

Essoufflement

von Dr. med. Claus-Martin Muth

Beim Tauchen mit Preßluft kann es durch unterschiedlichste Mechanismen zu Zwischenfällen kommen, die zu einer Gefährdung des Tauchers führen. Um solchen Situationen vorzubeugen bzw. in diesen adäquat handeln zu können, sollten Taucher und Tauchausbilder über diese Mechanismen informiert sein.

Ein solcher Mechanismus ist das Mitte der achtziger Jahre vor allem im französischen und deutschen Sprachraum (hier vor allem durch Roggenbach u.a.) bekannt gewordene Essoufflement. Wörtlich übersetzt heißt es "außer Atem geraten" oder "Kurzatmig" und steht für einen Pathomechanismus, der in der Regel in eine Panik beim Taucher mündet. Diese Panik führt häufig zu unkontrollierten Notaufstiegen und damit potentiell zu ernsthaften Komplikationen. Ursprünglich wurde Essoufflement auch als Auslöser von Zuständen von Bewußtlosigkeit unter Wasser betrachtet, was aber, zumindest bisher, im Experiment nicht bewiesen werden konnte.

Aber worum handelt es sich beim Essoufflement überhaupt? Essoufflement ist eine akute Kohlendioxidvergiftung durch inadäquates Atemminutenvolumen. Es tritt vor allem beim Tauchen in größeren Tiefen auf, und dort bevorzugt bei stärkeren Anstrengungen. Um die Entstehung von Essoufflement jedoch richtig zu verstehen, ist es unumgänglich, einen kurzen Ausflug in die Physik, die Anatomie und die Physiologie zu unternehmen:

Strömt ein Fluid (Gas oder Flüssigkeit) durch ein Rohr und ist diese Strömung sehr gleichmäßig und harmonisch, so liegt eine **laminare** Strömung vor. Hierbei schieben sich die einzelnen Schichten des Fluids schichtförmig aneinander vorbei, ohne sich gegenseitig zu stören, der Strömungswiderstand ist gering. Dies funktioniert jedoch nur bis zu einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit, der sog. kritischen Strömungsgeschwindigkeit kommt. Oberhalb dieser Geschwindigkeit bilden sich anfangs örtliche Turbulenzen an den Außenwänden des Rohres, welche bei einer weiteren Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit zu einer **turbulenten** Strömung führen. Der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung ist maßgeblich von den äußeren Abmessungen des Rohres, der Viskosität des Mediums und der Strömungsgeschwindigkeit abhängig. Diese Turbulenzen ihrerseits führen zur Erhöhung des Strömungswiderstandes und somit zur Bildung weiterer Turbulenzen. Aus einer strömungsgünstigen laminaren Strömung ist eine ungünstige **turbulente** Strömung geworden.

Zusätzlich zur reinen Wirbelbildung und der damit verbundenen Widerstandserhöhung kommt es im Bereich der wandnahen Turbulenzen zur Ausbildung von Unterdruck. Handelt es sich daher bei dem durchflossenen Rohr

nicht um ein starrwandiges, sondern um ein flexibles, so wird durch den entstandenen Unterdruck der Querschnitt des Rohres eingeengt und dadurch zusätzlich der Strömungswiderstand vergrößert. Ein Teufelskreis ist entstanden.

Auf den Taucher bezogen stellen unsere Atemwege, vor allem die Luftröhre mit den Bronchien und den Bronchiolen, solch ein gasdurchflossenes (= Luft durchflossenes) Rohrsystem dar. Während die Luftröhre und die größeren Bronchien mit Knorpelspannen verstärkte Wände haben, sind die Wandungen der kleinen Bronchien und der Bronchiolen elastisch. In der Luftröhre und den Hauptbronchien ist auch im Normalfall eine turbulente Strömung vorhanden. Durch den relativ großen Durchmesser dieser Rohre sind jedoch keine störenden Auswirkungen auf die Atmung gegeben. Nach der Aufzweigung in die kleineren Bronchialäste und die Bronchiolen ist die Strömungsgeschwindigkeit jedoch beim Gesunden und unter normobaren Bedingungen so gering, daß hier eine laminare Strömung vorliegt. Dies ist einerseits von Bedeutung, um einen guten Gasaustausch in den Alveolen (= Lungenbläschen) zu gewährleisten, andererseits, um den Energieaufwand für die Tätigkeit "Atmen" so gering wie möglich zu halten. Im Hinblick auf eine günstige Energiebilanz macht es nämlich aus Sicht des Körpers keinen Sinn, für eine Tätigkeit wie das Atmen zu viel Energie aufzuwenden. So macht die Atmung in Ruhe nur ca. 2 % des Energieverbrauches aus. Damit stehen für die anderen Körperfunktionen und die übrige Muskeltätigkeit genügend Reserven zur Verfügung.

Zurück zur Physik, diesmal direkt zur Tauchphysik. Beim Tauchen haben wir es bekanntlich mit komprimierter Luft zu tun, die entsprechend des Umgebungsdruckes in der jeweiligen Tauchtiefe veratmet wird. Dies bedeutet, daß die Dichte der Luft mit zunehmender Tiefe immer größer wird. Pro Zeiteinheit müssen also mehr Gasmoleküle die Atemwege durchströmen.

Tauchen ist aber immer auch mit Muskeltätigkeit verbunden, und diese mit der Produktion von CO₂. Dadurch kommt es zu einer Reizung des Atemzentrums, was eine beschleunigte und zunächst vertiefte Atmung zur Folge hat (häufig fälschlich in diesem Zusammenhang als *Hyperventilation* bezeichnet. Hyperventilation ist jedoch definitionsgemäß immer mit einer vermehrten Abgabe von CO₂ verbunden. Da aber gerade das nicht der Fall ist, ist die richtigere Bezeichnung *Tachypnoe*. Dabei kann die Inspirationstiefe im weiteren Verlauf mit steigender Atemfrequenz sinken, vermehrte Totraumventilation ist die Folge). Dies wiederum zieht eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der Luft in den Atemwegen nach sich. Beide Faktoren zusammen, also dichtere Atemluft und erhöhte Strömungsgeschwindigkeit, lassen aus der laminaren Strömung in den kleinen Luftwegen eine turbulente Strömung werden.

Dies allein führt schon zu einer erhöhten Atemarbeit und einem verschlechterten Gasaustausch in der Lunge mit einem erschwerten Abatmen von CO₂. Zusätzlich verengt jedoch der durch die Verwirbelungen in den Bronchiolen erzeugte Unterdruck den Durchmesser der elastischen Bronchiolen. Die Folge ist ein weiterer

erhöhter Atemwiderstand, eine weitere Zunahme der Turbulenzen und somit eine weitere Verschlechterung des Gasaustausches. Im Extremfall kann es sogar zu einem kompletten Kollabieren einzelner Bronchiolen kommen, so daß das in den dahinter liegenden Alveolen enthaltene CO₂ nicht abgeatmet werden kann und in der Lunge verbleibt.

Neben der bereits erwähnten erschwerten Atemarbeit durch den beschriebenen Pathomechanismus stellt beim Tauchen das Einatmen gegen die elastischen Kräfte des Neoprenanzuges einen weiteren Faktor dar, der die Atemarbeit erhöht. Als Ergebnis der insgesamt erschwerten Atemarbeit wird daher auch eine Ermüdung der Atemmuskulatur als Ursache für Essoufflement diskutiert. Diese Ermüdung ist bei lungenkranken Patienten auf Intensivstationen bekannt, konnte jedoch bei gesunden Probanden nicht zweifelsfrei und mit letzter Sicherheit nachgewiesen werden.

Im Bereich starker Belastung arbeitet die Atemmuskulatur zudem sehr ineffektiv. Das bedeutet, daß schon für die Atmung große Mengen des aufgenommenen Sauerstoffs verbraucht werden und daher für die Versorgung des restlichen Organismus weniger zur Verfügung steht. Ein relativer Sauerstoffmangel kann die Folge sein.

Bis hierher ist jeder Taucher bei tieferen Tauchgängen von dem Gesagten betroffen. Dennoch kommt es nicht bei jedem tiefen Tauchgang zum Unfallmechanismus des Essoufflement. Es müssen also noch weitere Faktoren eine Rolle spielen.

So ist bekannt, daß der Unfallmechanismus bevorzugt bei untrainierten Tauchern eine Rolle spielt. Dies erklärt sich einfach aus dem Zusammenhang, daß schon unter normalen Bedingungen Untrainierte bei Belastung leichter außer Atem geraten. Kommt nun noch der besondere Umstand "Tiefe", mit den oben beschriebenen Veränderungen hinzu, kommt es sehr schnell zu einem Überschreiten der Atemreserven und einem Verbleiben von CO₂ in der Lunge. Dies erhöht die Menge des CO₂ im Blut, was seinerseits zu einem verstärkten Atemreiz und damit verbunden dem subjektiven Gefühl von Luftnot führt. Da aber keine Atemreserven mehr vorhanden sind, kann das CO₂ nicht abgeatmet werden. Es entsteht ein Teufelskreis, der beim Taucher häufig in einer Panik und damit verbunden in einem unkontrollierten Aufstieg endet.

Als weitere Faktoren, die das Auftreten von Essoufflement begünstigen können, gelten Rauchen und das Vorliegen von Erkrankungen der Atemwege, wie Asthma und Bronchitis.

Rauchen führt neben einer erhöhten Schleimproduktion in den Atemwegen auch zu einer Verengung derselben. Beides erhöht den Atemwiderstand und beschleunigt den Übergang einer laminaren in eine turbulente Strömung. Im gleichen Sinne wirken sich auch die Erkrankungen der Atemwege aus.

Essoufflement ist also eine schleichende Erhöhung des CO₂ im Blut durch nicht adäquates Atemminutenvolumen mit nachfolgendem subjektivem Gefühl der Atemnot. Das Gefühl der Atemnot führt zunächst zu dem Versuch, das Atemminutenvolumen zu erhöhen. Da die Atemreserven jedoch schon maximal ausgeschöpft sind, kommt es zu keiner Besserung. Das Gefühl nicht ausreichend Luft zu bekommen hat eine Panik und das dringende Verlangen zur Folge, dorthin zu gelangen, wo ausreichend Luft zur Verfügung steht, zur Wasseroberfläche. Dies wird durch einen unkontrollierten Notaufstieg versucht.

Hervorgerufen wird die CO₂ Erhöhung durch körperliche Anstrengung in größeren Tiefen, also großem Durchsatz von Luft mit erhöhter Dichte, begünstigt durch schlechten Trainingszustand.

Da die Zusammenhänge, die zum Auftreten von Essoufflement führen nun bekannt sind, stellt sich die Frage: Wie kann es verhindert werden?

Zunächst sollte jeder Taucher darum bemüht sein, ein regelmäßiges Ausdauertraining durchzuführen. Fehlende Kondition führt nicht nur bei diesem Mechanismus zu einer Gefährdung, sondern auch bei weiteren tauchspezifischen Unfallursachen.

Unabhängig davon sollte jedoch, wenn möglich, körperliche Anstrengung in größeren Tiefen vermieden werden. Dies eben nicht nur wegen der erhöhten Gefahr des Auftretens eines Dekompressionsunfalls, sondern ebenso wegen der Gefahr von Essoufflement. Das bedeutet auch, daß jedem Taucher klar sein muß, daß immer der schwächste Tauchpartner das Tempo bestimmt. Nur so ist mit größtmöglicher Wahrscheinlichkeit gewährleistet, daß kein Taucher der Gruppe seine körperlichen Grenzen überschreitet.

Schließlich sollte eine gut gepflegte und regelmäßig gewartete Ausrüstung für jeden Taucher selbstverständlich sein. Der beste Trainingszustand ist nutzlos, wenn der Lungenautomat durch falsche Einstellung, Korrosion oder Schmutz schon an der Oberfläche einen erhöhten Atemwiderstand und eine verminderte Luftlieferleistung hat.

Taucher, die an sich selbst bemerken, daß sie zunehmend außer Atem geraten, ohne daß eine weitere Erhöhung des Atemminutenvolumens möglich ist, sollten zunächst versuchen zur Ruhe zu kommen. Dazu muß die körperliche Anstrengung, so weit möglich, beendet werden. Der oder die Tauchpartner müssen darüber informiert werden, daß etwas nicht stimmt.

Für die Mitteilung des wahrscheinlichen Vorliegens eines Essoufflement geeignet ist das von Roggenbach u. a. im deutschen Raum eingeführte Zeichen: hierbei werden die Arme angewinkelt, die Ellenbogen vom Körper abgespreizt und wieder zurückgeführt ("Entenflügelchen").

Die gesamte Gruppe sollte dann kontrolliert in eine geringere Wassertiefe tauchen, um dem Betroffenen eine Normalisierung seiner Atmung zu ermöglichen. Häufig genügt bereits ein Verharren auf der Stelle, gelegentlich kann jedoch auch ein komplettes Auftauchen nötig sein. Dabei sollte der Aufstieg stets geschwindigkeitskontrolliert vorgenommen werden, der oder die Tauchpartner sollten beruhigend auf den betroffenen Taucher einwirken. Es besteht weder Grund zur Hektik, noch zur Panik. Im Gegenteil, dies könnte eine Verschlechterung der Situation bewirken.

Bei Kenntnis der Entstehungsmechanismen und der Möglichkeiten zur Vermeidung sollte Essoufflement für keinen Taucher mehr eine Gefährdung darstellen.

Mit freundlicher Genehmigung des Autors Dr. Claus-Martin Muth