# Kohlendioxid – die Nemesis (Teil 1)

*Dies ist der erste Teil einer dreiteiligen Reihe über Kohlendioxid, einen der häufigsten (Mit-)Verursacher von Notfällen beim Tauchen. Ein zweiter und dritter Teil werden in zukünftigen Ausgaben von Alert Diver erscheinen.*

## Noch mal gut gegangen…

Ich würde gerne mit einer persönlichen Geschichte beginnen. Vor acht Jahren, 2016, nahm ich an einem Höhlentauchgang teil. Ausgangspunkt war Cenote Regina in der Nähe von Tulum (Quintana Roo, Mexiko). Unser Ziel war ein Besuch des mit Salzwasser gefüllten Abschnitts auf etwa 30 Metern Tiefe, mit einer Maximaltiefe von 34 Metern für diesen Tauchgang. Als Gas wählten wir pro Person vier 11-Liter-Flaschen mit 32% Nitrox (Doppelgerät und zwei Stage-Flaschen), sowie eine 5,5-Liter-Flasche mit reinem Sauerstoff für die Deko, welche wir in der Nähe des Eingangs auf einer Tiefe von sechs Metern deponierten. Die geplante Dauer des Tauchgangs waren etwa 200 bis 210 Minuten.

Wegen beruflicher Verpflichtungen hatte ich in der Nacht zuvor nur knapp drei Stunden Schlaf bekommen. In der Rückschau war es wohl nicht die beste Entscheidung, den Tauchgang dennoch anzutreten. Allerdings liegt es in Natur einer Rückschau, dass sie einem erst im Nachhinein zuteil wird, was ihre Tauglichkeit als Entscheidungshilfe leider erheblich einschränkt.

Das Höhlensystem der Cenote Regina ist atemberaubend schön, und user Tauchgang verlief zunnächst nach Plan. Nach etwa 90 Minuten erreichten wir den vereinbarten Flaschendruck und gaben das Signal zur Umkehr. Vor uns lag ein Rückweg von etwa gleicher Dauer, gefolgt von vielleicht zwanzig Minuten Deko im Flachwasser.

Etwa zehn Minuten später setzte ein sehr seltsames Gefühl ein, das ich zuvor so noch nicht erlebt hatte: Mein Zwerchfell begann zu zittern, und meine Atmung veränderte sich allmählich in etwas, das man vielleicht als unkontrolliertes Schluchzen beschreiben könnte – allerdings völlig ohne den emotionalen Gehalt, der gemeinhin mit Schluchzen assoziiert wird. Ich konzentrierte mich auf meine Atmung und versuchte, sie wieder unter Kontrolle zu bringen, doch es half nichts. Das Schluchzen wurde stärker. Mir wurde klar, dass ich nicht besonders effizient atmete und mehr Blasen als üblich produzierte.

*Bildnachweis: Joram Mennes*

Es dauerte nicht lange, bis sich zudem ein psychologischer Effekt bemerkbar machte: Mit wurde mulmig zumute, und ich hatte das Gefühl, nicht ausreichend Luft zu bekommen. ich wechselte zu meinem Zweitregler, um eine Fehlfunktion als Ursache auszuschließen. Wie erwartet zeigte dies jedoch keinerlei Effekt.

Ich signalisierte dem Team, dass ich ein Problem hatte, und wir hielten an. Ich begann den Drang zu verspüren, an die Oberfläche zu schießen, eine Forderung aus den primitiveren Regionen meines zentralen Nervensystems, und wenig hilfreich angesichts des Umstands, dass wir uns knapp zwei Stunden vom Ausgang entfernt befanden, mit dreißig Metern Fels und Erde über unseren Köpfen.

Die nächsten Minuten – sie fühlten sich sehr lange an – führte ich eine Dialog mit einer inneren Stimme, die mir nahelegte, hier und jetzt aufzugeben. Das wäre einfach nur verständlich. Niemand würde es mir übel nehmen. Diese Stimme zurück in das Loch zu schicken, aus dem sie gekrochen war, kostete mich einiges an Disziplin. Ich gebe offen zu, dass die Sache auch anders hätte ausgehen können.

Doch irgendwann ließ das Schluchzen nach. Wir setzten unseren Rückweg in gemäßigtem Tempo fort. Die Verzögerung und meine erhöhte Atmung hatten an unseren Gasreserven geknabbert. Obschon die verbleibenden Vorräte immer noch mehr als ausreichend waren, war ich erleichtert, die erste Stage-Flasche mit weiteren 110 bar Nitrox vorzufinden.

Infolge meiner Zwangspause und der entsprechend längeren Deko beendeten wir unseren Tauchgang mit einer halben Stunde Verspätung. Aber wir waren draußen. Ich ging am nächsten Tag wieder Höhlentauchen – wenn auch mit dem Vorsatz, mehr zu schlafen und kleinere Brötchen zu backen, jedenfalls fürs Erste.

Im Debriefing identifizierten wir eine Anreicherung von Kohlendioxid in der Blutbahn als wahrscheinliche Ursache meines Problems, mit Erschöpfung aufgrund von Schlafmangel als Mitursache. Womit wir beim Thema dieses Artikels wären.

*Bildnachweis: Joram Mennes*

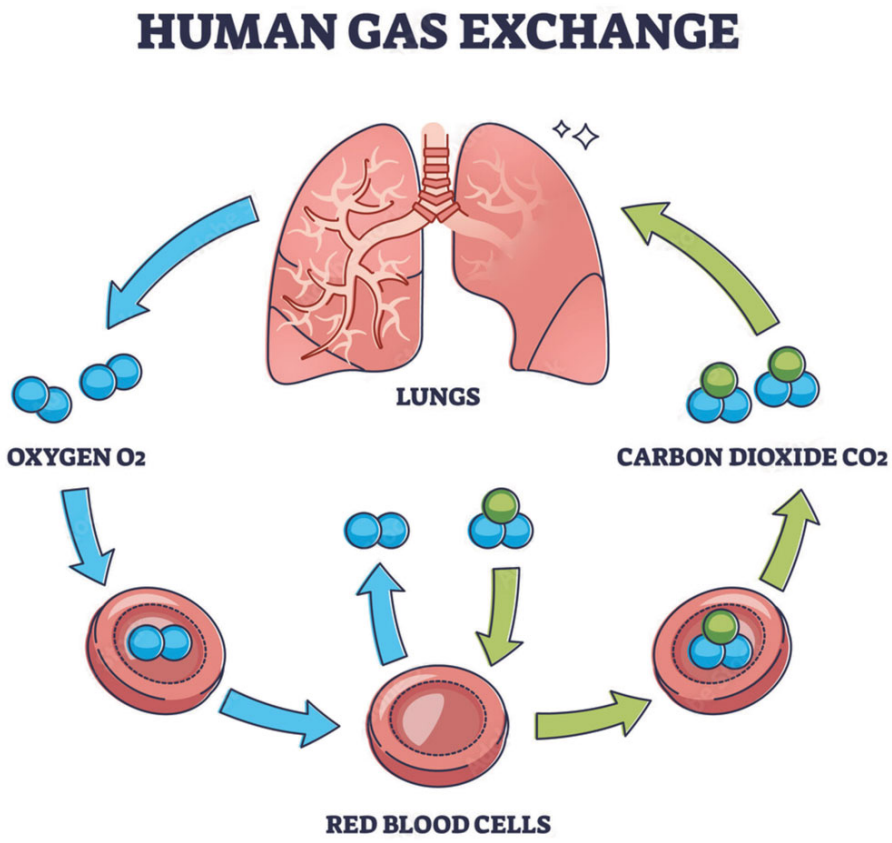
## Der Kohlendioxid-Stoffwechsel in (sehr kurzer) Kürze

Kohledioxid ist ein Abfallprodukt unseres Zellstoffwechsels. Wir atmen sauerstoffhaltiges Gas ein. Unsere Lungen leiten einen Teil des Sauerstoffs in die Blutbahn weiter, wo er von roten Blutkörperchen (*Hämoglobin*) aufgenommen wird. Das sauerstoffreiche Blut fließt zur linken Seite des Herzens, von wo aus es zunächt zum Gehirn und dem zentralen Nervensyste, anschließend in den Rest unseres Körpers gepumpt wird.

In den verschiedenen Körperteilen finden biochemische Reaktionen statt, bei denen Sauerstoff mit Kohlenstoff (aufgenommen über die Nahrung) zu Kohlendioxid verbunden wird. Diese Reaktionen erzeugen die Energie, die wir zum Leben brauchen.

Das sauerstoffarme Blut, nun angereichert mit Kohlendioxid in verschiedenen Formen, fließt zurück zur rechten Seite des Herzens. Von dort wird es in die Lunge gepumpt, wo das Kohlendioxid aus der Blutbahn entfernt und letzlich ausgeatmet wird.

*Anmerkung: Die tatsächlichen Abläufe sind deutlich komplexer. Beispielsweise ist $CO_2$ kein reines Abfallprodukt, sondern spielt eine wichtige Rolle bei der Regelung des Säuregehalts im Blut. Bei jedem Durchlauf der Lunge werden weniger als 10% des im Blut enthaltenen $CO_2$ entfernt. Weitere Details sind hier zu finden (Englisch).*




## Die Vermessung des Übeltäters

Es gibt eine Rehie von messbaren physiologischen Werten, mit denen diese Vorgänge beschrieben werden können. Die Kapazität unserer Lungen zur Sauerstoffaufnahme bezeichnet man als *$VO_2$ max*. $VO_2$ max beschreibt die Menge an Sauerstoff, pro Zeiteinheit und relativ zur Körpermasse, die unsere Lungen dem Körper für die Erzeugung von Energie zur Verfügung stellen können. Ausdauersportler sind mit diesem Wert als Maß der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems vertraut.

Eine zweite, wichtige Größe ist der *respiratorische Quotient* (englisch: *respiratory exchange ratio* oder *RER*). RER beschreibt das Verhältnis zwischen dem Ausstoß von Kohlendioxid und der Aufnahme von Sauerstoff. Ein normaler RER-Wert für Menschen im Ruhezustand ist 0,8. Ja, genau: Wenn wir ruhen, stoßen wir je fünf Moleküle Sauerstoff, ($O_2$) die wir aufnehmen, nur vier Moleküle Kohlendioxid aus ($CO_2$). Die Differenz des Sauerstoffs verbleibt im Körper. Unter Belastung kann die RER auf Werte von 1.2 und höher ansteigen. Wenn dies eintritt, greift der Stoffwechsel auf Sauerstoffreserven zurück, die während der Ruhephasen in den Muskeln gespeichert wurden (chemisch gebunden an *Myoglobin*). Ein RER-Wert von 1.0 wird als anaerobe Schwelle bezeichnet – ein weiterer Wert, mit dem Sportler vertraut sind.

Unter Belastung hat unser Körper einen erhöhten Sauerstoffbedarf und produziert mehr Kohlendioxid. Wenn die Menge des produzierten Kohlendioxids die Kapazität unseres Gasstoffwechsel übersteigt, $CO_2$ auszustoßen, sammelt sich $CO_2$ im Körper an. Apnoetaucher wissen, dass das Gefühl von Luftnot und der Drang zu atmen nicht durch Sauerstoffmangel ausgelöst werden. Sauerstoff ist normalerweise reichlich vorhanden, und Mangel an Sauerstoff führt schlicht zu Bewusslosigkeit. Auslöser ist statt dessen ein Übermaß an $CO_2$, auch als *Hyperkapnie* bezeichnet.

*Hier endet der erste Teil unserer kleinen Serie. In Teil zwei werfen wir einen genaueren Blick auf die*

*Physiologie von Kohlendioxid im menschlichen Körper, wie diese durch das Tauchen beeinflusst wird, und was genau Hypercapnie so gefährlich macht. Teil drei widmet sich den Gegenmaßnahmen – Fertigkeiten und Verfahren, mit denen wir unsere $CO_2$–Belastung unter Kontrolle halten können. Bleibt dran, und bleibt sicher!*

---

*Die Unterwasserfotos in diesem Artikel zeigen die atemberaubende Cenote Regina. Sie wurden von Joram Mennes und dem Tauchermodell Stratis Kas aufgenommen. Vielen Dank an beide für diese großartigen Aufnahmen, die ausdrücklich für diesen Alert-Diver-Beitrag gemacht wurden.*

---

**Der Autor**

Tim Blömeke unterrichtet Tech- und Sporttauchen in Taiwan und auf den Philippinen. Er ist Autor und freier Übersetzer, sowie Mitglied des Redaktionsteams von Alert Diver. Er taucht einen Fathom CCR. Im Netz erreicht man ihn über seinen Blog und auf Instagram.