



Claus-Martin Muth

## Risikofaktoren beim Tauchunfall

# Tauchen beginnt früher und endet später, als vermutet

Claus-Martin Muth, Universitätsklinik für Anästhesiologie, Sektion Spezielle Anästhesie, Universitätsklinikum Ulm

NOTFALL & HAUSARZTMEDIZIN 2006; 32: 452–454

*Neben der Tauchzeit und Tauchtiefe hat zum Beispiel auch die körperliche Anstrengung während des Tauchgangs einen entscheidenden Einfluss auf die aufgenommene Stickstoffmenge. Aber auch individuelle Faktoren und das Verhalten vor und nach dem Tauchen können die Wahrscheinlichkeit, einen Tauchunfall zu erleiden, maßgeblich beeinflussen. Hierzu zählen so unterschiedliche Dinge wie der Hormonstatus, Faktoren im Blut (Blutfette, Harnsäure u.v.m.) und sogar das Immunsystem. Doch auch Sport spielt eine wesentliche Rolle, wobei hier aktuelle Erkenntnisse zu einer sehr differenzierten Sicht führten. Damit kann nicht nur das Verhalten beim Tauchen, sondern auch vor und nach dem Tauchen die Chancen auf einen Dekompressions-Unfall beeinflussen. Jeder Taucher sollte sich dessen bewusst sein und sein Tauchverhalten den jeweils individuellen Gegebenheiten entsprechend anpassen.*

Einer der schwersten unmittelbar durch das Tauchen mit einem Tauchgerät hervorgerufenen Zwischenfälle ist die so genannte Dekompressionskrankheit (DCS, Decompression Sickness), bei der es während und nach der Auftauchphase zur Bildung freier Gasblasen im Blut und den Geweben kommt (10). Dieser Mechanismus ist nunmehr seit etwas mehr als 100 Jahren bekannt und bis in jüngster Zeit wurde die Wahrscheinlichkeit, einen Tauchunfall zu erleiden, in erster Linie mit Tauchtiefe und Tauchzeit in Zusammenhang gebracht. Tatsächlich sind diese Faktoren nach wie vor wesentliche Risikofaktoren, doch fällt bei der Betrachtung der Tauchunfallstatistiken auf, dass eine große Zahl an Tauchunfällen eine eher „untypische“ Vorgeschichte haben (4) und deshalb sehr leicht nicht erkannt werden. Der „untypische“ Tauchunfall ist heute eher die Regel, als die Ausnahme.

Tatsächlich haben die Forschungen der letzten zwei Jahrzehnte das Wissen um die Pathophysiologie der DCS erweitert. Danach reicht es nicht aus von einem Tauchunfall zu sprechen, sobald Gasblasen im venösen Blut detektiertbar sind. Im Gegenteil:

in neueren Untersuchungen konnten bei nahezu allen Tauchgängen, deren Tauchtiefe größer als 15 Meter war, dopplersonografisch Gasbläschen im venösen Blut nachgewiesen werden (3, 14). Eine gewisse Menge an Gasblasen scheint daher zunächst symptomlos toleriert zu werden. Nur bei Überschreiten dieser kritischen Menge, oder einer bestimmten Blasengröße ist demzufolge mit einer entsprechenden Symptomatik zu rechnen (10, 12). Diese kritische Menge ist jedoch individuell unterschiedlich und von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Wird diese per se kritische Menge nicht erreicht, scheint es zudem ausschlaggebend zu sein, ob und wie der Körper auf diese Gasbläschen reagiert (11, 21). Hier spielt neben einer gewissen Veranlagung auch das Verhalten des Tauchers vor und nach dem Tauchen eine entscheidende Rolle.

### ■ Risikoerhöhendes Verhalten vor dem Tauchen

Selbst in Fachkreisen ist relativ unbekannt, dass eine gewisse Problematik im Zusammenhang mit Flugreisen vor dem Tauchen besteht (12). Bei Flugreisen kommen zwei

grundsätzliche Belastungen zusammen: der Aufenthalt im Flugzeug mit einem extrem trockenen Mikroklima und der Übertritt in eine andere Zeit- und Klimazone.

### Trockenes Mikroklima im Flugzeug

Da die Luft im Flugzeug konstruktionsbedingt sehr trocken ist, verliert der Körper bei einer mehrstündigen Flugreise eine durchaus relevante Menge an Flüssigkeit, er dehydriert somit in gewissem Maße. Diese Änderungen der Homöostase durchs Fliegen sind reversibel, benötigen allerdings etwas Zeit. Wer hier zu ungeduldig ist, kann sich beim Tauchen Probleme in Form eines Tauchunfalls einhandeln.

### Andere Zeit- und Klimazone

Gerade bei größeren Zeitverschiebungen und unterschiedlichen Klimazonen befindet sich der Körper kurz nach der Ankunft noch in einem völlig anderen Rhythmus, sodass die individuelle Leistungskurve asynchron zum situativen Kontext verläuft („Jet lag“). Somit kann es sein, dass Taucher sich gerade dann in einem Leistungstief befinden, wenn

sie eigentlich leistungsfähig sein sollten oder wollten. Die Neu-Synchronisation erfolgt zwar am raschesten, wenn man sich dem Rhythmus vor Ort fügt, dennoch muss dem Körper die Gelegenheit geboten werden, sich ohne zusätzlichen Stress an die neue Zeit anzugleichen. Das gilt auch für klimatische Anpassungen: bei Reisen aus Mitteleuropa (eventuell sogar zur Herbst- oder Winterzeit) in die Tropen oder Subtropen muss eine Phase der Akklimatisation gegeben sein.

### Flüssigkeitsverluste

Doch auch vor Ort kann es zu weiteren Flüssigkeitsverlusten kommen, die nicht adäquat ausgeglichen werden und so das Dekompressionsrisiko erhöhen. Hier ist neben diuretisch wirkenden Genussmitteln wie koffeinhaltige Getränke und Alkohol, vor allem auch die sportliche Betätigung beziehungsweise klimatische Bedingungen zu nennen, die zu einer erhöhten Schweißproduktion führt. Tatsächlich gibt es eine Vielzahl an Fallbeschreibungen, bei denen ein solcher Mechanismus als ursächlich für einen Tauchunfall als am wahrscheinlichsten erkannt wurde. Aus diesem Grund galt bis vor kurzem auch jede sportliche Betätigung vor dem Tauchen als nicht empfehlenswert, weil risikoe erhöhend im Hinblick auf eine Dekompressionsproblematik. In den letzten Jahren geriet dieses „Dogma“ aber wegen neuerer Erkenntnisse sehr unter Druck (5, 20), sodass derzeit nur noch eine mit einem erheblichen Muskelkater einhergehende körperliche Belastung als sehr wahrscheinlich bedenklich eingestuft werden kann. Eine Ausdauerbelastung kann, nach derzeitigem Kenntnisstand, möglicherweise sogar protektiv wirken (5, 20).

### ■ Intrinsische Faktoren

#### Erhöhte Körper- und Blutfettwerte

Durch dopplersonografische Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Menschen mit einem höheren Body-Mass-Index (BMI) und auch mit einem – häufig damit vergesellschafteten – erhöhten Körperfettgehalt (BF) bei sonst gleichen Bedingungen deutlich mehr Gasblasen bilden, als

Probanden mit einem geringeren BMI oder BF, sodass auch hier das Risiko des Tauchunfalls erhöht ist (2, 3) (Abb. 1). Auch erhöhte Blutfettwerte, wie sie zum Beispiel bei Adipositas, aber auch bei Patienten mit Fettstoffwechselstörungen beobachtet werden, begünstigen die Gasblasenbildung (7, 8, 13). In diesem Zusammenhang müssen, physikalisch gesehen, erhebliche Gegenkräfte überwunden werden, um in einer Flüssigkeit eine Gasblase zu bilden. Ist es aber möglich, die Oberflächenspannung an der Grenzschicht zwischen dem Gas und der Flüssigkeit herabzusetzen, wie es zum Beispiel bei der Hyperlipidämie der Fall ist, wird die Blasenbildung begünstigt. In diesen Fällen wird unmittelbar nach einem Dekompressionsunfall eine Reduktion der Blutfettwerte beobachtet, was damit erklärt wird, dass jener Anteil der Blutfette, der die Gasblasen wie eine Haut überzieht, also die Grenzschicht zwischen Gas und Flüssigkeit bildet, der Messung entzogen ist (7, 8, 13).

#### Fetteiche Speisen

Die Zusammenhänge zwischen erhöhten Blutfettwerten und Mikrogasblasenentstehung sind auch relevant, wenn der Fettgehalt des Blutes nur passager, etwa nach einer fettreichen Mahlzeit, erhöht ist. Das gilt prinzipiell zwar für alle fettreichen Speisen, doch Fettsäuren aus Fischen scheinen genau das Gegenteil zu bewirken. So konnte gezeigt werden, dass jene Fette, die vermehrt in fettreichen Kaltwasserfischen wie etwa Lachs vorkommen, einen gewissen Schutz gegen Dekompressionsstress bieten. Zwar kommt es auch hier zur Blasenbildung, die Reaktion des Körpers auf die Blasen fällt aber geringer aus (1), sodass es nicht oder nur vermindert zu einer entsprechenden Symptomatik kommt.

#### Empfindliche Reaktion des Komplementsystems

Wie bereits erwähnt, treten nach beinahe jedem Tauchgang während des Auftauchens Gasblasen im venösen System auf. Dies geschieht auch dann, wenn die empfohlenen Aufstiegsgeschwindigkeiten und Dekompressionszeiten eingehalten werden. Dieser Vorgang verläuft in aller Regel

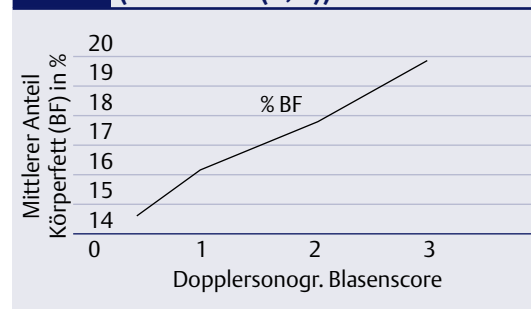
ohne jede Komplikation. Dort jedoch, wo das Komplementsystem (und hier besonders die Faktoren C3 und C5) besonders empfindlich reagiert, können schon diese eigentlich harmlosen Bläschen eine Entzündungsreaktion auslösen, die letztendlich zur Symptomatik eines Dekompressionsunfalls führen kann (6, 18). Auch dort, wo tatsächlich Gasblasen direkt für den Tauchunfall verantwortlich zu machen sind, kann die Ausprägung der Symptomatik durch aktiviertes C3a und C5a noch verstärkt werden, sodass Personen mit dieser „Empfindlichkeit“ ein erhöhtes Dekompressionsrisiko haben (6, 18).

#### Schlechter Trainingszustand

Der Tauchmedizin ist im Hinblick auf eine reduzierte Empfindlichkeit schon seit längerem bekannt, dass Menschen mit einem guten Trainingszustand und regelmäßiger sportlicher Betätigung insgesamt seltener einen Dekompressionsunfall erleiden als andere. Es konnte in Versuchen mit Probanden sogar gezeigt werden, dass nach identischen Tauchgängen die absolute Zahl an dopplersonografisch nachgewiesenen Gasbläschen in einem direkten Zusammenhang mit dem Trainingszustand des Probanden (objektiviert durch die maximale Sauerstoffaufnahme  $\text{VO}_2\text{max}$ ) zusammenhängt (2, 3) (Abb. 2).

Natürlich gibt es auch plausible Erklärungen dafür: der gut Trainierte

**Abb. 1 Einfluss des Anteils am Körperfett an der Gasblasenbildung (mod. nach (2, 3))**



**Zusammenhang zwischen erhöhtem Körperfettanteil (BF%) und Gasblasenscore. (Blasenscore = Anzahl der mit einer Dopplersonografie gemessenen Gasblasen im venösen Blut. Zur Vergleichbarkeit wird ein Scoringssystem benutzt: 0 = keine Gasblasen, 5 = Maximum an Gasblasen).**

hat größere Reserven, das heißt eine bestimmte Kraftanstrengung (z.B. Flossschwimmen gegen leichte Strömung) führt bei ihm zu einem weniger ausgeprägten Anstieg von Blutdruck und Herzfrequenz sowie der Atmung, sodass vergleichsweise weniger Stickstoff aufgenommen wird. Außerdem ist die Durchblutung der Gewebe beim Trainierten besser, sodass es weniger rasch zu einer kritischen Übersättigung mit Stickstoff kommt. Deshalb wird Sport auch grundsätzlich für Taucher als positiv angesehen.

**Risikoeerhöhendes Verhalten nach dem Tauchen**

**Intensive körperliche Belastung**

Nach einem Tauchgang befindet sich noch eine erhöhte Stickstoffmenge in den Körpergeweben, die

langsam abgegeben wird. In den Rechnern und Tabellen wird versucht, diese Restmenge in Form von Zeitaufschlägen bei Wiederholungstauchgängen zu berücksichtigen. Diese Menge ist unkritisch, wenn sie kontrolliert abgegeben werden kann. Durch körperliche Belastung kommt es jedoch zu drastischen Veränderungen der Durchblutung, vor allem im Muskelgewebe, sodass plötzlich große Mengen an Stickstoff aus diesen Geweben freigesetzt werden, wie sich experimentell zeigen ließ (9, 15, 16) (Abb. 3). Dies kann durchaus positiv sein, nämlich dann, wenn die Gesamtmenge nicht mehr kritisch ist (z.B. nach flachen Nullzeittauchgängen) und so der Reststickstoff beschleunigt abgegeben wird. Es kann aber genauso zu einem Dekompressionsunfall führen, nämlich dann, wenn auf diese Art die kritische Menge freier werdenden Stickstoffs überschritten wird. Um eine solche Gefährdung zu vermeiden, sollte daher nach derzeitigem Kenntnisstand in den ersten Stunden nach dem Tauchen eine intensive körperliche Belastung möglichst vermieden werden.

Es ist nicht immer möglich, diesen Ratschlag zu befolgen, da es Tauchplätze gibt, bei denen eine intensive körperliche Belastung schon bei dem Versuch eintritt, das Wasser zu verlassen. Da dieser Umstand schon beim Einstieg erkennbar ist, sollte das gewählte Tauchprofil diesem Umstand unbedingt Rechnung tragen!

Umgebungsdrucks, wie es beim Fliegen konstruktionsbedingt geschieht. Beim Start und Steigflug sinkt der Druck in der Kabine trotz der so genannten Druckkabine in Großraumflugzeugen. Hier wird ein Kabinendruck von etwa 0,8 bar einreguliert, was einer Höhe von zirka 2 500 m entspricht. Diese Druckminderung kann bei entsprechend erhöhter Restmenge an Stickstoff zur Blasenbildung im Körper führen. Eine solche erhöhte Restmenge ist am Ende des Tauchurlaubes vor allem zu beobachten, wenn es regelmäßig zu Wiederholungstauchgängen kam, und/oder wenn die Tauchgänge dekompensationspflichtig waren. Wenn schon beim Betreten des Flugzeuges milde (und somit nicht sicher erkannte) Symptome einer Dekompressionskrankheit vorlagen, kann es beim Fliegen möglicherweise zu heftigen Verläufen kommen, die sauerstoffpflichtig werden. Um den verzögerten Ausbruch einer Dekompressionskrankheit zu vermeiden ist es notwendig, zwischen dem letzten Tauchgang und dem Beginn der Flugreise entsprechende Zeit verstreichen zu lassen, um eine vollständige Entsättigung zu erreichen. Es liegen allerdings bislang keine verlässlichen Untersuchungen vor, wie lang diese Zeit definitiv sein sollte. Divers Alert Network (DAN) sammelt seit Jahren Daten zu diesem Thema, sodass es in näherer Zukunft möglicherweise verlässliche Empfehlungen geben wird. Einstweilen gilt aber noch die absolute Regel, dass vor Flugreisen in Verkehrsflugzeugen nach einem Nullzeittauchgang zwölf Stunden und nach mehrfachen Tauchgängen beziehungsweise dekompensationspflichtigen Tauchgängen 24 Stunden gewartet werden muss. Wurde besonders intensiv getaucht, also mit mehr als zwei Tauchgängen pro Tag und diese auch noch dekompensationspflichtig, kann es ratsam sein, eine noch längere Wartezeit einzuhalten.

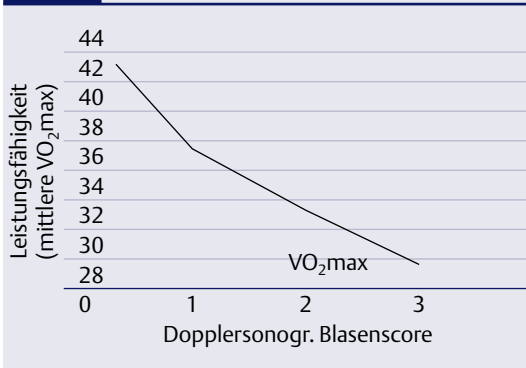
**Rückflug kurz nach dem letzten Tauchgang**

Eine weitere Druckreduktion nach einem Tauchgang, wie sie zum Beispiel beim Fliegen regelhaft auftritt, stellt eine Gefährdung im Hinblick auf mögliche Dekompressionsprobleme dar (12, 17). Hier gilt, dass ein zu kurzer Abstand zwischen dem letzten Tauchgang und dem Rückflug zu massiven Problemen führen kann. Am Ende des Tauchgangs ist immer noch eine erhöhte Restmenge Stickstoff im Körper gelöst. Bei vorschriftsmäßigen Tauchgängen ist diese Menge in der Regel unkritisch, wenn nichts unternommen wird, dieses Gas plötzlich freizusetzen. Eine plötzliche Gasfreisetzung erfolgt zum Beispiel durch den weiteren raschen Abfall des

**Literatur bei der Redaktion**

**Anschrift des Verfassers**  
 Dr. med. Claus-Martin Muth  
 Universitätsklinik für Anästhesiologie  
 Sektion Spezielle Anästhesie  
 Universitätsklinikum Ulm  
 Prittwitzstraße 46  
 89073 Ulm

**Abb. 2 Einfluss der körperlichen Leistungsfähigkeit an der Gasblasenbildung (mod. nach (2, 3))**



**Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness und Gasblasenscore (VO<sub>2</sub>max = maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit. Je höher VO<sub>2</sub>max, desto höher ist der Trainingszustand.**

**Abb. 3 Stickstoffabgabe nach Nullzeittauchgängen (mod. nach (9))**

