungen ist schlecht und im europäischen Vergleich blamabel. Ein Blick z.B. nach Frankreich zeigt, dass dies auch ganz anders sein könnte.

Diese Bestandsaufnahme macht akuten Handlungsbedarf klar – nicht allein durch die im Aktionsbündnis zusammen geschlossenen Organisationen und die Druckkammerzentren, sondern insbesondere auch durch gesundheitspolitische Kräfte in Deutschland. Das Beispiel Wiesbadens zeigt, dass ein Versorgungsauftrag ein gangbarer Weg für individuelle Druckkammerzentren ist, die Versorgungssituation in Deutschland zu verbessern. Flankierend wäre eine zentrale Vergabe von Druckkammer-Behandlungsplätzen für Notfälle denkbar, ähnlich der Brandverletzten-Zentrale.

Dr. Wilhelm Welslau

für das Aktionsbündnis Tauchunfall

- GTÜM e.V.
- aqua med
- DAN Europe
- VDST e.V.

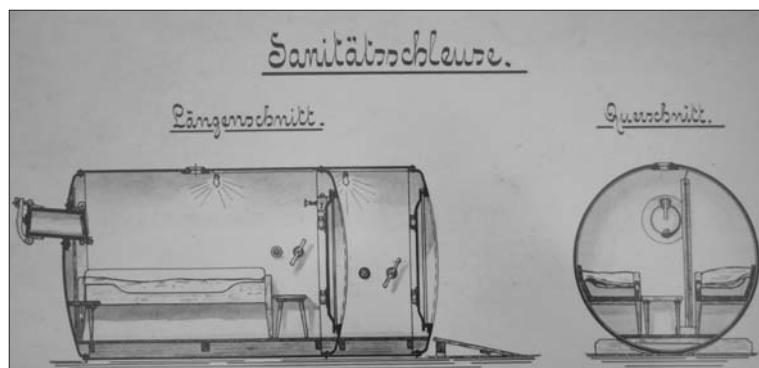
## 4. Internationaler Arthur-Bornstein-Workshop in Hamburg

JD Schipke

Syranga ist altes Griechisch und bedeutet Tunnel. Die Experten in diesem Bereich heißen folgerichtig Syrangologen. Etwa 25 davon trafen sich am 10. März 2012 im Hamburger Museum der Arbeit zum 4. Internationalen Arthur-Bornstein-Workshop. Und sprachen nicht in syrangologisch sondern in englisch über das spannende Thema: 'Diggin' ever deeper – worldwide'.

Dr. Karl P. Faesecke – unser Vorstandsmitglied für Hyperbare Arbeitsmedizin – hatte den Termin dieser GTÜM-Veranstaltung geschickt gelegt. Genau 100 Jahre früher war in Hamburg der erste Elbtunnel fertig gestellt worden. Nach einem tödlichen Deko-Unfall hatte der Senat auf Druck der Arbeiter beschlossen, einen Fachmann mit der medizinischen Überwachung der Arbeiten im Überdruck zu beauftragen. Die Entscheidung fiel auf den damals 28-jährigen Arthur Bornstein (Abb. 1). Dieser hatte bereits im Tierversuch Untersuchungen zur Deko-Erkrankung durchgeführt. Die Wahl war gut. Letztlich wurden während der 4-jährigen Bauzeit zwar 700 Arbeiter in der Therapiekammer behandelt (Abb. 2). Unter den immerhin 4.400 Arbeitern kam es 'nur' zu drei Druck-bedingten Todesfällen.

**Abb. 1:** Arthur Bornstein war bei seiner Einstellung als Druckluftarzt für den Bau des St. Pauli Elbtunnels erst 28 Jahre alt. Während der Bauzeit führte er zusammen mit seiner Frau Adele Bornstein umfangreiche Forschungsarbeiten durch. Das Bild zeigt ihn 15 Jahre später als Dekan der medizinischen Fakultät der Hamburger Universität.



**Abb. 2:** Die Therapiekammer von Arthur Bornstein. Wahrscheinlich würde sie auch nach der heutigen Druckluftverordnung auf Druckluftbaustellen zugelassen: Es handelt sich um eine Mehrpersonenkammer mit einer Schleuse, und es konnte Sauerstoff geatmet werden. Was wir heute haben, ist mehr Luxus und Elektronik. Und vermutlich würden bei der Innenausstattung andere Materialien gefordert. Bornstein war modern!

Im Gegensatz zu seinem Vorgänger wusste Bornstein, dass nicht die Kälte und die Feuchtigkeit im Überdruck zur Deko-Erkrankung führten. Er verkürzte auch nicht die Deko-Zeiten in der Kammer in der Annahme, dass die Verunfallten dort auskühlten. Häusliche Wärme und ein wenig Alkohol würden eben nicht heilen. Und so war Bornstein vermutlich der erste, der erfolgreich die Druckkammer zur Rekompression einsetzte und zur Therapie auch zusätzlich Sauerstoff verwendete. Vermutlich schrieb er damit Medizingeschichte.

Zurück zum Workshop: Dr. Jürgen Bönig – Kurator des Museums für Arbeit – trug überzeugend vor, dass Hamburg mit seinen 150 Jahren Tunnelbau-Tradition ein idealer Tagungsort für 'Diggin' ever deeper – worldwide' sei. In ihrem Vortrag berichtete Olga Bornstein-Wise – die Enkelin Arthur Bornsteins – sehr präzise und sehr persönlich vom Schicksal der Hamburger Arztfamilie, welche letztlich in die Vereinigten Staaten auswandern musste.

Bei den sechs von Ingenieuren gehaltenen Vorträgen ließ sich viel lernen.

(1) Es besteht eine zunehmende Nachfrage nach Tunnels. Für die Entwässerung, für die Wasserversorgung und für den Verkehr. Und die Nachfrage nach tiefer liegenden Tunnels steigt. Das liegt an der Geographie, und das liegt an bereits vorhandenen unterirdischen Systemen. Zum Beispiel an U-Bahnen oder an bereits bestehenden Tunnels.

(2) Die Technik für den Bau von Tunnels ist vorhanden. Die 'Sunken-Tube'-Methode eignet sich nur für die Querung von wenig befahrenen Gewässern. Bei der vierten Röhre des Neuen Elbtunnels wurde bereits eine Tunnelbohrmaschine (TBM) eingesetzt. Ebenfalls mit einer TBM wurde zum Beispiel kürzlich eine weitere Röhre für das U-

Bahnnetz in Düsseldorfs Innenstadt fertig gestellt. Und für den Westerschelde-Verkehrs-Tunnel bohrte sich bereits vor über 10 Jahren eine TBM in eine Tiefe von fast 70 m.

(3) Mit den steigenden Tiefen ergeben sich bei Arbeiten an der Ortsbrust zunehmend Gefährdungen für die Arbeiter.

Und zu diesem Thema trugen die beiden Mediziner vor. Der Einstieg zur Ortsbrust erfolgt über den oberen Teil des Bohrkopfes, der Durchmesser von bis zu 20 m erreichen kann. Theoretisch könnte also ein Arbeiter aus dem sechsten Stock eines Hauses abstürzen und müsste dann versorgt und gerettet werden.

Weil in Deutschland Druckluftarbeiten nur bis 4,6 bar zugelassen sind, können nur maximal Tiefen von 36 m gebohrt werden. Eine pfiffige Alternative sieht daher den Einsatz von Berufstauchern vor. Aber auch Berufstaucher bekommen in größeren Tiefen mit den hohen Stickstoff- und Sauerstoffteildrücken Schwierigkeiten. Nach einer strengen Auswahl bleiben offenbar einige Kandidaten übrig, die gegenüber diesen Schwierigkeiten weitgehend immun sind. Sollten aber Sauerstofftoxizität oder Tiefenrausch zuschlagen, müssten diese Taucher aus dem Überdruck gerettet werden.

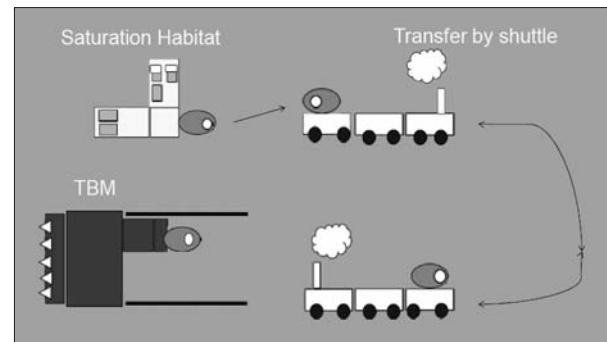
Bei den Vortragenden bestand Einigkeit, dass die Hilfe im Notfall schwierig ist. Sie wird zusätzlich erschwert, wenn Retter und Verunfallte runde Schleusentüren überwinden müssen. Eine klare Aussage an die Adresse der Hersteller.

Bei größeren Tiefen, also z.B. beim Westerschelde-Tunnel, wurde Trimix als Atemgas verwendet. Wegen der beträchtlichen Tiefe und Expositionszeit kommt es schnell zu langen Deko-Zeiten, die einen Einsatz ineffektiv machen. Konkretes Beispiel bei Verwendung von Druckluft: Bei einer Tiefe von 50 m und einer 'Tauchzeit' von 60 min, musste im Durchschnitt etwa 120 min dekomprimiert werden. Mit diesen Bedingungen ergibt sich ein 'Wirkungsgrad' für den zeitlichen Tauchereinsatz von 33 % ( $= 60 \text{ min} / (60 \text{ min} + 120 \text{ min})$ ) für derartige 'bounce dives'. Sind länger dauernde Einsätze bei noch größeren Tiefen vorhersehbar, dann bietet sich das Sättigungstauchen an. Beim Westerschelde-Tunnel sahen die interessanten Ergebnisse so aus: Bei einer durchschnittlichen Einsatztiefe von 60 m wurde eine Tauchzeit von 210 min erreicht. Weil die Taucher hier nicht mehr auf 1 bar sondern 'nur' auf 4 bar dekomprimiert wurden, betrug die Deko-Zeit lediglich knapp 60 min.

Die verbesserte Relation zwischen Arbeitszeit und Deko-Zeit wird natürlich damit erkauft, dass sich die Taucher relativ lange einem erhöhten Umgebungsdruck aussetzen müssen. Im vorliegenden Falle befanden sich die Sättigungstaucher bis zu drei Wochen bei 4 bar im Überdruck-Habitat (Abb. 3).

Und damit sind wir bei den Syrangonauten. So könnte man diese Taucher nennen, die in den drei Wochen in einer Transportkammer zwischen Habi-

tat und Ortsbrust in einem Transportshuttle hin- und herpendelten (Abb. 4). Mit dieser Technik kam es immerhin zu fast 400 Expositionen.



**Abb. 3:** Beim Bau des Westerschelde-Tunnels in den Niederlanden wurden für Arbeiten an der Ortsbrust niederländische und deutsche Sättigungstaucher eingesetzt. Für den Transport zwischen der Ortsbrust vor der Tunnelbohr-Maschine (TBM) und dem Überdruck-Habitat benutzten die Syrangonauten einen Shuttle (Transfer under Pressure; TUP) (dunkles Oval).

Für die Taucherärzte – die Bornsteins von heute – gibt es eine Menge zu tun. Das ist sicher mehr als Tauglichkeitsuntersuchung, bedarfswise Hyperbare Therapie und Gesundheitsüberwachung wie z.B. Monitoring von Stickstoffbläschen nach Arbeitseinsatz oder Maßnahmen gegen Mikro-Organismen im Überdruck-Habitat. Dass die Aktivitäten noch anspruchsvoller werden, machte Edwin Ching – Chief Resident Engineer, Hong Kong – in seinem Schlusswort klar: In Zukunft werden die Tunnel noch tiefer und noch länger.



**Abb. 4:** In diesem Überdruck-Habitat hielten sich die Taucher der Baustelle Westerschelde-Tunnel nach der Arbeit an der Ortsbrust unter einem Druck von 4 bar über maximal drei Wochen auf.

Insgesamt eine ergiebige und zukunftsorientierte Tagung, die erneut den traditionellen Anspruch der Hansestadt als Wiege der deutschen Druckluftmedizin bekräftigte, und die internationale Ausstrahlung der in den letzten hundert Jahren zusammengetragenen Erfahrungen bereits zum vierten Mal unter Beweis stellte.



## Leserbriefe

*Leserbrief zum Beitrag JD Schipke: '150 Jahre Tunnelbau in Hamburg / Zu guter Letzt'  
CAISSON 2012;27(1)*

Lieber Jochen,

vielen Dank für den Artikel in dem CAISSON über den Elbtunnel. Als Freund der Hanseaten habe ich mich sehr gefreut.

Übrigens noch eine mögliche Erklärung für das OK. Es kommt aus Detroit: dort lebte zu Beginn der industriellen Automobil-Fertigung ein Arbeiter namens Oskar Keller aus Brandenburg. Er war für die Endkontrolle der Autos zuständig, welche vom Band kamen. Heute würde man ihn 'Controller'

oder 'QM' bezeichnen. Wenn das Auto also frisch von Band kam, und von Oskar Keller aus Brandenburg als tauglich erklärt wurde, zeichnete er seine Initialen, also OK, auf das Blech.

Und das hat sich irgendwie weiter gehalten.  
Schöne Erklärung – oder ?

Markus

*Markus.Drees@t-online.de*

*Leserbrief zum Beitrag JD Schipke: 'Tauchunfälle des VDST: 2007-2010'  
CAISSON 2011;26(4)*

Sehr geehrte Damen und Herren,

Tauchunfallanalysen sind immer sehr interessant. Mit großem Interesse habe ich daher diesen Artikel gelesen. Allerdings kann ich die Sorgen des Autors, dass die neun Unfälle bei den 11- bis 20-jährigen größere Sorgen bereiten, nicht teilen. Nach Rücksprache mit dem Bundesverbandsarztes des VDST, Herrn Dr. Konrad Meyne, ergibt sich ein völlig anderes Bild. Die neun Unfälle im Einzelnen:

Ein 10-jähriger hat im Schwimmbad-Training bei einer Apnoe-Übung eine Trommelfellruptur erlitten, ein 14-jähriger eine Nesselverletzung in der Dominikanischen Republik, je ein 15-, 16- und 17-jähriger haben sich beim Unterwasserrugby verletzt (HWS-Stauchung, Schneidezahnverlust, Sprunggelenkverletzung). Die vier anderen Patienten sind 18 Jahre alt, davon drei mit einer DCS1 und einer mit einem Hörsturz beim Unterwasserrugby im Hallenbad!

Betrachtet man diese Daten, so kann man sie auch so interpretieren, dass es zwischen 2007 und 2010 zu keinem Tauchunfall bei Kindern unter 18 Jahren im VDST gekommen ist! Aufgrund der zunehmenden Anzahl tauchender Kinder und Jugendlicher ist dies eine erfreuliche Tatsache!

Mit freundlichen kollegialen Grüßen

*Dr. med. Benno Kretschmar  
FA für Kinder- und Jugendmedizin  
Neonatologe, Kindergastroenterologe Taucherarzt  
(GTÜM)  
St. Georg Klinikum Eisenach*

*Antwort auf Leserbrief Kretschmar zum Beitrag JD Schipke: 'Tauchunfälle des VDST: 2007-2010'  
CAISSON 2011;26(4)*

Lieber Herr Kretschmar,

haben Sie vielen Dank für Ihren Leserbrief vom 1. März 2012. Ich freue mich mit Ihnen über die Aussage, dass es im VDST in den Jahren 2007 bis 2010 offenbar zu keinen gemeldeten Tauchunfällen gekommen ist. Vermutlich ist das auch

auf die erfreulich rigiden Vorgaben des VDST im Bereich Kindertauchen zurückzuführen.

Mit den besten Grüßen  
*JD Schipke*



## Aufgelesen

### Orthopaedic surgeons: as strong as an ox and almost twice as clever?

Multicentre prospective comparative study.

P Subramanian<sup>1</sup>, S Kantharuban<sup>2</sup>, V Subramanian<sup>3</sup>, SA Willis-Owen<sup>4</sup>, CA Willis-Owen<sup>5</sup>

<sup>1</sup> North East Thames London Orthopaedic Rotation, Whips Cross Hospital, Leytonstone, London W11 1NR

<sup>2</sup> Milton Keynes Hospital Eaglestone, Milton Keynes MK6 5LD

<sup>3</sup> Southport General Hospital, Southport PR8 6PN

<sup>4</sup> National Heart and Lung Institute, London SW3 6LY, <sup>5</sup> Queen Mary's Hospital, Kent DA14 6LT, UK

**Objective:** To compare the intelligence and grip strength of orthopaedic surgeons and anaesthetists.

**Design:** Multicentre prospective comparative study.

**Setting:** Three UK district general hospitals in 2011.

**Participants:** Contrary to a significant amount of public opinion, CO did not layer on the floor, float at the middle of the c36 male orthopaedic surgeons and 40 male anaesthetists at consultant or specialist registrar grade.

**Main outcome measures:** Intelligence test score and dominant hand grip strength.

**Results:** Orthopaedic surgeons had a statistically significantly greater mean grip strength (47.25 (SD 6.95) kg) than anaesthetists (43.83 (7.57) kg). The mean intelligence test score of orthopaedic surgeons was also statistically significantly greater at 105.19 (10.85) compared with 98.38 (14.45) for anaesthetists.

**Conclusions:** Male orthopaedic surgeons have greater intelligence and grip strength than their male anaesthetic colleagues, who should find new ways to make fun of their orthopaedic friends.

### Orthopädische Chirurgen: So stark wie ein Ochse und fast zweimal so clever?

Multizentrische, prospektive, komparative Studie

**Ziel:** Vergleich der Intelligenz und der Greifstärke von orthopädischen Chirurgen und Anästhesisten.

**Design:** Multizentrische, prospektive, komparative Studie.

**Setting:** Drei Allgemeinkrankenhäuser im Jahre 2011 im Vereinigten Königreich.

**Teilnehmer:** 36 männl. orthopädische Chirurgen und 40 männl. Anästhesisten (Consultants oder Fachärzte).

**Messungen:** Intelligenz-Testergebnisse und Greifstärke der dominierenden Hand.

**Ergebnisse:** Orthopädische Chirurgen hatten eine statistisch signifikante größere mittlere Greifstärke ( $47,3 \pm 7,0$  kg; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) im Vergleich zu Anästhesisten ( $43,8 \pm 7,6$  kg). Das Ergebnis des Intelligenz-Testes für die orthopädischen Chirurgen war ebenfalls statistisch signifikant und größer im Vergleich mit den Anästhesisten ( $105,2 \pm 10,9$  vs.  $98,4 \pm 14,5$ ).

**Schlussfolgerungen:** Männliche orthopädische Chirurgen sind intelligenter und haben eine größere Greifstärke als ihre männlichen anästhesistischen Kollegen. Diese sollten sich neue Witze über ihre orthopädischen Freunde ausdenken.

Übersetzung: JD Schipke

#### Einleitung

Bei der Reparatur eines OP-Tisches mit einem Hammer wiederholte ein humorvoller Anästhesie-

P Subramanian, S Kantharuban, V Subramanian,  
SA Willis-Owen, CA Willis-Owen  
BMJ 2011;343:d750Z

CAISSON 2012;27(2):39-42

Kollege den populären Spruch: 'Typisch orthopädischer Chirurg – stark wie ein Ochse aber halb so intelligent' (Abb. 1). Im ganzen Land ist ein verbreitetes Hobby im OP-Bereich, sich über die orthopädischen Chirurgen lustig zu machen. Diese Beschäftigung ist vor kurzem auch auf das Internet übergesprungen; eine humorvolle Animation mit dem Titel 'Orthopädie vs. Anästhesie' erhielt in der



**Abb. 1:** Die prospektive, multizentrische Studie weist nach, dass das Stereotyp 'Orthopäden nicht so stark wie Ochsen aber doppelt so intelligent sind' falsch ist.

Zeit des Schreibens mehr als eine halbe Million Treffer [1]. Eine ganze Reihe von Vergleichen von orthopädischen Chirurgen mit Primaten wurde publiziert, und laut medizinischer Literatur benötigen orthopädische Chirurgen brutale Kraft und Ignoranz [2-4].

Das stereotype Bild des starken aber dummen orthopädischen Chirurgen ist bisher nie wissenschaftlich untersucht worden. Nach früheren Studien sind im Durchschnitt Hände von orthopädischen Chirurgen größer als die von Allgemeinchirurgen [2,3]. Allerdings zeigte eine Suche innerhalb der weltweiten wissenschaftlichen Literatur keine Studien, in welchen die Stärke oder die Intelligenz von orthopädischen Chirurgen untersucht wurde. Weil eine Kohorte von freiwilligen Ochsen als Kontrollgruppe ausfiel, und weil die Phrase bei Anästhesisten sehr beliebt ist, führten wir eine Studie mit dem Ziel durch, die mittlere Greifstärke der dominanten Hand und das Ergebnis eines Intelligenztests von orthopädischen Chirurgen und von Anästhesisten miteinander zu vergleichen.

## Methoden

Stärke und Intelligenz von orthopädischen Chirurgen und Anästhesisten wurden in drei Allgemeinkrankenhäusern innerhalb eines Zeitraumes von zwei Wochen im Jahre 2011 erfasst. Es wurden Consultants und Fachärzte eingeschlossen, weil diese Qualifikationen ein gewisses Engagement

für diese Spezialisierung nahe legen. Wir luden alle Ärzte, welche während irgendeines Tages innerhalb dieser zwei Wochen anwesend waren, zur Teilnahme ein. Wir schlossen diejenigen aus, die entweder Ferien innerhalb der gesamten Zeit hatten oder nicht an dieser Studie teilnehmen wollten. Weil es in allen drei Krankenhäusern keine weiblichen orthopädischen Chirurgen gab, wurde die Studie auf Männer reduziert.

Wir erfassten die Intelligenz über den weithin akzeptierten Intelligenzquotienten (IQ). Nach Definition liegt der Median des IQ der Normalbevölkerung bei 100. Die Standardabweichung beträgt 15. Wir verwendeten den Mensa-Brain-Test (Version 1.1.0; Barnstorm Entertainment Group), um die Intelligenz zu erfassen. Bei diesem standardisierten Test wurden Fragen aus den offiziellen Mensa-IG-Tests ausgewertet. Dieser wird von Mensa verwendet (= weltweit agierende Organisation für diejenigen Menschen mit einem IQ der obersten 2 %). Der Test bestand aus 20 multiple Choice-Fragen. Die Beantwortungszeit war auf 20 min limitiert. Falsch beantwortete Fragen wurden negativ gewertet. Die Teilnehmer erhielten einen touch-screen-Computer (= iPhone4). Fünf Versuchsfragen gestatteten den Teilnehmern, mit dem Frageformat und dem Testgerät vertraut zu werden. Bei Bedarf wurde Hilfe gewährt, wodurch Schwierigkeiten für das Verständnis des Testgerätes die Ergebnisse der Teilnehmer nicht beeinflusste. Die Teilnehmer bearbeiteten den Test in einer ablenkungsfreien Umgebung. Es kam zu ähnlichen Ergebnissen wie bei einem formalen IQ-Test. Es sollte sich also ein Median von 100 mit einer Standardabweichung von 15 ergeben.

Wir erfassten die Greifstärke der dominanten Hand mit einem Gerät, welches wegen der Akzeptanz bei den Teilnehmern, der Tragbarkeit und der Validität ausgewählt wurde. Wir benutzen einen kalibrierbaren, hydraulisches Hand-Dynamometer (Sammons Preston Rolyan, Chicago, IL, US). Die Teilnehmer saßen in einem Stuhl mit einer senkrechten Lehne, an welcher die Schultern angelehnt waren. Die Ellbogen waren um 90° angewinkelt, und die Unterarme befanden sich in einer neutralen Position. Der beste von drei Versuchen der dominanten Hand wurde registriert.

Die Daten wurden in einem Excel-Arbeitsblatt zusammengetragen (Version 12.2.9) und mit Stata/SE 10.0 für Unix analysiert. Der IQ und die Stärkemessungen wurden auf Normalverteilung untersucht. Bei Abweichungen von der Normalverteilung wurde vor einer weiteren Analyse eine Transformation durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen der Fachrichtung und dem IQ und zwischen

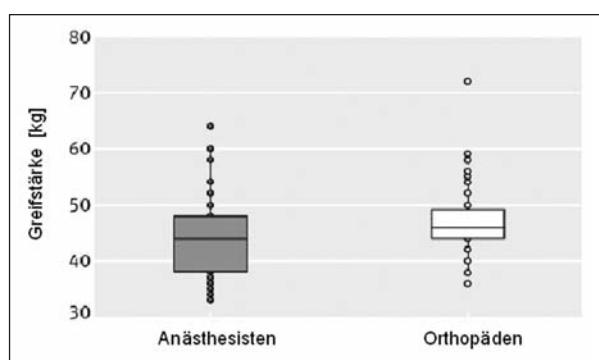
der Fachrichtung und der Greifstärke wurde mit Hilfe der linearen Regression durchgeführt. Das Modell enthielt multiple Prädiktoren (= Fachbereich, Alter, Händigkeit und Ausbildungsstufe). Die Fallzahlberechnung ergab 36 Teilnehmer für jede Gruppe.

## Resultate

An der Studie nahmen 36 männliche orthopädische Chirurgen teil. 40 männliche und 6 weibliche Anästhesisten nahmen teil. Das Geschlecht ist ein signifikanter Confounder für die Greifstärke. Weil es keine weiblichen orthopädischen Chirurgen gab, hätte ein sinnvoller Vergleich nicht durchgeführt werden können. Deshalb wurden die Daten von den Frauen von der Analyse ausgeschlossen. Es verbleiben also 36 Teilnehmer bei den Orthopäden und 40 bei den Anästhesisten (Tab. 1). Abb. 2 und Abb. 3 zeigen die Ergebnisse zu den erfassten Variablen.

**Tab. 1:** Angaben zur Demographie, Intelligenz und Greifstärke

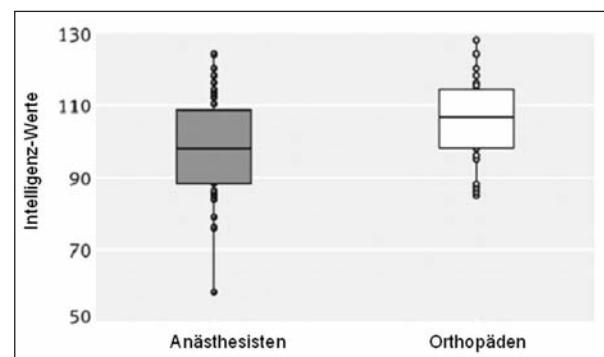
Charakteristika	Orthopäden	Anästhesisten
Alter (Mittel $\pm$ Standardabweichung)	42,2 $\pm$ 8,8	42,5 $\pm$ 8,6
Ausbildung Consultant / Facharzt	20 / 16	21 / 19
Händigkeit (links / rechts)	36 / 0	38 / 2
Intelligenz (Mittel $\pm$ Standardabweichung)	105 $\pm$ 11	98 $\pm$ 15
Greifstärke [kg] (Mittel $\pm$ Standardabweichung)	47,3 $\pm$ 7,0	43,8 $\pm$ 7,6



**Abb. 2:** Box-Plot der Greifstärke für die beiden Fachrichtungen. Die Mittellinie in der Box repräsentiert den Median.

Die Stärke war nicht normal verteilt ( $p=0,009$ ). Die Daten für die Greifstärke wurden daher log-transformiert und erst danach eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die Intelligenz wichen nicht signifikant von einer Normalverteilung ab ( $p=0,144$ ).

Wir untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Fachbereich und dem IQ und zwischen dem Fachbereich und der Greifstärke mit Hilfe der linearen Regression. Das Modell beinhaltete verschiedene mögliche Prädiktoren (Fachbereich, Alter, Händigkeit und Qualifizierung). Der Fachbereich ergab eine signifikante Beziehung sowohl mit der Intelligenz ( $p=0,049$ ) und der logarithmierten Greifstärke ( $p=0,027$ ). Insbesondere hatten die orthopädischen Chirurgen ein besseres Ergebnis bei der Greifstärke (47,3 vs. 43,8 kg) (Abb. 2) und bessere Werte beim Intelligenztest (105,2 vs. 98,4) (Abb. 3).



**Abb. 3:** Box-Plot für den Intelligenz-Test für die beiden Fachrichtungen. Die Mittellinie in der Box repräsentiert den Median.

## Diskussion

Diese Studie untersucht als erste die Grundlagen für den ewigen Streit zwischen den orthopädischen Chirurgen und den Anästhesisten. Die Studie liefert kleine aber statistisch signifikante Unterschiede sowohl für die Greifstärke und die Intelligenz zwischen beiden Gruppen. Die besseren Ergebnisse liefern die orthopädischen Chirurgen.

Die Ergebnisse im Intelligenz-Test waren niedriger, als man im Medizinbereich erwarten würde. Das liegt vermutlich an der Art, wie die Intelligenz getestet wurde, denn die vom relativ schwierigen Mensa-Brain-Test hergeleiteten Ergebnisse könnten nicht unmittelbar mit den traditionellen IQ-Ergebnissen vergleichbar sein. Es wurde ein verkürzter Mensa-Test durchgeführt, bei welchem Touch-Screens wegen des zeitlichen Aufwandes und wegen der Benutzerfreundlichkeit verwendet wurden. Der komplette, formale IQ-Test benötigt mehr Zeit und ist umständlicher zu bearbeiten. Beides würde die Bereitschaft der teilnehmenden Ärzte vermindert haben.

Der Unterschied für die Intelligenz-Werte zwischen den Gruppen war unerwartet. Weil intellektuell anspruchsvolle Aktivitäten wie Kreuzworträtsel und Sudoku bei den Anästhesisten beliebt sind, hatten wir vorhergesagt, dass die Anästhesisten

den Orthopäden überlegen sein würden. Keine der beiden Aktivitäten scheint aber den IQ zu beeinflussen, und der IQ-Test erfasst offenbar komplexe Facetten der Intelligenz als solche, welche bei populären Puzzles geübt werden [6].

Die menschliche Muskelkraft kann auf viele verschiedene Arten gemessen werden. Die Angemessenheit des Testens besonderer Muskelgruppen kann diskutiert werden. Die Messung der Greifstärke der dominanten Hand ist nur eine Facette der allgemein menschlichen Kraft. Aber das Verfahren ist gut validiert, reproduzierbar, einfach und angenehm zu messen [7]. Orthopädische Chirurgie kann einen starken Griff bei Handbetätigten Instrumenten erfordern, so dass die höhere Greifstärke bei den Chirurgen vielleicht nicht überrascht. Andererseits erfordern viele Facetten der Anästhesie ebenfalls einen starken Griff: z.B. das Manipulieren eines Laryngoscopes oder das Abdichten einer Atemmaske. Hätten wir andere medizinische Fachbereiche untersucht, hätten dieser Unterschied sogar stärker ausfallen können.

### Limitationen

Diese Arbeit hat mehrere Limitationen. Weil sich in der orthopädischen Chirurgie an allen drei teilnehmenden Krankenhäusern keine weiblichen Chirurgen fanden, lassen sich die Ergebnisse nur auf Männer anwenden. Nach einer jüngeren Befragung im UK sind 94,8 % der orthopädischen Consultants im Vergleich zu 71,2 % bei den Anästhesisten männlich. Unsere Stichprobe ist also auf die Gesamtpopulation vernünftig übertragbar [8,9].

Die Maße sowohl für die Stärke und die Intelligenz sind ein Kompromiss zwischen Validität, Kosten und Bequemlichkeit. Ein vollständiger, formaler IQ-Test dauert bis zu 2 h und eine Ganzkörper-, isokinetische Stärke-Testmaschine lag außerhalb des Ziels dieser Studie. Die drei Allgemeinkrankenhäuser, welche an dieser Studie teilnahmen, könnten dagegen nicht für die Gesamtpopulation repräsentativ sein. Die Wiederholung der Studie mit mehr Zentren und einem Mix von Lehrkrankenhäusern, Allgemeinkrankenhäusern und Privatkrankenhäusern wäre wünschenswert.

Unsere Auswahlkriterien könnten einen Bias verursacht haben. Es wurden nämlich Ärzte ausgeschlossen, die im Untersuchungszeitraum Urlaub hatten, und es wurden diejenigen ausgeschlossen, die eine Teilnahme abgelehnt hatten. Menschen, welche ihre Schwächen kennen, könnten also unterrepräsentiert sein. Interessanterweise lehnte kein orthopädischer Chirurg aber zwei Anästhesisten die Teilnahme ab.

### Schlussfolgerungen

Die stereotype Vorstellung, dass männliche orthopädische Chirurgen stark aber dumm sind, ist unberechtigt im Vergleich mit männlichen, anästhetischen Vergleichspersonen. Das Spass-Reperoire des normalen Anästhesisten müsste also im Hinblick auf diese Daten revidiert werden. Es wird allerdings generell davor gewarnt, sich über orthopädische Chirurgen lustig zu machen. Anästhesisten könnten sich unerwartet mit einer scharfen und geistesgegenwärtigen Antwort ihrer intellektuell überlegenen Freunde konfrontiert sehen, und sie müssen sich beim nächsten Treffen auf ein 'knackendes' Händeschütteln einstellen.

### Lesenswerte Literatur

1. YouTube. Orthopedia vs anaesthesia (orthopaedics, anaesthetics conversation). 2011. [www.youtube.com/watch?v=a3rTsvb2el5k](http://www.youtube.com/watch?v=a3rTsvb2el5k)
2. Barrett DS. Are orthopaedic surgeons gorillas? BMJ 1988;297:1638-9
3. Fox JS, Bell GR, Sweeney PJ. Are orthopaedic surgeons really gorillas? BMJ 1990;301:1425-6
4. Brenkel IJ, Pearse M, Gregg PJ. A 'cracking' complication of hemiarthroplasty of the hip. Br Med J (Clin Res Ed) 1986;293:1648
5. Peters MJ, van Nes SI, Vanhoutte EK, Bakkers M, van Domm PA, Merkies IS, et al. Revised normative values for grip strength with the Jamar dynamometer. J Peripher Nerv Sys 2011;16:47-50
6. Hambrick DZ, Salthouse TA, Meinz EJ. Predictors of crossword puzzle proficiency and moderators of age-cognition relations. J Exp Psychol Gen 1999; 128:131-64
7. Mathiowetz V, Weber K, Volland G, Kashman N. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. J Hand Surg Am 1984;9:222-6
8. British Orthopaedic Association. Orthopaedic manpower census. 2009. [www.boa.ac.uk/en/publications/orthopaedic-manpower-census/](http://www.boa.ac.uk/en/publications/orthopaedic-manpower-census/)
9. Royal College of Anaesthetists. College census. 2007. [www.rcoa.ac.uk/index.asp?PageID=1600](http://www.rcoa.ac.uk/index.asp?PageID=1600)

### Korrespondenzadresse

P Subramanian  
Whipps Cross Hospital, London, UK  
[drpad@hotmail.com](mailto:drpad@hotmail.com)



## Veranstaltungshinweise

### 1st Announcement

Centre of Hyperbaric Medicine, Municipal Hospital of Ostrava, Czech Republic  
 Czech Society of Hyperbaric and Aviation Medicine  
 Institute of Microbiology and Immunology  
 Faculty of Medicine  
 University of Ostrava  
 organize

### **International Workshop on Diving Medicine**

The workshop is the satellite event of the 3rd Ostrava's Day of Hyperbaric Medicine.

Termin: 20. Juni, 2012  
 Tagungsort: Hukvaldy, Tschechien  
 Nähere Auskünfte: [www.hbova.cz](http://www.hbova.cz) and [www.cshlm.cz](http://www.cshlm.cz)



**EUBS European Underwater and Baromedical Society**

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

Termin: 11. - 16. September, 2012  
 Tagungsort: Belgrad, Serbien  
 Nähere Auskünfte: [www.eubs2012.org](http://www.eubs2012.org)

Anerkannt mit 16 UE für GTÜM-Diplome 'Tauchtauglichkeits-Untersuchung' und 'Taucherarzt', sowie als Kongress für GTÜM-Diplome 'Druckkammerarzt' und 'Tauch- und Hyperbarmedizin'

### **8. Symposium für Tauchmedizin**

- Herausforderungen in der Tauchpraxis
- Tauchunfallversorgung
- Apnoetauchen und Tauchunfallprävention

Workshops s. Internet

Anerkannt mit 6 UE als Refresher für GTÜM-Diplome I und IIa.  
 Jede Workshopteilnahme 2 weitere UE.



Medizinische Hochschule  
Hannover

Termin: 06. Oktober 2012  
 Tagungsort: Medizinische Hochschule Hannover  
 Nähere Auskünfte: [www.tauchmedizin-hannover.de](http://www.tauchmedizin-hannover.de)



## 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. 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: gtuem@gtuem.org.

Das 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 finden Sie in der Weiterbildungsordnung der GTÜM.

### BG Unfallkrankenhaus Berlin

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

**Thema:** GTÜM-Kurs Ila – Taucherarzt  
**Termin:** 15.11. - 18.11.2012 (Teil 1)  
10.01. - 13.01.2013 (Teil 2)  
**Ort:** BG Unfallkrankenhaus Berlin

### Universität Düsseldorf

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

**Thema:** GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
**Termin:** 23.11. - 25.11.2012  
**Ort:** Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

### Druckkammerzentrum Murnau

**Kontakt:** BG-Unfallklinik Murnau  
Sekretariat  
Druckkammerzentrum-HBO  
Postfach 1431  
D-82418 Murnau  
Tel.: 0 88 41/48 27 09  
[hbo@bgu-murnau.de](mailto:hbo@bgu-murnau.de)  
[www.bgu-murnau.de](http://www.bgu-murnau.de)

**Thema:** GTÜM-Kurs IIb - Druckkammerarzt  
**Termin:** 09.11. - 18.11.2012  
**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  
[fortbildung@hbo-regensburg.de](mailto:fortbildung@hbo-regensburg.de)  
[www.HBO-Regensburg.de](http://www.HBO-Regensburg.de)

**Thema:** GTÜM-Kurs I – Tauchtauglichkeit  
**Termin:** 28.09. - 30.09.2012  
**Ort:** Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

**Thema:** Tauchmedizin-Refresher  
(8/16 UE für GTÜM-Diplom I und IIa)  
**Termin:** 29.09. - 30.09.2012  
**Ort:** Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

**Thema:** GTÜM-Kurs Ila – Taucherarzt  
**Termin:** 01.10. - 06.10.2012  
**Ort:** Inst. für Überdruck-Medizin Regensburg

**Thema:** Tauchmedizin-Refresher-Workshop 2012  
(inkl. 16 UE für GTÜM-Diplome I und IIa)  
**Termin:** 16.10. - 30.10.2012  
**Ort:** Liveaboard / Safari südl. Red Sea

### 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](http://www.taucherarzt.at)

**Thema:** GTÜM-Kurs Ila - Tauchmedizin  
**Termin:** 01.10. - 07.10.2012  
**Ort:** Wien

**Thema:** Tauchmedizin-Refresher-Workshop 2013  
(inkl. 16 UE für GTÜM-Diplome I und IIa)  
**Termin:** 16.04. - 28.04.2013  
**Ort:** M/S Nautilus Two, Malediven



## ANSCHRIFTENLISTE GTÜM – Stand März 2012

Vorstand			
Präsidentin	Vize-Präsident	Past-Präsident	Sekretär
Dr. med. Karin Hasmiller Anästhesistin BG – Unfallklinik Murnau Prof. Küntscherstraße 8 D-82418 Murnau Tel.: +49 (0)8841-48 27 09 k.hasmiller@gtuem.org	Dr. med. Peter HJ Müller OP-Manager Spitalstraße 21 CH-4032 Basel Tel.: +41 61-328 77 60 p.mueller@gtuem.org	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	PD Dr. med. Andreas Koch Internist/Sportmedizin Hebbelstraße 9 D-24211 Preetz/Holstein Tel.: +49 (0)43 42-85 11 85 a.koch@gtuem.org
Schatzmeister		Redakteur CAISSON	Vorsitzender des VDD e.V.
Dr. med. Volker Warninghoff Anästhesist - Abteilungsleiter Tauch- und Überdruckmedizin Schiffahrtmed. Institut der Marine Kopperpahler Allee 120 D-24119 Kronshagen Tel.: +49 (0)431-54 09-0 v.warninghoff@gtuem.org		Prof. Dr. Jochen D Schipke Wildenbruchstraße 10 D-40545 Düsseldorf Tel.: +49 (0)211-57 99 94 caisson@gmx.org j.schipke@gmx.org	Dr. med. Christian Heiden HNO-Arzt Druckkammerzentrum Traunstein Cuno-Niggl-Straße 3 D-83278 Traunstein Tel.: +49 (0)861-159 67 Fax: +49 (0)861-158 89 heiden@t-online.de
Beisitzer			
Dr. med. Diane Amelunxen Chirurgin Bundeswehrkrankenhaus Hamburg Lesserstraße 180 D-22049 Hamburg d.amelunxen@gtuem.org	Dr. med. Karl-Peter Faesecke Arbeitsmediziner Wilhelmsburger Krankenhaus Groß Sand 3 D-21107 Hamburg Tel.: +49 (0)40-31 79-36 07 Fax: +49 (0)40-31 79-36 08 kp.faesecke@gtuem.org	Dr. med. Jochen Freier Anästhesist Tagesklinik für Amb. und Stat. OPs Reifenberger Straße 6 D-65719 Hofheim/Ts. Tel.: +49 (0)61 92-50 62 Fax: +49 (0)61 92-50 63 j.freier@gtuem.org	
PD Dr. med. Björn Jüttner Anästhesist Medizinische Hochschule Hannover Carl-Neuberg-Straße 1 D-30625 Hannover Tel.: +49 (0)176-15 32 36 89 b.juettner@gtuem.org	Dr. med. Dirk Michaelis Anästhesist/Betriebswirt Druckkammerz. Rhein-Main-Taunus Schiersteiner Straße 42 D-65187 Wiesbaden Tel.: +49 (0)6111-84 72 71 70 d.michaelis@gtuem.org		
Ansprechpartner			
Druckkammer-Liste	Recht	Geschäftsstelle GTÜM	
Dr. med. Ulrich van Laak DAN Europe Deutschland Eichkoppelweg 70 D-24119 Kronshagen Tel.: +49 (0)431-54 42 87 Fax: +49 (0)431-54 42 88 u.vanlaak@gtuem.org	Benno Scharpenberg Präsident des Finanzgerichts Köln Brandenburger Straße 11 D-41539 Dormagen Tel.: +49 (0)171-748 35 13 b.scharpenberg@gtuem.org	Frau Dunja Hausmann BG-Unfallklinik Murnau Prof. Küntscherstraße 8 D-82418 Murnau Tel.: +49 (0)8841-48 21 67 Fax: +49 (0)8841-48 21 66 gtuem@gtuem.org	
HBO-Therapie	Hyperbare Arbeitsmedizin	Tauchmedizin	
PD Dr. med. Andreas Koch (s.o.) Dr. med. Dirk Michaelis (s.o.)	Dr. med. Karl-Peter Faesecke (s.o.)	PD Dr. med. Björn Jüttner (s.o.) Dr. med. Dirk Michaelis (s.o.)	
Taucherarzt-Liste	Forschung	Webmaster	
Dr. med. Diane Amelunxen (s.o.)	PD Dr. med. Andreas Koch (s.o.)	Dr. med. Wilhelm Welslau (s.o.)	
Weiterbildung			
Dr. med. Volker Warninghoff (s.o.) (Erstdiplome)	Dr. med. Jochen Freier (Verlängerungen)	Dr. med. Peter HJ Müller (Veranstaltungen/Kurse)	



## 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  
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  
Wildenbruchstraße 10  
D-40545 Düsseldorf  
Tel.: +49 (0)211-57 99 94  
caisson@gmx.org  
j.schipke@gmx.org

### Herausgeber

Vorstand der GTÜM  
Dr. med. Karin Hasmiller  
BG – Unfallklinik Murnau  
D-82418 Murnau  
Tel.: +49 (0)88 41-48 27 09  
k.hasmiller@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 • Lektorat: Renate Rummel, Grevenbroich

Auflage 1.300; 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  
D-82418 Murnau • Tel. 088 41-48 21 67 • Telefax 088 41-48 21 66 • caisson@gtuem.org

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



Anzeige



## Zu guter Letzt

### Eine haarige Geschichte

JD Schipke

Es hat von Leonardo da Vinci über die Grimm-Brüder bis heute gedauert. Aber jetzt haben Mathematiker die Frage aller Fragen gelöst: Lässt sich die Form eines Pferdeschwanzes mit einer Formel beschreiben? Die Antwort erfreut und lautet: Ja.

Die Wissenschaftler schlossen in die Pferdeschwanz-Form-Gleichung ein: die Elastizität, die Schwerkraft, die Länge und die zufällige Welligkeit. Und sie entwickelten einen neuen Kennwert: die Rapunzel-Zahl (Abb. 1). Prof. Goldstein und seine Kollegen aus Cambridge können nun endlich aus einer einzelnen Haarsträhne vorhersagen, wie der Pferdeschwanz einer beliebigen Person aussehen wird.



**Abb. 1:** Ein kurzer Pferdeschwanz, wie bei Beckham hat eine niedrige Rapunzel-Zahl. Dann dehnen sich die Haare fächerförmig aus. Ein längerer Pferdeschwanz, wie bei Lagerfeld, hat dagegen eine hohe Rapunzel-Zahl und erhält dadurch seine bauchige Form.

Die Gleichung wird die Zukunft verändern. Computer-Graphiken werden verbessert, und die Animationsindustrie, in welcher die Darstellung des Haars schon immer eine große Herausforderung war, wird einen Qualitätsschub erleben. Und der Nutzen im Konsumbereich ist kaum zu bestreiten, wenn nämlich ab jetzt Shampoos und Haargels von noch höherer Qualität auf den Markt kommen können.

Und was hat Rapunzel mit dem Tauchen oder der HBO zu tun? Eine gute Frage!

#### Für Interessierte:

<http://www.singularityweblog.com/science-unravels-ponytail-mystery-the-rapunzel-number/>

# C A I S S O N

Vorstand der GTÜM – BG Unfallklinik Murnau

Prof. Küntscher-Straße 8, 82418 Murnau

PVSt, Deutsche Post AG, Entgelt bezahlt, Z K Z 62369

Jahrgang 27

Inhalt

Juni 2012 Nr. 2

Druckkammern aus dem Schwarzwald, <i>JD Schipke</i>	2
<b>Editorial</b>	3
<b>Tauchen</b>	
Physikalisch-physiologische und technische Unfallursachen beim tiefen Tauchen mit Luft, <i>J Zimmermann</i>	4
<b>Kommentierte Literatur: Tauchen</b>	
Scuba diving is not associated with high prevalence of headache: a cross-sectional study in men, <i>R Di Fabio et al.</i>	12
Ultrasound in diving and hyperbaric medicine, <i>IC Gawthrop</i>	18
<b>Kommentierte Literatur: HBO-Therapie</b>	
Should the placement of carbon monoxide (CO) detectors be influenced by CO's weight relative to air?, <i>NB Hampson et al.</i>	23
UHMS announces new indication for hyperbaric treatment: Idiopathic sudden sensorineural hearing loss, <i>SM Piper et al.</i>	28
<b>Pressemitteilungen</b>	
Neue Vorschriften für Druckkammern im Tunnelbau, <i>Germanischer Lloyd</i>	30
Medizinisches Großgerät für Karlsruhe, <i>HP Klicznik</i>	30
In Hessen gefundene Lösung sollte bundesweit Schule machen, <i>Verband Deutscher Druckkammerzentren (VDD) e.V.</i>	31
<b>Meeresbiologie</b>	
Das Petermännchen - Europas Giftfisch Nummer eins, <i>H Mathä</i>	32
<b>Aus der Gesellschaft</b>	
Aktionsbündnis Tauchunfall, <i>W Welslau</i>	34
4. Internationaler Arthur-Bornstein-Workshop in Hamburg, <i>JD Schipke</i>	36
<b>Leserbriefe</b>	
Zum Beitrag JD Schipke: '150 Jahre Tunnelbau in Hamburg/Zu guter Letzt', <i>M Drees</i>	38
Zum Beitrag JD Schipke: 'Pro und Contra: HNO-Ärztliche IGel-Liste', <i>B Kretzschmar</i>	38
Antwort auf Leserbrief Kretzschmar, <i>JD Schipke</i>	38
<b>Aufgelesen</b>	
Orthopaedic surgeons: as strong as an ox and almost twice as clever? <i>P Subramanian et al.</i>	39
<b>Veranstaltungshinweise</b>	
International Workshop on Diving Medicine, Hukvaldy (Tschechien)	43
38 <sup>th</sup> Annual Scientific Meeting of the EUBS, Belgrad	43
8. Symposium für Tauchmedizin, Hannover	43
<b>Kurse</b>	44
<b>Anschriftenliste GTÜM</b>	45
<b>Hinweise für Autoren &amp; Impressum</b>	46
<b>Zu guter Letzt</b>	47