

## **Das Foramen ovale und seine Bedeutung für den Taucher**

*von Dr. med. Claus-Martin Muth*

In den letzten Jahren tauchte immer mal wieder ein Begriff in der Fachpresse, aber auch in anderen Zeitschriften, auf, der im Zusammenhang mit gesundheitlichen Störungen beim Tauchen zu stehen scheint: das offene Foramen ovale. Der aufgeklärte Taucher weiß daher, daß dieser Begriff einen Risikofaktor beim Tauchen darstellt, doch kaum bekannt sind die tieferen Zusammenhänge, warum das so ist. Dieser Artikel soll auch den Nichtmediziner verständlich darüber informieren, wie das Foramen ovale in das Interesse der Tauchmediziner gerückt ist, worum es sich dabei handelt und wie der aktuelle Stand des Wissens ist.

Bis Mitte der 80er Jahre war die Welt der Taucherärzte wohlgeordnet und im Prinzip klar. Der schwere Tauchunfall war seit nun fast hundert Jahren bekannt und auf die physikalischen und physiologischen Veränderungen der Dekompressionsphase zurückzuführen. Diese während der Dekompression auftretenden Pathomechanismen konnten unter dem Überbegriff DCI (= Decompression illness bzw. Decompression injury) subsumiert werden. Mit dem Begriff DCI sind also sämtliche durch die Dekompression hervorgerufenen gesundheitlichen Störungen gemeint.

Dabei sind besonders die allen Tauchern bekannte Dekompressionskrankheit (DCS = Decompression sickness) und die arterielle Gasembolie (AGE = arterial gas embolism), eine der möglichen Folgen einer Überblähung der Lunge, zu nennen.

Diese beiden, zu schweren gesundheitlichen Störungen führenden Pathomechanismen, waren in der tauchmedizinischen Denkweise klar gegliedert und voneinander getrennt. Die Dekompressionskrankheit, die im eigentlichen Sinne keine Krankheit, sondern einen Unfall darstellt und daher besser auch als solcher bezeichnet werden sollte, diese Dekompressionskrankheit ist prinzipiell ein Problem des venösen Systems. Das nach vermehrter Aufsättigung aus den Geweben während der Dekompression frei werdende physiologisch inerte Gas (physiologisch inerte Gase nehmen nicht an Stoffwechselprozessen teil) wird in das venöse System abgegeben und über die Venen zur Lunge transportiert, wo die Abatmung erfolgt.

Kommt es bei zu rascher Dekompression zu einer unkontrollierten Entsättigung und zu einem Ausgasen in Form von größeren Gasblasen, so ist neben dem Gewebe selbst auch unmittelbar das venöse System betroffen. Es kommt zu den typischen Symptomen einer DCS. Dabei kann zwischen unterschiedlichen Verlaufsformen unterschieden werden, die sich in ihrem Schweregrad und den beteiligten Organsystemen unterscheiden. Die klassische Aufteilung unterscheidet daher die leichtere Form, DCS Typ 1, die sich im wesentlichen durch Hauterscheinungen, Lymphknotenschwellungen und Schmerzen charakterisiert, und der schweren Form, DCS Typ 2, die zusätzlich mit Störungen des zentralen Nervensystems und/oder Beschwerden im Bereich der Lunge (pulmonale Symptomatik = Chokes) einhergeht. Chokes entstehen durch massive Überflutung der Lungengefäße mit Gasblasen. Die Lungenkapillaren werden dabei zu einem mehr oder minder großen Teil verstopft, es kommt also quasi zu einer Gasembolie der Lunge. Die Folgen sind ein verschlechterter Gasaustausch, eine hohe Belastung des rechten Herzens, Atemnot, Hustenreiz und Schmerzen in der Brust. Die typischen Tauchprofile bei DCS sind lange und/oder tiefe Tauchgänge mit (im Verhältnis dazu) zu rascher Dekompression.

Im Gegensatz dazu ist die AGE, wie der Name schon sagt, streng auf das arterielle System beschränkt. Aus der Tauchtheorie ist wohl jedem Taucher bekannt, daß es durch Luftanhalten beim Auftauchen oder durch sogenannte Air-trapping Phänomene und Ausdehnung der Luft in

der Lunge bei nachlassendem Umgebungsdruck zu einer Überdehnung der Lunge, oder auch nur Teilen der Lunge kommen kann. Die Folge einer solchen Überdehnung kann das Zerreißen (Ruptur) von Lungenbläschen sein, was, je nach Lokalisation, bekanntlich zum Pneumothorax, zum Mediastinalemphysem oder eben zur arteriellen Gasembolie führen kann.

Liegt der Ort der Schädigung in der Nähe des Pleuraspaltes, dringt das frei werdende Gas in diesen ein, was dazu führt, daß die Lunge der betroffenen Seite ganz oder auch nur teilweise zusammenfällt. Beim Mediastinalemphysem dringt die frei werden Luft in das sogenannte Mittelfell (Mediastinum), jenem Bereich im Brustkorb zwischen den beiden Lungenhälften. Hier kommt es zu Störungen der Organe, die ebenfalls im Mediastinum liegen, wie z.B. Herz und große Luftwege (Trachea, Bronchien). Besonders dramatisch wirkt sich jedoch eine Ruptur in der Nähe der Lungengefäße aus, weil es so zum Eindringen größerer Mengen Gas in das arterielle System kommen kann. Dieses Gas wird dem Blutstrom folgend in die jeweiligen Endarterien gelangen und hier, durch Verstopfung (Embolie), zu einem Sauerstoffmangel der von diesen Arterien versorgten Gewebe führen. Aufgrund der anatomischen Begebenheiten und der besonderen Empfindlichkeit gegen Sauerstoffmangel ist besonders das Gehirn betroffen. Eine solche arterielle Gasembolie in die hirnversorgenden Gefäße (cerebrale arterielle Gasembolie = CAGE) ist in ihrer Auswirkung besonders fatal und daher zu Recht gefürchtet. Die Auswirkungen sind ähnlich denen eines Schlaganfalls mit entsprechenden Nervenausfällen. Auch hier sind typischerweise dem Krankheitsbild entsprechende auslösende Mechanismen zuzuordnen: das Geschehen ist unabhängig von Tauchzeit oder Tauchtiefe, häufiger aber mit sehr raschen Aufstiegen (Notaufstieg), oder Luftanhalten beim Auftauchen verbunden.

So weit, so gut. Bis zu dieser Stelle sollte eigentlich jeder, der irgendwann einmal ein Seminar über Tauchtheorie besucht hat, informiert sein. Was jedoch die Tauchmediziner in den 80er Jahren immer wieder zu Diskussionen angeregt hat, war die Tatsache, daß nicht jeder schwere Tauchunfall in eine dieser beiden Schubladen paßte. Es kam immer wieder vor, daß Taucher mit den typischen Zeichen einer CAGE kein dafür typisches Tauchverhalten an den Tag gelegt hatten, sondern entweder dem Anschein nach ein unauffälliges Profil getaucht sind, bzw. eher hätten eine DCS entwickeln müssen. Gelegentlich lag auch beides gleichzeitig vor. Es wurde daher postuliert, daß es wohl so etwas wie eine DCS Typ 3 gäbe: Mechanismus typisch für DCS, Symptomatik typisch für AGE (Anmerkung: die Bezeichnung DCS Typ 3 hat sich nie durchgesetzt). Dabei, so wurde gemutmaßt, muß es möglich sein, daß die eigentlich im venösen System auftretenden Gasblasen auf irgendeine Weise ins arterielle System übertreten können. Es muß also unter bestimmten Umständen zu einem Rechts-Links Shunt kommen (Shunt = Nebenschluß, Kurzschluß; hier: unmittelbare Verbindung zwischen dem venösen [rechten] und dem arteriellen [linken] System). Dieser Mechanismus ist für Gasblasen ungewöhnlich, denn die Lunge mit ihrem System von Lungenkapillaren stellt einen sehr guten Filter dar, was z.B. in tierexperimentellen Studien von Butler und Hills nachgewiesen werden konnte. Allerdings zeigte sich in diesen Studien auch, daß bei sehr massivem Auftreten von Gasblasen der Filter quasi undicht wurde und den Übertritt von Gas zuließ, was später auch von Vik und Mitarbeitern bestätigt werden konnte. Wechselten sich außerdem Kompressions- und Dekompressionsphasen in rascher Folge ab, wie es zum Beispiel bei häufigen stärkeren Tiefenänderungen der Fall ist (sog. Jo-Jo-Tauchen oder W-Tauchprofil), so kam es ebenfalls zu größeren Übertrittsmengen von rechts nach links. Ein Teil dieser seltsamen Fälle von DCS mit AGE-Symptomatik war somit geklärt. Es blieben jedoch eine Reihe von auf diese Weise nicht zu erklärenden Dekompressionsunfällen, bei denen es ebenfalls zu arteriellen Gasembolien gekommen war.

Wie bereits erwähnt, sind die Auswirkungen einer CAGE denen eines Schlaganfalls in gewissem Maße ähnlich. Beim Schlaganfall ist denn auch zu einem bestimmten Teil der Fälle ein Gefäßverschluß, verursacht z.B. durch ein Blutgerinnsel, schuld. Seit Beginn der 80er Jahre mehrten sich indes Berichte in neurologischen Fachzeitschriften, daß solche kleinen, im Prinzip

harmlosen Gerinnsel über eine Verbindung zwischen dem rechten und dem linken Vorhof des Herzens in das arterielle System und somit in die hirnversorgenden Gefäße gelangen können. Wohl in Folge dieser Berichte untersuchten Ende der 80er Jahre Moon und Mitarbeiter Taucher, die einen Dekompressionsunfall erlitten hatten, ob bei diesen eine solche Verbindung nachzuweisen war und sie wurden zu einem hohen Prozentsatz fündig. Es stand danach fest, daß das Vorhanden sein dieser Verbindung, dem sog. offenen Foramen ovale (PFO = patent foramen ovale) die Gefahr erhöht, einen schweren Tauchunfall zu erleiden.

Wieder: so weit, so gut. Doch was ist dieses Foramen ovale eigentlich? Ist es etwas Krankhaftes, Seltenes, oder kann es bei jedem entstehen? Um diese Frage schlüssig zu beantworten, muß etwas ausgeholt werden, und zwar bis zur Entwicklung des Herzens und des Kreislaufsystems:

Während nach der Befruchtung der Embryo im Mutterleib heranreift, bilden sich u.a. die Organsysteme aus, also auch das Herz und die Blutgefäße. Das Herz, das später aus vier Kammern bestehen soll, bildet sich zunächst aus einem Schlauch, der sich im Laufe seiner Entwicklung vergrößert und durch Faltung eine Art Schleife legt. In dieses, auf diese Art gebildete "Roh-Herz", wachsen nun die jeweiligen Scheidewände zwischen den Vorhöfen und den Kammern einerseits, aber auch zwischen den beiden Vorhöfen bzw. den beiden Kammern andererseits. Diese Scheidewände entstehen jeweils aus "Einstülpungen" des Ur-Schlauchs, die aufeinander zu wachsen. Im Bereich der beiden Kammern kommt es schon bald zu einem kompletten Verschuß, im Bereich der Vorhöfe jedoch bleibt zunächst eine oval geformte Öffnung erhalten, obwohl die Einstülpungen weit genug gewachsen sind, um diese Öffnung zu verschließen. Das medizinische Fachwort für Öffnung (eigentlich: Loch) ist Foramen, wegen der ovalen Form des Loches also Foramen ovale.

Das Foramen ovale besteht also am Anfang der Entwicklung und mindestens bis zur Geburt in jedem Menschen und das ist sehr wichtig so. Im Mutterleib erfolgt die komplette Versorgung des Kindes mit Sauerstoff und Nährstoffen über die Nabelschnurgefäße. Die Lunge muß, genau wie die übrigen Organe, sich erst entwickeln und heranreifen, für die Sauerstoffversorgung taugt sie noch nicht. Sie ist zu diesem Zeitpunkt daher auch noch nicht entfaltet. Es wäre deshalb auch sinnlos, das Blut komplett durch die Lunge zu pumpen, wie es nach der Geburt unumgänglich ist. Aus diesem Grund wird im Mutterleib ein wesentlicher Teil des Blutes an der Lunge vorbei geleitet (siehe Grafik). Das über die Nabelvenen zum rechten Herzen kommende, mit Sauerstoff angereicherte Blut gelangt in den rechten Vorhof. Hier, wegen des noch offenen Foramen ovale, wird ein großer Teil dieses sauerstoffhaltigen Blutes direkt in den linken Vorhof gegeben, ein weiterer Teil in die rechte Herzkammer, die das Blut auch in Richtung Lunge pumpt. Zwischen der Lungenarterie und der Hauptschlagader (Aorta) besteht jedoch abermals eine Verbindung, der sog. Ductus arteriosus (= Verbindungsgang zwischen den Arterien), so daß ein weiterer Teil des Blutes die Lunge umgeht und direkt in den Körper gelangt. Nach der Geburt muß sich dies jedoch schlagartig umstellen, denn nun muß die Sauerstoffversorgung über die Lunge erfolgen. Unmittelbar mit dem ersten Schrei entfaltet sich die Lunge, die Widerstände der Lungengefäße nehmen schlagartig dramatisch ab und der Kreislauf stellt sich um. Wegen der damit veränderten Druckverhältnisse zwischen dem rechten und linken Herzen klappen die noch offen stehenden Trennwände (Septen) der Vorhöfe, die das Foramen ovale gebildet haben zu und rechter und linker Kreislauf sind funktionell von einander getrennt. Die verbleibende Verbindung zwischen der Lungenarterie und der Aorta verschließt sich ebenfalls unmittelbar nach der Geburt.

Sowohl die Vorhof-Trennwände, als auch der verschlossene Ductus arteriosus verwachsen in den ersten Lebensmonaten völlig.

So sieht es die Natur vor. In einigen seltenen Fällen geschieht nichts von dem Geschilderten. In solchen Fällen, bei dem die verbleibenden "Kurzschlüsse" zu massiven Problemen führen,

müssen Herzchirurgen die Natur nachbessern. Bei einem wesentlich größeren Teil der Fälle kommt es zwar primär zum Verschuß, bei den Trennwänden findet das Verwachsen jedoch nicht, oder nicht vollständig statt. Es kann daher sein, daß hier eine Verbindung zwischen rechtem und linkem Vorhof bestehen bleibt. Diese Verbindung muß nicht ständig offen sein, kann sich aber unter gewissen Bedingungen öffnen, also "funktionell offen" sein. Es liegt somit ein funktionell offenes Foramen ovale (engl.: Patent Foramen ovale = PFO) vor. Diese Bedingungen sind z.B. dann geschaffen, wenn der Druck im rechten Vorhof höher ist, als im linken. Physiologisch ist normalerweise das Gegenteil der Fall. Übersteigt der Druck im rechten Vorhof jedoch den des linken Vorhofes, kann es bei einem nicht ausreichend verwachsenen Septum zum oben erwähnten Rechts-Links-Shunt kommen. Besonders beim Tauchen sind eine Reihe von Mechanismen bestens dazu geeignet, eine solche Druckerhöhung im rechten Vorhof zu verursachen. Kommt es beispielsweise während der Dekompression zu massiver Bildung von freien Gasblasen, kann durch große Mengen solcher Blasen im rechten Vorhof ein solcher "Überdruck" erreicht werden. Häufiger, und daher wohl auch gefährlicher, ist eine Routinehandlung beim Tauchen: der Druckausgleich durch Nase zuhalten und pressen, das sogenannte Valsalva-Manöver. Bei der Durchführung dieser Maßnahme kommt es akut zu einem starken Überdruck im Brustkorb, mit der Folge, daß weniger venöses Blut zum Herzen zurückströmen kann. Dadurch ist kurzzeitig auch die Füllung sowohl des rechten, als auch des linken Herzens schlecht. Unmittelbar nach dem Pressen strömt jedoch schlagartig vermehrt Blut zum Herzen zurück und gelangt zunächst in den rechten Vorhof. Für kurze Zeit kann so der Druck im rechten Vorhof den des linken übersteigen. Ähnliche Effekte kann z.B. auch ein heftiger Hustenanfall haben. Schon kleine, eigentlich harmlose Gasmengen, die fast regelhaft im venösen System auch bei relativ flachen Tauchgängen nachweisbar sind, können dann nach arteriell übertreten.

Die Frage ist nun: wie häufig ist ein solches PFO? Schon länger haben Pathologen darüber berichtet, daß sie bei einem Teil der von Ihnen untersuchten Verstorbenen ohne Kraftaufwand eine Metallsonde zwischen den eigentlich ja miteinander verwachsenen Trennwänden der Vorhöfe schieben konnten. Die Zahlen dazu lagen bei 20 bis 25 %. Später dann konnte durch Fortschritte vor allem in der Ultraschalldiagnostik auch bei noch lebenden Personen untersucht werden, ob ein solches offenes Foramen ovale besteht. Dazu wird bei der einen Methode durch die Speiseröhre ein Ultraschallkopf hinter das Herz geschoben und über eine Vene des Armes ein gasblasenhaltiges "Kontrastmittel" gespritzt. Bei Vorliegen eines PFO wird dann bei Durchführung des Valsava-Manövers ein Übertritt dieses Kontrastmittels vom rechten zum linken Vorhof beobachtet. Diese Untersuchung, die vor allem von Herzspezialisten durchgeführt wird, ist sehr genau, aber aus einsichtigen Gründen nicht sehr angenehm. Eine andere Möglichkeit besteht im indirekten Nachweis. Diesmal wird der Schallkopf z.B. über der Halsschlagader postiert. Abermals wird ein Kontrastmittel in die Vene gegeben und der Druckausgleich durchgeführt. Liegt ein PFO vor, läßt sich das Kontrastmittel in der Halsschlagader nachweisen. Durch solche Untersuchungen ergab sich, daß ein zumindest funktionell offenes Foramen ovale sich bei 25 bis 30 % aller Untersuchten nachweisen ließ, also rein statistisch betrachtet auch bei jedem 3. Taucher!

In letzter Zeit geriet das Foramen ovale im Zusammenhang mit Tauchen erneut in die Schlagzeilen. Bei einer bestimmten Untersuchung mit Hilfe einer neuen Methode der bildgebenden Diagnostik, der Kernspintomografie, fand Reul, ein Arzt für Radiologie, 1995 bei Tauchern überzufällig häufig mehr "weiße Flecken" im Gehirn, als bei Nichttauchern. Obwohl bis heute nicht sicher feststeht, welchen Krankheitswert diese Flecken haben, liegt doch zumindest der starke Verdacht nahe, daß es sich um krankhafte Veränderungen handeln könnte. Auffällig war jedoch, daß nicht alle Taucher gleichmäßig diese Veränderungen aufwiesen, sondern das einige wenige besonders betroffen waren, was zunächst noch ohne Erklärung blieb. Kurze Zeit später wurde eine ähnliche Untersuchung dann von den Heidelberger Ärzten Knauth und Ries wiederholt. Diesmal wurde jedoch bei jeder Versuchsperson zusätzlich zu der

Untersuchung mit dem Kernspintomografen auch nach einem offenen Foramen ovale gesucht. Auch diese Untersucher fanden bei einigen Tauchern überzufällig häufig die beschriebenen weißen Flecken im Gehirn, interessant war in diesem Zusammenhang jedoch, daß das vor allem bei solchen Tauchern zutraf, bei denen sich auch ein offenes Foramen ovale nachweisen ließ. Keiner der untersuchten Taucher hatte je einen Dekompressionsunfall erlitten.

Es scheint also so zu sein, daß das Foramen ovale nicht nur bei der Entstehung einer Zahl schwerer Tauchunfälle eine ursächliche Rolle spielt, sondern auch dann negative Auswirkungen haben kann, wenn es zu keinem merklichen Schaden in Form eines Tauchunfalls gekommen ist. Es ist wahrscheinlich nicht notwendig, die Untersuchung auf ein offenes Foramen ovale zwingend notwendig für die erste Tauchtauglichkeitsuntersuchung vorzuschreiben. Vielmehr scheint es auch aus diesem Gesichtspunkt heraus angebracht, sicheres Tauchen zu propagieren und Tauchprofile sicher zu gestalten. Da kein Taucher ohne eine solche Untersuchung weiß, ob er zu dem betroffenen Drittel gehört, sollte die Forderung nach möglichst sicheren und somit vernünftigen Tauchprofilen auch für jeden Taucher Geltung haben. Vieltaucher jedoch, also Tauchlehrer und Berufstaucher, sollten sich im eigenen Interesse überlegen, ob sie eine solche Untersuchung auf offenes Foramen ovale freiwillig durchführen lassen. Sollte sich dabei ein positiver Befund ergeben, also eine solche Verbindung zwischen den Vorhöfen bestehen, ist unbedingt ein entsprechend angepaßtes Tauchverhalten nötig.

Wissenschaftliche Literatur auf Anfrage beim Verfasser.

---

Urheberschutz: Copyright [Dr. med. Claus-Martin Muth](#). Nur zur privaten Nutzung.  
Jede, auch auszugsweise Veröffentlichung oder Weiterverwendung außer zu  
privaten Zwecken nur mit Genehmigung des Autors