

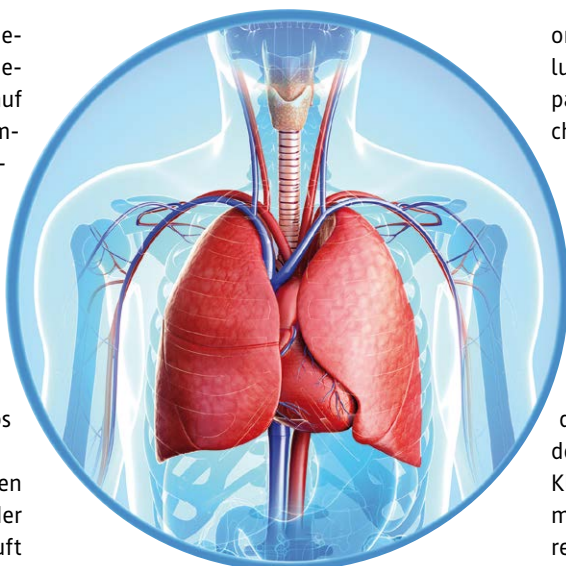
Einatmen – Ausatmen

Nachdem wir ja wissen, dass die tauchmedizinische Vorsorgeuntersuchung sehr wohl Sinn macht, wollen wir der Frage nachgehen, weshalb der unangenehme Atemtest jedesmal dazugehört und welchen Einfluss der Tauchanzug auf unsere Atmung hat.

Beim «Abhängen» der Dekozeit kann ich jeweils gemütlich meinen Gedanken nachgehen. Lediglich dann und wann einen Blick auf den Tiefenmesser und aufs Fini. Jetzt im Sommer, wo das Wasser für die letzten Dekostufen schön warm ist ein Genuss. Einatmen – ausatmen, immer wieder. Eigentlich ein Wunder, was sich da ganz automatisch abspielt.

Einatmen: das Zwerchfell senkt sich, die Muskeln zwischen den Rippen heben den Brustkorb an. Das Volumen des Brustkorbs vergrössert sich und schon strömt Luft ein.

Ausatmen: die Elastizität der verschiedenen Gewebe zieht den Brustkorb wie eine Feder zurück, das Volumen verkleinert sich. Luft strömt aus der Lunge nach aussen. 10–16 Mal pro Minute – mehrere hundert Mal pro Stunde – fürs Ausrechnen der Atemzüge während eines Tages hat mich die Deko dann aber schon zu träge gemacht. Dieser Anteil der Atmung wird in der Fachsprache «Ventilation» genannt. Die Luft strömt in den Brustkorb hinein und nach kurzer Zeit wieder hinaus. Das wesentliche Organ ist aber die Lunge. Die beiden Lungenflügel sind im Brustkorb gut verpackt. Die Luft strömt über die Luftröhre hinein, wird über die beiden Hauptbronchien in den linken und rechten Lungenflügel verteilt und fliesst dann über zunehmende feinere und feiner verästelte Luftwege (die sogenannten *Bronchien* und *Bronchiolen*) in die Lungenbläschen (die *Alveolen*), wo dann der eigentliche Gasaustausch stattfindet. Dabei wird aus der eingeatmeten Luft der Sauerstoff ins zirkulierende Blut abgegeben und im Gegenzug das vom Körper und vom Stoffwechsel produzierte Kohlendioxid an die Ausatemluft abgegeben. Abgase und ein Auspuff kommen einen in den



Sinn – was gar nicht so abwegig ist. Damit der aus der eingeatmeten Luft aufgenommene Sauerstoff vom Körper genutzt werden kann, muss der in die feinsten Blutgefässe, die sich in den hauchdünnen Wänden der Alveolen befinden übergehen und von dort weitertransportiert werden. Der Gasaustausch ist also mit der Ventilation noch nicht gemacht, auch die Zirkulation gehört dazu. Darunter versteht man die Fortbewegung des zuerst sauerstoffarmen, kohlendioxidreichen Blutes an den Alveolarwänden vorbei, so dass nachher die Rollen bzw. die Konzentrationen vertauscht sind: sauerstoffreich, kohlendioxidarm. Der Sauerstoff dient als Grundlage für den Zellstoffwechsel.

Einatmen – Ausatmen. Die Dekozeit dauert noch einige Minuten. Mit jedem Atemzug wird das Gas in die Alveolen verteilt. Es gibt Millionen davon. Ich stelle mir vor, wie ich einatme und die Luft in Milli-

onen kleinster Bläschen strömt. Die Verteilung meines Atemzugs ist nicht zufällig und passiv. Der Durchmesser der kleinsten Bronchiolen, der Zugänge zu den Alveolen, wird durch Muskelfasern gesteuert. Diese Fasern arbeiten autonom – wir wären überfordert, wenn wir all diese Prozesse bewusst steuern müssten. Daneben ist der Durchmesser dieser feinen «Röhrchen» von der Dicke der Schleimhaut abhängig, mit der sie ausgekleidet sind. Erinnerungen an die Physik in der Schule kommen auf: wenn sich der Radius eines Rohrs halbiert, wird der Widerstand für ein Gas um den Faktor 16 erhöht. Kleine Ursache, grosse Wirkung, so geht es mir durch den Kopf. Muskeln und Schleimhaut regulieren also diesen Gasfluss.

Beim Einatmen spielen diese Faktoren aus medizinischer Sicht keine so grosse Rolle. Die Vergrösserung des Volumens des Brustkorbs saugt genügend Luft herein. Wenn nun aber der Flusswiderstand durch die Muskeln und die Schleimhaut erhöht ist, so kommt dies beim Ausatmen zum tragen. Verbrauchte Luft bleibt in den Alveolen und beim nächsten Atemzug kann keine unverbrauchte, sauerstoffreichere Luft nachströmen. Angesichts der Vielzahl der Alveolen dürfte es nicht überraschen, dass diese nicht alle völlig gleichmässig reguliert werden.

Ist dieser Widerstand gross, so versucht der Körper dies auszugleichen und mit Kraft auszuatmen. Der Effekt: die Flussgeschwindigkeit des Gases nimmt zu, was wiederum die Wände der Bronchien zusammensaugt. Der gleiche Vorgang führt beim Flugzeug dazu, dass es fliegt. Und der gleiche Vorgang führt dazu, dass der Duschvorhang am Hintern klebt: warme Luft strömt aufwärts und saugt den Vorhang an... Das Phänomen ist bestens bekannt, nicht wahr?

Überschreitet dieser Flusswiderstand ein bestimmtes Mass, so kommt es zu Problemen beim Atmen. Man spricht von Asthma, vollständig «Asthma bronchiale».

Und genau dieses Asthma will der Tauchmediziner beim Tauchuntest mit dem zuweilen unangenehmen Atemtest ausschliessen. Der Test ist deshalb unangenehm, weil man mit voller Kraft in ein Rohr pusten muss, das ungefähr den gleichen Durchmesser wie die Luftröhre hat und deshalb kaum einen Widerstand bietet. Dazu kommt, dass bei den meisten Geräten der Speichel unten heraustropft. Das soll aber nicht stören, es gehört einfach dazu. Der Atemtest muss immer mehrmals gemacht werden, weil die Atemmechanik nicht immer gleich gut funktioniert.

Bei diesem Test geht es dem Taucharzt also nicht darum, das Lungenvolumen zu messen, um damit eine Aussage für den Gasverbrauch zu machen. *Vielmehr geht es darum zu überprüfen, ob nach einem tiefen Einatmen 80 oder mehr Prozent der eingeatmeten Luft innerhalb der ersten Sekunde wieder ausgeatmet werden können.* Daneben wird die Flussgeschwindigkeit der Luft beim maximal forcierten Ausatmen gemessen.

Damit kann ein Asthma bronchiale oder – bei Rauchern häufig auftretend, eine sogenannte *COPD (oder chronische Bronchitis)* ausgeschlossen werden. **Beide Zustände sind unbehandelt mit dem Tauchen nicht vereinbar.**

Nun werden sich die Taucher fragen, ob denn das von Bedeutung sei. Vor allem, wenn sie im Alltag vollkommen beschwerdefrei und leistungsfähig sind.

Ja, es hat eine Bedeutung. Letztes Jahr wurde eine Untersuchung publiziert, bei welcher der Einfluss des Tauchens auf die Bronchien gemessen wurde. Im Rahmen einer gross angelegten Studie wurde bei mehreren hundert Tauchern vor und nach einem Tauchgang der bekannte Atemtest durchgeführt. Es handelte sich um Bootstauchgänge in tropischen (also warmen) Gewässern. Die Tauchgänge dauerten zwischen 40 bis 55 Minuten, die Tauchtiefe betrug 10 bis 18 Meter. Ziemlich unspektakulär, würde man meinen, und ziemlich entspannend. Dennoch: bei allen Tauchern kam es zu einer Verminderung der maximalen Flussgeschwindigkeit des Atemstosses nach dem Tauchgang, in ausgeprägterem Ausmass

bei denjenigen Tauchern, bei denen ein Asthma bereits bekannt war.

Wie soll man sich das erklären? Beim Tauchen atmen wir Pressluft ein, die über die beiden Stufen des Lungenautomaten an den Umgebungsdruck angepasst wird. Durch die Reduktion des Drucks wird die Luft kalt. Kalte Luft ist ein Reiz für die Bronchialmuskulatur, sich zusammen zu ziehen und somit die Bronchien zu verengen. Zudem ist die Luft trocken, was die Bronchien ebenfalls reizt. Und wenn dann noch etwas Strömung bzw. Anstrengung beim Tauchgang dazu kommt, dann macht das die Situation komplett: die Bronchien stellen auf eng. Luft wird zurückgehalten. Im Extremfall droht ein Riss in den Alveolarwänden durch Überblähung, das zur Übertritt von Stickstoffbläschen in die Blutbahn führen kann oder zum *Pneumothorax*. Dabei tritt Gas aus den Alveolen aus und gelangt in den eigentlich gasfreien Spalt zwischen Lunge und Brustkorbbinnenseite aus. Die Lunge ist dann nicht mehr entfaltet, sie fällt zusammen und kann sich nicht mehr am Gasaustausch beteiligen. *Ein lebensbedrohlicher Zustand!*

Tauchen macht unsere Bronchien also selbst unter besten Bedingungen enger. Es ist also sehr wichtig, den Zustand der Lunge zu kennen. Nur so kann der Tauchmediziner abschätzen, ob die Lunge auch beim Tauchen normal funktionieren kann.

Bei der genannten Studie wurden die Raucher übrigens nicht mit einbezogen. Aber es ist ja allgemein bekannt, dass das Rauchen bereits vor dem Tauchen zu engen Luftwegen und Reizungen der Schleimhäute führt...

Einatmen – Ausatmen. Meine Dekozeit nähert sich ihrem Ende. Da kommt mir noch eine Studie in den Sinn, die auch 2016 publiziert wurde und die mit der Atmung zu tun hatte. Dabei wurde der Einfluss des Tauchanzugs auf die Atmung aufgezeigt. Bei dieser kleinen Untersuchung wurde bei 28 freiwilligen Testpersonen, darunter auch 12 Frauen im Alter von 27 bis 69 Jahren der lästige Atemtest einmal unter normalen Bedingungen durchgeführt und dann nochmals. Beim zweiten Durchgang trugen die Studienteilnehmer ihren Tauchanzug. Dabei wurden ausschliesslich Nassstauchanzüge in einer Dicke von 2–7mm getragen. Und siehe da: unabhängig von der

Materialstärke des Anzugs, vom Anzugersteller und vom Alter der Testpersonen waren die Messwerte mit Anzug deutlich schlechter als unter Normalbedingungen. Die Leute konnten wegen des Anzugs nicht mehr so gut Einatmen und damit natürlich auch nicht mehr ein gutes Volumen ausatmen. Die Autoren berechneten, dass der Anzug die Lungenfunktion in einem Ausmass verändert, als ob man 3,5 Jahre älter wäre als man wirklich ist. Das muss selbstverständlich bei der Beurteilung des Atemtests mit berücksichtigt werden. Die Aussage gilt jedoch nur für Nassanzüge. Es ist mir nicht bekannt, ob ähnliche Messungen auch mit Trockenanzügen einmal durchgeführt wurden.

Eine Binsenwahrheit also, aber trotzdem wichtig: ein zu enger Nassanzug lässt uns nicht nur unschön, sondern sogar alt aussehen – zumindest was die Lungenfunktion betrifft. Wir sollten beim Kauf eines Anzugs also nicht nur die Augen wählen lassen, sondern auch die Lungen.

Der Atemtest, der ungeliebte, hat also durchaus seine Berechtigung. Zahlreiche Aussagen sind aus den Messwerten ableitbar. Tauchen lässt unsere Lunge gewissermassen «asthmatisch» reagieren und ein Nassanzug erschwert die Atmung. Da wollen wir doch lieber schon im Voraus über unsere Reserven informiert sein.

Einatmen – Ausatmen. Meine Dekozeit ist um, auch diejenige meines Tauchpartners. Wir tauchen auf und freuen uns daran, dass der komplexe Gasaustausch so gut funktioniert. Einfach so...

Und wenn beim nächsten Atemtest beim Arzt der Atemtest kommt, so pusten wir fröhlich und lassen den Speichel tropfen wohin er will. Wir sind eben Taucher!

Die Literaturangaben zu den erwähnten Studien sind beim Autor erhältlich.

Text: Dr. med. Beat Staub
Facharzt für Allgemeinmedizin FMH,
Diving Medicine Physician EDTC
staub@praxis-staub.ch

Grafik: Fotolia