

---

# Dekompression ist mehr.....

## als Tauchcomputer und Software

U.Breidenstein

---

Das neue Modell des Tauchcomputers XY von Hersteller YZ, ist die neueste Innovation in der Dekompressionstheorie, ach.... Druckfest bis 200m+, OLED Display, Gehäuse aus dem Vollen gearbeitet, Drucksensor von Hersteller Y .... bla bla.

Alles geprüft und zertifiziert, DIN, ISO, PSA, außer (im Kleingedruckten steht es) die zur Berechnung verwendete Software bzw. Algorithmen mit ihren diversen Verschlimmbesserungen.

INFO: Tauchcomputer Möglichkeiten und Grenzen - Prof. Albert Salm  
<http://www.divetable.info/skripte/HBO-RMT.pdf>

Eine Möglichkeit sind Geräte mit Open Source Software oder nachvollziehbaren Berechnungen, sie haben den Vorteil dass überprüft werden kann was berechnet wird und im besten Fall wie.

Je mehr Möglichkeiten bestehen Faktoren am Tauchcomputer einzustellen, zu verändern, umso größer sollte, muss das Wissen sein, welchen Einfluss diese Veränderungen auf die Dekompressionsberechnung haben. Aber das möchte ich nicht zum Thema diese Artikels machen, vielmehr die beeinflussbaren Faktoren die durch unser Verhalten zu einer besseren Dekompression beitragen können.

**Definition des Begriffs Dekompression (Wiki)**

Als Dekompression bezeichnet man beim Tauchen die kontrollierte Verminderung des Drucks zur Verhinderung der Dekompressionskrankheit. Die Dekompression wird anhand empirischer Tabellen (Dekompressionstabellen) oder mit Hilfe von Tauchcomputern durchgeführt, die auf einem Dekompressionsmodell basieren. Dabei legen Tauchzeit, Tauchtiefe und weitere Faktoren die Anreicherung von Inertgas (Stickstoff Helium) im Körper und somit die benötigte Dekompressionszeit fest. Die Dekompression geschieht in der Regel in Stufen (Dekompressionsstopps) abnehmender Tiefe und verschiedener Dauer.

**Es sind weit mehr Faktoren, die eine funktionierende Dekompression ausmachen als gemeinhin angenommen.**

## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| Definition des Begriffs Dekompression (Wiki).....        | 2  |
| Dehydratation.....                                       | 4  |
| Fitness.....   | 4  |
| Alkohol, Nikotin, Medikamente, Drogen.....               | 5  |
| Oxygen Window .....                                      | 6  |
| Zentralnervensystem ZNS, CNS central nervous system..... | 6  |
| Temperatur.....  | 7  |
| Gase .....   | 7  |
| Deep Stop.....   | 8  |
| Auftauchen.....  | 9  |
| Bewegung .....   | 9  |
| Wasserlage .....   | 10 |
| Aufstiegsgeschwindigkeit.....                            | 11 |
| Nach dem Tauchgang .....                                 | 11 |
| PFO (Dr. O.Khan) .....                                   | 12 |
| Links / Literatur .....                                  | 18 |

## Dehydratation

Die Dehydratation ist der krankhafte Zustand des Missverhältnisses der Flüssigkeiten im Körper und muss vermieden werden. Ein ausgeglichener Flüssigkeitshaushalt, insbesondere in der Deko ist mehr als wichtig. Da der Gasaustausch über unser Blut als Transportmittel geregelt wird hat eine Verdickung des Blutes einen direkten Einfluss auf die Deko, und führt somit zu einer Erhöhung des DCS Risikos. Um diesen Zustand zu vermeiden muss mit der Zufuhr von Flüssigkeit schon länger vor dem Tauchgang begonnen werden. (Saft, Wasser, Tee). Bei längeren Tauchgängen muss auch während des Tauchgangs oder spätestens auf der Deko, Flüssigkeit zugeführt werden. Dass führt in der Folge natürlich zu einem menschlichen Bedürfnis. Es gibt heute im Tauchsport sehr gut funktionierende Urinal Ventile, auch Ausführungen für Frauen (hier möchte ich mangels Erfahrung das „sehr gut“ auf das Ventil beschränken), aber besser als Windeln. Ein vertretbarer und sehr effektiver Aufwand im Vergleich zu den Anstrengungen die unternommen werden die Deko zu verbessern.

## Fitness

HerzKreislauf System OK, Lungenfunktion ohne Einschränkung und der HNO sollte auch freie Sicht auf das sich bewegende Trommelfell haben. Dass sagt aber noch nichts über die allgemeine Fitness aus. Ausdauertraining, Laufen, Radfahren, Schwimmen oder im Fitnessstudio, zweimal in der Woche 30 Min sollten das Minimum sein. Übergewicht ist relativ, mit tauchfertigem Gerät und Stage 100-150m zum Einstieg laufen ist beim technischen Tauchen ein schöner Test. Bei schwerem Equipment D12 mit Blei, D18 oder Scooter muss das Heben gelernt werden oder die Bandscheiben leiden. Ein CCR mit kleinen Flaschen ist eine Alternative und erlaubt Tauchgänge die selbst mit D20 und Bottem Stage nicht möglich sind. Die Bailout Stages sind bei beiden Konfigurationen vergleichbar und können einzeln transportiert werden. (aber beim CCR, sind die nach dem Tauchgang noch voll).



## Oxygen Window

Auch die Begriffe „inhärente Untersättigung“ , „Sauerstoff Fenster“ beschreiben dasselbe physikalische Phänomen, bestimmt schon mal gehört. Abstrakt: Der Druckunterschied vom venösen pO<sub>2</sub> zum arteriellen pO<sub>2</sub> beträgt 50mmHg. Der venöse pO<sub>2</sub> ist geringer da der auf arterieller Seite transportierte Sauerstoff teilweise metabolisiert wurde. Durch die Verstoffwechslung des O<sub>2</sub> sinkt der pO<sub>2</sub> wird aber nicht im gleichen Maß durch den dabei entstehenden CO<sub>2</sub> ausgeglichen. Diese Differenz der Partialdrücke der arteriellen zur venösen Seite nennt man „Oxygen Window“. Der Nutzen beim Tauchen bzw. bei der Deko erklärt sich bei der Betrachtung der Druck-verhältnisse bei der Sauerstoffdekompression auf 6m. Druck absolut 1,6 bar = 1216mmHg. Auf der arteriellen Seite haben wir einen Druck von 961mmHg zu venös nur 150 mmHg. Dieses Druckgefälle von >1000mmHg nutzen wir zum Abtransport von gelöstem Inert Gas (Stickstoff / Helium) Das maximale Fenster ist bei einem Absoluten Druck von 1600mmHg erreicht das sind 2100mbar (10mWS). Dabei wird eine Druckdifferenz von 1400mmHg erreicht. Somit macht eine Sauerstoffdekompression auf 9m Sinn. Voraussetzung ist ein trockenes Habitat mit der Möglichkeit den Taucher zu beobachten. Schädigungen der Lunge bzw. Auswirkungen auf das ZNS müssen ausgeschlossen werden. Eine Möglichkeit die Nachteile, Schädigung des Lungengewebes (Alveole Membran) zu verringern ist die Unterbrechung der O<sub>2</sub> Zufuhr. Mit sogenannten Air oder Gas Breaks wird ca. alle 10-15 Min. die O<sub>2</sub> Versorgung unterbrochen, dabei entsteht ein push pull Effekt in den Geweben. Dieser Effekt ist so gut dass die Zeit der Unterbrechung nicht von der gesamt Dekompressionszeit abgezogen wird.

## Zentralnervensystem ZNS, CNS central nervous system

Die Beeinträchtigung unseres Nervensystems durch erhöhten Sauerstoff ist nicht zu unterschätzen, aber auch kein unlösbares Problem. Es gibt feste Werte, 100% ZNS hört sich Absolut an, wie eine feste Grenze die es aber so nicht gibt. Die Sauerstoffintoleranz eines jeden Menschen ist sehr unterschiedlich. Auch sind die individuellen Tages und Form Schwankungen recht groß. Die Grenze von 100% ist zurzeit definiert als Einwirkung von reinem O<sub>2</sub> bei 1,6bar über einen Zeitraum von 45 Minuten. Dies ist keine absolute Grenze, bei Überschreitung setzen keine Symptome ein. (Vergleichbar der 40m Grenze die als N<sub>2</sub> Narkoseschwelle definiert ist, in diesem Fall können Symptome früher aber auch später auftreten.) Es werden regelmäßig Werte weit über 100% ZNS symptomlos überschritten. Das sollte aber nicht die Regel sein bei der Dekompression Berechnung ist diese Grenze ein sehr guter Anhaltspunkt. Berechnungen mit Ergebnissen im Bereich 110-120% ZNS bei einer sonst sauberen Deko Strategie sind zu tolerieren, und nicht mit der Brechstange zu unterschreiten. Bei der Berechnung der Bottem Gase ist der ppO<sub>2</sub> ein gutes Mittel um den ZNS Wert zu steuern. Bei eCCR kann der ppO<sub>2</sub> auf 1.1bar oder im Extremfall auf 1,0bar geregelt werden. In der Deko wird dieser Wert wieder erhöht.

## Temperatur

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Temperatur beim Tauchen in einem angenehmen Bereich zu halten. Angenehm ist aber nicht der Grund warum auf ausreichende Temperierung geachtet werden muss. Bei Wärmeverlust beginnt der menschliche Körper seine Blutversorgung zu zentralisieren, bedeutet erst werden die Finger, Füße und Haut minderversorgt. In diesem Stadium wird unsere Dekompression schon sehr beeinflusst. Um dies zu verhindern gibt es verschiedene Möglichkeiten. Trockentauchanzug ist klar aber die Wahl der Unterzieher hat entscheidenden Einfluss. Ein bis zwei Lagen Funktionsunterwäsche und ein Unterzieher von 200-400gr/m<sup>2</sup> ist das Übliche. Auch zwei Unterzieher übereinander werden getaucht, Ziel ist ein nicht komprimierbares Luftpolster zu schaffen. Es gibt Unterzieher die solche Polster eingearbeitet haben. Reichen diese Maßnahmen wegen der Dauer des Tauchganges oder der niedrigen Temperatur nicht mehr aus, muss Wärme aktiv zugeführt werden. Elektrisch betriebene Heizwesten, Handschuhe oder Overalls gibt es in großer Auswahl, mit klassischem Heizdraht, IR Kissen... oder was noch kommt. Bei Explorationen im Kaltwasser kommen sogenannte Habitats zum Einsatz, nicht nur wegen der Sauerstoffdekompression ab 9m, auch die Temperaturregelung ist einfacher. Auch warme Getränke und Essen sind möglich. Je länger die Deko wird desto größer der Aufwand: Spool, Haken, Rigg, Floating Rigg, Habitat, selbst der Einsatz einer Atemgasheizung wird in Extremfällen möglich. (H.Meier).

## Gase

Helium in unserem Atemgas verschlechtert erst einmal die Deko, die Dekoverpflichtung wird größer, bei gleicher Tiefe zu Luft schneller und länger? Helium ist ein schnelles Gas bedeutet es geht schnell in unsere Gewebe, daher die frühe Aufsättigung. Es wird aber auch schnell abgeatmet. Helium wird für Atemgase (Trimix, Heliox) verwendet um den Stickstoffanteil zu verringern, um den in größeren Tiefen oder längerem Aufenthalt in mittleren Tiefen führenden Tiefenrausch durch die Stickstoffnarkose zu vermeiden.

100% Sauerstoff auf der 6m Dekompressionsstufe ist heute selbstverständlich und Problemlos durchzuführen (ppO<sub>2</sub> 1.6bar, siehe Oxygenwindow). Mischungen mit 80% O<sub>2</sub> sind aufwendig in der Herstellung und nicht so effektiv in der Anwendung. (Bei reinem O<sub>2</sub> hat man auch immer gleich Therapie Sauerstoff vor Ort) Auch das erste Dekogemisch hat bei einer Einsattiefe von 21m einen O<sub>2</sub> Anteil von 50% oder ppO<sub>2</sub> 1.6bar, ein Heliumanteil im verwendeten Deko Gas in Abhängig vom Eingesetzten Bottem Gas von 15-25% ist möglich.

## Deep Stop

Deep Stop, schon mal gehört. Stark verlangsamter Aufstieg aus der Tiefe, Pyle Stops, Blasenmodell - VPM, Wienke - RGBM Modell, Eric C. Backer – GF Gradient Faktor. Math. Modelle oder WKPP (Woodville Karst Plain Project) und Pyle, empirische Daten.

Was mit den Deep Stops erreicht werden soll, ist eine Verringerung bestenfalls Vermeidung von Mikroblasen in der Dekompressionsphase. Diese Mikroblasen werden unter anderem verantwortlich gemacht für den sogenannten „Dekostress“, Müdigkeit und Abgeschlagenheit in einem Ausmaß dass nicht auf die Anstrengung durch den Tauchgang zurückzuführen ist. Auch bei Tauchgängen ohne Dekompressions Verpflichtung.

Es sind sich alle einig das diese Stopps wesentlich tiefer als klassische Deko Stopps liegen müssen. Es können grundsätzlich zwei Wege unterschieden werden dieses Ziel zu erreichen. Erstens durch Regel (wenn / dann, Struktur) die durch empirische Daten erstellt wurden (WKPP, Pyle) oder den Mathematischen Weg. Daten zu analysieren, Zusammenhänge erkennen, und in Computerprogramme umzusetzen (Wienke, Backer).

Erweitert man bestehende Deko Pläne um „Deep Stops“ so kann durch die zusätzliche Aufsättigung die Gesamtzeit länger werden. Ziel der WKPP bei Planung der Deep Stops war dadurch die gesamt Deko Verpflichtung zu verringern, was auch gelang. Mit bis zu 40% weniger Deko gegenüber der klassischen Berechnung. In diesen Fällen sprechen wir von mehren Stunden Verkürzung. Es wurden also auch die flachen Stopps neu berechnet. Diesen Ansatz haben auch die Mathematischen Modelle, VPM, RGBM, GF.

Dabei sollte man sich im Klaren sein dass durch eingreifen (Diverse Parameter ändern) in diese Programme eine weitreichende Verschiebung der Dekompressions Verpflichtung resultiert, teilweise weit außerhalb der klassischen Bühlmann Berechnung. Wobei der „Der Bühlmann“ im Bereich 100m und mehr keine Daten mehr berücksichtigt, sondern nur noch hochgerechnet. *Viel Spaß, wir sind die Versuchskaninchen*



**Auftauchen**

Ist ein Auftauchen während der Dekompressionsverpflichtung möglich? Ja! Kein Auftauchen aus 18m zur Oberfläche, es ist ein kurzzeitiges Auftauchen von der 6 oder 3m Stufe gemeint. Es sollte ein Grund vorliegen für dieses Verhalten: Dekogas ist nicht ausreichen (Defekt am Gerät), Gesundheitliche Probleme, selbst oder Buddy, durch das Wissen über die Abläufe kann man leichter in eine Notsituation eingreifen (Sauerstoffkrampf, Erbrechen)

Langsam Auftauchen (1m/min) Bescheid sagen und wieder Abtauchen, die eigene Position sollte durch Surface Marker / Boje gekennzeichnet werden. Dass ganze sollte nicht länger als 2 Maximal 4 Minuten dauern. Das ist die Zeit die auch beim Gas Brake genutzt wird um das Gewebe zu entlasten. Dieses Verhalten nutzt also nur etwas wen ein Oberflächen Support auf dem Boot vorhanden ist. Die Zeit von Auftauchen und Oberfläche wird an die Deko angehängt.

Dem Boot Bescheid geben oder um zu sehen wo man ist sollte kein Grund sein, dafür gibt es Bojen oder Kompass, ist aber möglich.

**Bewegung**

Bewegung auf der Deko Stufe ist zu empfehlen, wenn sich fest gehalten werden „muss“ dann nicht verkrampfen, Handwechsel am Seil. Das Seil auch nicht in der Armbeuge fixieren. Spool oder Deko Haken sind weitere Möglichkeiten. Besser ist es sich auf der Deko zu bewegen. Bei langer Deko können auch auf der 6m Deko Übungen der Rücken, Gesichts und Rumpfmuskulatur gemacht werden.

Beispiele in der WetNotes #9 „Back Tec“ Dr. Frank Hartig.

Bei Strömung gibt es noch eine sehr elegante Möglichkeit: das „Floating Rigg“. Anwendung, wenn alle Taucher am Deko Rigg sind wird die Fixierung zum Shot gelöst und die Gruppe treibt ohne Belastung in der Strömung. Das Boot kann folgen.

[www.rebreatherausbildung.de](http://www.rebreatherausbildung.de) „Deko Rigg“

**Wasserlage**

Eine stabile, horizontale Wasserlage ist entspannend (guter Trimm vorausgesetzt). Es sollte erreicht werden, ohne aktive Korrekturen, die horizontale Lage zu halten. Entspannung während der Dekompression bedeutet eine gute Deko. Nicht die Absolut waagerechte Lage ist anzustreben sondern die Stabilität, auch bei Ausführung von irgendwelchen Tätigkeiten (Lampe verräumen, Wetnotes, Kommunikation) soll die Lage stabil bleiben. Des weiteren sind umweltschonende Flossentechniken nur in dieser Position möglich. Die Unterschenkel abgewinkelt, sind die Flossen der höchste Punkt des Tauchers, über Grund im Wrack ein großer Vorteil. Die waagerechte Lage erleichtert auch den kontrollierten Abstieg.

Dem Argument der besseren Lungenbelüftung und dadurch bessere Dekompression kann ich nicht unbedingt folgen. Die Lunge ist in jeder Tiefe mit dem sie umgebenden Druck belüftet, nach jedem Atemzug. Der Gasaustausch in Ruhe beträgt 0,5 bis 1Liter. Durch die räumliche Ausdehnung des Organs, (in Gedanken kann man sich einen gestauchten Kreis vorstellen) ist der Unterschied in der Druckverteilung in horizontaler oder Vertikaler Lage sehr gering (einstelliger mBar Bereich). Darauf eine verbesserte Dekompression zurückzuführen ist meiner Meinung nach mehr Wunsch als Realität.

## Aufstiegsgeschwindigkeit

Nullzeittauchgänge sind keine Deko Tauchgänge..... bla bla, ich hoffe das haben wir hinter uns. Genau diese Aussagen verunsichern einige Taucher. Den gerade die Aufstiegsgeschwindigkeit regelt die Gasabgabe in den Geweben (Druckgradient). Bei einem so genannten Nullzeittauchgang zu schnell nach oben, und schon kann sich wieder keiner die Symptome erklären. Beim Mischgastuchen sind die Aufstiegsgeschwindigkeiten sehr genau zu beachten. Aus dem Tiefenbereich mit Max. 10m/min, Deep Stops in der Deko dann mit 3m/min zur nächsten Stufe, ab 6m zur Oberfläche 1m/min. Diese Zeiten (oder varianten)sind Bestandteil der Dekompression und somit einzuhalten. Es werden in neueren Tauchcomputer kürzere Nullzeiten und höhere Zeitzuschläge implementiert, eine Möglichkeit die „Sicherheit“ zu erhöhen. Doch dieser Weg ist endlich.

*Dr.Bernd Aspacher: Enzyklopädie des Technischen Tauchens*

*„Die sicherste Tabelle: egal welche Tiefe die Nullzeitgrenze ist = 0 Minuten, sofort Wiederholungsgruppe Z, unendliche Oberflächenpause mit unendlich hohem Zeitzuschlag für den Wiederholungstauchgang. Die Aufstiegsgeschwindigkeit ist auch 0, also einmal unten darf man nicht mehr hoch.“*

Bernd sagte dass dies überspitzt sei aber einen Trend zeige. (2000)

Seine Ansichten für eine sinnvollere Dekompression waren, saubere Sicherheitsstopps, Deep Stops und kein erneutes Abtauchen in der Deko. Er würde sich durch die Entwicklungen auf dem Dekompressionssektor bestätigt sehen.

## Nach dem Tauchgang

Direkt nach dem Auftauchen „keine“ Anstrengung. Bei Strömung am Seil festhalten, oder mit dem Rückengerät über die Bordwand des Zodiac (die kleine, popelige Leiter am Boot eingeschlossen) sind in dieser Phase denkbar ungünstig. Stages abhängen, Scooter ans Seil und erst mal ein paar Minuten entspannen. Über eine bequeme Leiter oder mit dem Lift aus dem Wasser. Tauchgänge mit großen Doppelflaschen (D12+) mit Blei oder pSCR's sollten im Wasser am Ufer ausgezogen werden. Nach einer Pause zu zweit oder wenn möglich mit Hilfe des Bootsteam das Equipment verstauen. Flüssigkeit zuführen, der Espresso nach einem leckeren Imbiss schmeck gut ist aber nicht ausreichend, mindestens ½ bis 1 Liter Getränk, Wasser/Tee/Saft(Isotonisch) sollte zugeführt werden.

Nach extremen Tauchgängen (Länge, Tiefe, Zeit, Profil), muss auf Symptome der DCS geachtet werden bis zu 24 Stunden nach dem Tauchgang muss bei Veränderungen Symptomen an DCS gedacht werden. 30-60 Minuten nach dem Tauchgang, erreichen wir unser Blasen Maximum. Ankerbergen, Stage einsammeln oder auch Apnoetauchen sind Tabu. Fühlen wir uns wohl, kann der Tauchplan in den Wet-Notes bleiben, so haben wir im Laufe der Zeit eine Sammlung von Funktionierenden Deko Plänen.

**PFO (Dr. O.Khan)**

Die Frage, wie bedeutsam das offene Foramen ovale für Taucher ist, und ob es im Falle eines Vorliegens verschlossen werden soll erhitzt die Gemüter, da hier das Interesse der Implantateure auf leider wenig fundierte Daten stößt.

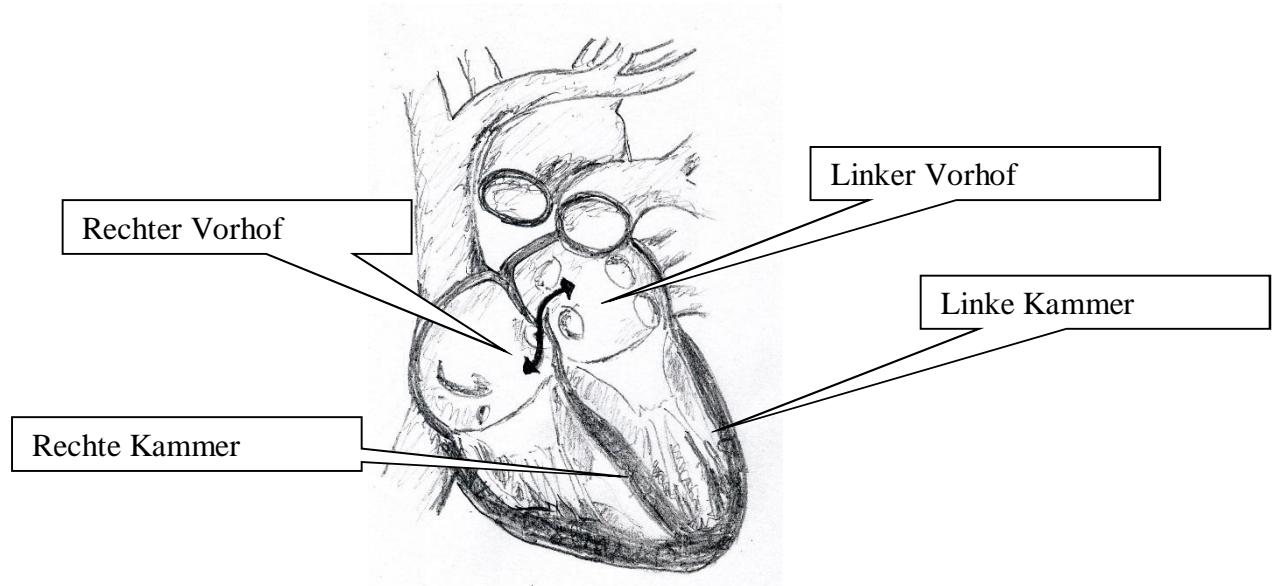
Daher möchten wir Euch mit aktuellen Daten zu diesem Thema auf dem Laufenden halten. Hier heute ein Verweis auf einen Artikel aus dem deutschen Ärzteblatt, in dem neue Studien zu diesem Thema vorgestellt werden.

Es handelt sich zwar um die Fragestellung, ob ein Schlaganfall bei Nichttauchern verhindert werden kann und nicht um den Gasblasenübertritt bei Tauchern. Man darf sich aber durchaus vorstellen, dass wenn nicht einmal ein Schlaganfall durch „feste Substanz“, nämlich beispielsweise kleine Gerinnsel verhindert werden kann, auch der Übertritt von Gasblasen nicht zu stoppen sein dürfte. Dies umso mehr, als neben dem PFO stets auch pulmonale Shunts als Quelle des Übertritts in Frage kommen. Macht Euch selbst ein Bild.

Hier der Link zu dem Artikel: <http://www.aerztezeitung.de/suchen/p-1/sort-3/pfo.html>

Die veröffentlichten Artikel dürfen durchaus kritisch gelesen werden. Sie stellen nicht die letzte Wahrheit dar. Dies ist bei der Geschwindigkeit, mit der sich medizinisches Wissen entwickelt niemals möglich. Es soll aber den aktuellen Stand der Forschung widerspiegeln.

Das PFO oder persistierende Foramen ovale ist eine Normvariante, die bei ca. 25% der Menschen vorliegt. Während der Embryonalzeit (also noch im Mutterleib) besteht bei allen Menschen eine ovale Öffnung (lateinisch: Foramen ovale) zwischen rechtem und linkem Vorhof, durch die das Blut direkt übertreten kann, ohne den „Umweg“ über die Lunge zu machen.



Diese Abkürzung ist auch durchaus sinnvoll, da die Lunge im Mutterleib noch keine Atemfunktion ausübt. Nach der Geburt kommt es dann mit dem ersten Atemzug des Säuglings zu einem Druckanstieg im Lungenkreislauf, der dazu führt, daß sich diese Querverbindung schließt. Dieser Verschluß tritt auch in den allermeisten Fällen ein. Es kommt mit der Zeit zu einer Verklebung der beiden zuvor offenstehenden Lamellen. Es ist keine Querverbindung zwischen rechtem und linkem Vorhof mehr gegeben. Bei einigen Menschen erfolgt der Verschluß inkomplett und die beiden verschließenden Lamellen können bei Druckanstiegen in der rechten Herzhälfte wieder aufgehen. Dies nennt man ventiloffenes Foramen ovale. Gelegentlich kommt es aber auch im Laufe des Lebens zu keinerlei Verschluß des Foramens, es bleibt bestehen (lateinisch: es persistiert). Während der gesunde Mensch Zeit seines Lebens meist keinen Nachteil durch das offene Foramen ovale hat, kann dies für den Taucher bedeutsam werden. Grund ist, daß die für die Dekompressionskrankheit verantwortlichen Stickstoffbläschen vor allem auf der venösen Seite entstehen, da hier ein niedrigerer Druck herrscht. Die Bläschen richten hier auch zunächst meist keinen großen Schaden an, da sie in der Lunge aus der Blutbahn herausgefiltert werden. Schafft allerdings ein Bläschen zum Beispiel durch ein offenes Foramen ovale den Weg auf die linke Seite des Herzens wird es mit dem Blutstrom in die verschiedenen Organe transportiert und kann hier je nach Lage erheblichen Schaden durch Gefäßverschlüsse anrichten. Wandert es ins Gehirn erleidet der Taucher Symptome wie bei einem Schlaganfall.

Da das PFO bei 25% der Menschen auftritt, aber keineswegs 25% der Taucher eine Dekompressionserkrankung erleiden, kann es nicht die einzige Ursache für die Entstehung der Dekompressionskrankheit sein. Faktoren wie mangelnde Flüssigkeitszufuhr vor dem Tauchen oder falsche Tauchprofile mit zu schnellem Auftauchen spielen eine noch bedeutendere Rolle. Ist aber einmal eine Dekompressionserkrankung aufgetreten und die Ursache lässt sich nicht sicher klären, darf die Frage nach einem verbleibend offenen Foramen ovale gestellt werden und eine Beratung beim Taucherarzt ist zu empfehlen.

#### Hier ein paar Zahlen zum PFO:

- Bei ca. 25% der erwachsenen Menschen findet sich ein PFO, bei Kindern etwas häufiger
- Bei 98% der „PFO-Träger“ liegt die Größe des PFO zwischen 1 und 10mm.
- Mit dem Alter nimmt die Häufigkeit des PFO ab, die Größe aber zu. Dies liegt daran, dass die kleineren Defekte sich im Laufe des Lebens noch spontan verschliessen können und nur die größeren übrig bleiben.
- Das Risiko einen Dekompressionsunfall zu erleiden ist bei Tauchern mit PFO ungefähr 2,5mal höher als bei Tauchern ohne PFO. (Dennoch mit 0,05% aller TG „seltenes Ereignis“) Entscheidend ist in erster Linie das Vorliegen venöser Gasblasen, erst in zweiter Linie das PFO

Neben der Querverbindung durch das Foramen ovale gibt es noch weitere Möglichkeiten des Übertritts von Gasblasen von rechts nach links. In der Lunge kann es beispielsweise auch zu direkten Übertritten von Stickstoffbläschen ohne Passage durch das Kapillarsystem kommen, wenn abhängig vom Bedarf Lungengefäße weit gestellt werden, ohne daß in diesem Bereich ein Gasaustausch stattfindet. Diese pulmonalen Shunts (= Querverbindungen) sind nur durch aufwendige Untersuchungen darstellbar, können aber gesucht werden, wenn sich eine Dekompressionserkrankung nicht anderweitig erklären lässt.

### Welche Bedeutung hat das Foramen ovale bei „Nichttauchern“

Im Falle von Nichttauchern sind Gasblasen im Blut meist kein Thema. Es geht eher um mit der Blutbahn transportierte Blutgerinnsel. Solche Gerinnsel bilden sich oft in den Beinvenen und verschließen als sogenannte Thrombose Venen ganz oder teilweise. Symptome einer solchen Thrombose können eine Rötung oder Umfangsvermehrung des Beines sowie Schweregefühl und Schmerzen sein.

Lösen sich aus einer solchen Thrombose Teile ab, werden sie mit dem Blut transportiert und gelangen als sogenannte „Embolie“ in die Lunge. Hier verschließen sie je nach Größe entweder winzig kleine Gefäße oder auch wichtige Äste der Lungenarterie. Winzige Verschlüsse können komplett unbemerkt und symptomlos bleiben während die Verlegung eines großen Gefäßes eine tödliche Lungenembolie zur Folge haben kann.

In seltenen Fällen ist es nun möglich, dass eine erste Embolie den Druck in der Lungenstrombahn so verändert, dass das Foramen ovale sich öffnet und ein nachfolgendes Gerinnsel durch die Öffnung in die linke Herzhälfte gelangt. Der Weg von hier kann theoretisch in jedes Organsystem führen, aufgrund des geraden und direkten Weges ins Gehirn wird aber oft hierdurch ein Schlaganfall (Verschluss eines Hirngefäßes mit Zelluntergang der nicht mehr versorgten Zellen) ausgelöst.

### Wann soll ein PFO verschlossen werden?

In der Medizin ist die Frage zwar auch nicht unumstritten, man ist sich aber einig, dass ein Verschluss sinnvoll sein kann, wenn bereits ein dokumentierter Schaden durch den Shunt nachgewiesen wurde. Da ein Schlaganfall auch andere Ursachen haben kann wird zunächst der Nachweis gefordert, dass das PFO verantwortlich ist und nicht eine Herzrhythmusstörung oder eine Embolie aus dem Aortenbogen oder den Halsgefäßen. Selbst beim embolischen Schlaganfall wird jedoch mindestens ein wiederholtes Ereignis, ggf. sogar ein 3. Schlaganfall abgewartet, bevor man den Verschluss versucht.

Somit wird sogar bei embolischen Schlaganfällen die Indikation zum Verschluss sehr kritisch gestellt.

Die Ursache hierfür ist die immer noch hohe Komplikationsrate beim Verschluss. Ein operativer Verschluss unter Sicht am offenen Herzen ist ein bedeutsamer Eingriff, den man nur in ausgewählten Sondersituationen durchführt. Eleganter sind hier die Verschlussysteme, es handelt sich um sogenannte „Schirmchen“ die bei einer Herzkatheteruntersuchung eingebracht werden. Eine offene Herzoperation ist nicht mehr nötig und der Patient unterzieht sich „nur“ einem Kathetereingriff.





Die angewandte Technik hat sich in den letzten 10 Jahren deutlich verbessert, die verwendeten „Okkluder“ (Verschluß-Systeme) sind einfacher zu handhaben und die Erfahrung der interventionellen Kardiologen mit den Systemen wächst kontinuierlich. Dennoch ist der PFO-Verschluss keine harmlose Angelegenheit.

### Ein paar Infos zu Komplikationen beim PFO-Verschluß aus einer Studie von 2002:

- 4 von 251 Patienten mussten notfallmäßig operiert werden
- Schwere Komplikationen (Tod, schwere Blutung, herzchirurgische Revision, Lungenembolie) bei 1.5% der Interventionen
- Rhythmusstörungen, Schirmbrüche, Schirmembolisationen (Verschwemmung von abgebrochenen Schirmteilen), Schirmthrombose und Luftembolie in 7.9%
- 22% nach 4 Wochen und 9% nach 12 Monaten weisen einen bleibenden Shunt auf.

Aktuellere Zahlen liefert die Closure I-Studie von 2012, in der der Verschluß eines PFO bezüglich Wirkung und Komplikationen einer gerinnungsverändernden Therapie unterlegen war

Diese Veränderung der Thrombusbildung durch Gabe von ASS oder Marcumar ist die dritte Möglichkeit thromboembolische Ereignisse zu verhindern. Der Nachteil, nämlich die lebenslange Notwendigkeit zur medikamentösen Gerinnungstherapie wird dadurch ausgeglichen, dass keine Komplikationen durch einen Eingriff zu erwarten sind. Erwähnt werden muss natürlich, dass auch eine Veränderung der Blutgerinnung Komplikationen wie vermehrte Blutungen zur Folge haben kann.

### Zu welchem Schluss kommen wir also bezüglich des Tauchens mit PFO?

In der „modernen Tauchmedizin von Tetzlaff und Klingmann 2009 steht folgende Empfehlung:

- Ein PFO ohne Vorgeschichte eines Tauchunfalls schränkt die Tauchfähigkeit nicht ein !
- Bei Nachweis eines PFO nach einem Tauchunfall kann im Einzelfall bei Beachtung besonderer Verhaltensregeln getaucht werden !
- Der Verschluß eines PFO kann für Taucher nicht empfohlen werden, insbesondere auch nicht um einem eventuellen Schlaganfall vorzubeugen !

Wann sollte man sich bezüglich eines PFO untersuchen lassen?

- Nach Tauchunfall ohne erkennbare Verletzung von Regeln (wie Flüssigkeitsmangel.....)
- Nicht nach offensichtlichem Fehlverhalten (hier ist beispielsweise die Missachtung der Tauchregeln ein ernsthafterer Auslöser für eine Dekompressionserkrankung als das PFO

Präventive Maßnahmen mit Vermeidung von Dekompressionsstress und Shunt-provozierenden Maßnahmen sowie die Reduktion einer vermehrten Bläschenbildung („low bubble-diving“) sind in jedem Fall wichtiger als eine zu spät stattfindende Behandlung oder auch der Versuch, durch einen PFO-Verschluss Pseudosicherheit zu erzeugen. Man darf getrost von Pseudosicherheit reden, da auch nach Verschluß des PFO noch ein Blasenübertritt durch die oben genannten Lungenshunts möglich ist und somit keineswegs ein Dekompressionsunfall ausgeschlossen ist.





Das hier geschrieben ist nicht verbindlich, und stellt Themen in ihrem Zusammenhang zur Dekompressionstheorie dar. Über jedes Thema gibt es sehr viel Information und die Entwicklung geht weiter. Es muss beachtet werden das es sich bei allen Ansetzen die Dekompression zu erklären und zu beeinflussen immer um Theorien handelt die zu beweisend sind (aber die halbe Wissenschaft lebt ganz gut mit Theorie, nach dem Motto wir Wissen das es so ist, wir müssen es nur noch Beweisen).

Es sind auch die Ansichten und Einschätzungen der Autoren eingeflossen, und diese übernehmen keine Haftung bei Anwendung des hier geschriebenen.

Dank an Dr.med. Ortwin Khan (GETÜM) für seinen Beitrag.



Uwe Breidenstein  
Hanau, Februar 2014

## **Links / Literatur**

GRADIENTEN FAKTOR

<http://www.tecme.de/pdf/GradientFaktor.pdf>

Clearing Up the Confusion about "Deep Stops"

[http://www.swiss-cave-diving.ch/PDF-dateien/DeepStops\\_Baker2.pdf](http://www.swiss-cave-diving.ch/PDF-dateien/DeepStops_Baker2.pdf)

Gas Exchange, Partial Pressure Gradients and the Oxygen Window

<http://www.swiss-cave-diver.ch/pdf/sauerstofffenster.pdf>

Handbuch Technisches Tauchen „Oxygen Window“

Müller-Rüschlikon, ISBN 3-275-01492-7

WetNotes #9 „Back Tec“ Dr. Frank Hartig.

Enzyklopädie des Technisches Tauchen,

Dr. *Bernd Aspacher* († 27.09.2003)

<http://www.planetschule.de>

Tauch Simulation (zur Anfänger Ausbildung)

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin

<http://www.gtuem.org>