

10. Ein paar Worte über Trimix

Im technischen Tauchen wird bei tiefen Tauchgängen Trimix eingesetzt. Welchen Vorteil hat das Gas und wie wirkt es sich auf die Dekompression aus?

Neben der Dekompression gibt es gerade bei tiefen Tauchgängen noch andere Dinge, die uns Taucher beschäftigen und auch die Tiefe limitieren. Insbesondere der Tiefenrausch und die Gasdichte, die wesentlich die Atemarbeit beeinflusst, werden mit zunehmender Tiefe immer wichtiger. Stickstoff ist narkotisch und hat bei Drücken, wie sie jenseits der Sporttauchgrenzen erreicht werden, auch eine nennenswerte Dichte. Um beiden Problemen zu begegnen, wird bei tiefen technischen Tauchgängen regelmäßig Helium eingesetzt. Um zu verstehen, wie ein Anteil von Helium im Atemgas die Dekompression beeinflusst, werfen wir auch auf dieses Gas einen kurzen Blick. Warum ausgerechnet Helium? Was bringt das Gas beim Tauchen? Und könnte man Trimix in der Dekompression nicht einfach wie Luft oder Nitrox behandeln? Was sind die Unterschiede?

Warum ausgerechnet Helium?

Das vielleicht dringendste Problem beim tiefen Tauchen mit Luft ist die Stickstoffnarkose. Gesucht wird also ein Gas, das weniger narkotisch, ohne weitere Nebenwirkungen atembar und dabei möglichst einfach verfügbar ist.

Gas	Narkotisches Potenzial
Helium (He)	0,2
Neon (Ne)	0,3
Wasserstoff (H ₂)	0,6
Stickstoff (N ₂)	1
Argon (Ar)	2,3
Xenon (Xe)	25,6

Tab. 10.1: Narkotisches Potenzial verschiedener Gase im Vergleich zu Stickstoff (nach Ruzicka et al. 2007)

Die nebenstehende Tabelle gibt einen Überblick zu den narkotischen Potenzialen einiger ungiftiger Gase (Tab. 10.1).⁹⁴ Dabei geht man von Luft bzw. Stickstoff aus, und vergleicht andere Gase damit (die Frage, ob Sauerstoff ebenfalls zur Narkosewirkung beitragen kann, sprechen wir im Kapitel zum Tiefenrausch kurz an). Die Auswahl an solchen Gasen, die weniger narkotisch sind als Stickstoff, ist nicht groß. Neon käme zwar auch in Frage, ist aber noch teurer als Helium, was für Sporttaucher vermutlich ein Knock-Out-Kriterium wäre. Wasserstoff hat das Problem, dass er mit Sauerstoff in einem wei-

⁹⁴ nach Ruzicka, J. et al. (2007). Biological Effects of Noble Gases. Daten für Tab. 10.1 entnommen aus Table 1, S. 40.

ten Bereich von Mischungsverhältnissen explodieren oder brennen kann. Das ist ein gewaltiges Problem für die Verwendung in normalen Tauchbetrieben. Im Bereich extrem tiefer industrieller, möglicherweise auch militärischer Tauchgänge oder bei Expeditionen kann das anders aussehen, da stark hypoxische Gemische verwendbar sind. Experimentell zumindest gibt es hier interessante Ansätze, aktuell auch für den Einsatz in Rebreathern.⁹⁵

Unsere Ziele hier sind aber bescheidener; Helium ist vergleichsweise ungefährlich zu handhaben und verfügbar. Um genau zu sein ist es (nach Wasserstoff) sogar das zweithäufigste Element im ganzen Kosmos. Auf der Erde haben wir aber dennoch keinen einfachen Zugriff darauf. Anders als beim Stickstoff oder auch Argon gibt es in unserer Atmosphäre nur einen sehr kleinen Anteil Helium. Es einfach aus der Luft zu gewinnen, ist nicht sinnvoll möglich. Helium ist sehr leicht und steigt daher gegen die schwereren Gase Sauerstoff und Stickstoff nach oben. Selbst wenn es aus der Erdkruste in die Atmosphäre gelangt, entschwindet es langsam, aber unaufhaltbar. Die Tiefen der Erde setzen uns dennoch auf die richtige Spur: Erdgaslagerstätten enthalten einen Anteil Helium, es fällt daher bei der Erdgasförderung an. Da aber der Verbrauch von Erdgas die Lagerstätten schneller erschöpft, als sie sich geologisch regenerieren, ist auch das Helium aus diesen Quellen letztlich eine endliche Ressource. Die mit Abstand größten Mengen an Helium liefern zurzeit die USA, andere Regionen haben in den letzten Jahrzehnten ihre Kapazitäten ausgebaut, aber spielen momentan eine untergeordnete Rolle. Aus diesen Umständen wird sicherlich schon klar: Unsere Versorgung mit günstigem Helium hängt auch an einer geopolitischen und wirtschaftlichen Weltlage, die sich um vieles, aber nicht ums Tauchen dreht.

Beim Tauchen haben wir somit Glück, bezahlbar an diese Ressource heranzukommen, die primär für andere Anwendungen gefördert wird. Wirklich wichtig ist Helium zum Beispiel in der Medizintechnik, in der Raumfahrt und in der Halbleiter-Industrie. Dazu kommen Anwendungen im Berufstauchen und irgendwann – zusammen mit anderen relativen Nischen-Anwendungen einschließlich Dingen wie Party-Ballons – kommt dann der Verbrauch für das Sporttauchen. Die Verwendung von Helium als Atemgas macht gerade einmal ca. 3 % des globalen Konsums aus.

Helium ist von seinen Eigenschaften her nicht perfekt, aber in mancher Hinsicht das beste Inertgas, das wir kriegen können:

Helium ist ein leichtes und extrem stabiles Gas. Es reagiert unter normalen Bedingungen chemisch quasi nicht, kann im Körper also keine unerwünschten Produkte bilden. Es ist deutlich weniger narkotisch als Stickstoff und weil es so leicht ist, lässt es sich angenehm atmen. Es ist nicht

95 Stewart, A. (2023, Oktober 31). N=1: The Inside Story of the First-Ever Hydrogen CCR Dive. InDEPTH magazine.

billig, aber noch bezahlbar. Ideale Voraussetzungen, um als Atemgas gewählt zu werden.

Was Helium so gut atembar macht

Zurück zu unseren beiden Problemen: Narkose und Gasdichte. Wir haben schon gesehen, dass Helium nur etwa 25 % so narkotisch ist wie Stickstoff – wir können damit bedeutend tiefer tauchen, bevor wir Effekte des Tiefenrauschs spüren. Wer seine ersten Erfahrungen mit Trimix macht, wird diesen Effekt deutlich merken: Die Farben werden klarer, das Denken einfacher und man erinnert sich nachher auch noch, wie es da unten aussah.

Und auch die andere positive Eigenschaft von Helium haben wir schon kurz angesprochen: Seine viel geringere Dichte im Vergleich zu Stickstoff. Die Dichte ist neben der narkotischen Wirkung der zweite Grund, der gegen zu viel Stickstoff in der Tiefe spricht. Das Gas wird unter hohem Druck so dicht, dass die Atemarbeit deutlich ansteigt. Mehr Atemarbeit führt schnell zu einem erhöhten CO_2 -Spiegel im Körper. Denn dieses unvermeidliche Stoffwechselprodukt kann dann – eben wegen der schweren Atmung und eventuell auch wegen komplexerer Effekte bei gleichzeitig hohem pO_2 – nicht mehr so gut abtransportiert werden. Wenn nun der CO_2 -Spiegel im Körper steigt, kann es zu einer Kette von Reaktionen kommen: Da der Atemanreiz in erster Linie vom CO_2 gesteuert wird, will man atmen und kann einen regelrechten »Lufthunger« spüren. Und das ist etwas, das Angst macht: Man will mehr atmen, viel »frische Luft«, aber trotz heftigem Ziehen am Regler kommt keine echte Linderung zustande, weil das Atmen selbst so anstrengend ist. Der CO_2 -Spiegel bleibt erhöht und steigt sogar noch weiter.

Der menschliche Körper ist einfach darauf ausgelegt, bei der Dichte von Luft unter dem Druck einer Atmosphäre – ca. 1,3 Gramm pro Liter – gut zu funktionieren. Die damit verbundene Atemarbeit können wir auch bei körperlicher Belastung (und damit auch höherer Atemfrequenz) normalerweise gut bewältigen. Eine erhöhte Dichte des Atemgases bedeutet dagegen mehr Masse, die beim Atmen bewegt werden muss. Dichtere Gase fließen weniger leicht. Eine mehrfach höhere Dichte des Atemgases kann uns schnell unsere Grenzen aufzeigen.

Der Zustand mit erhöhtem CO_2 -Spiegel heißt Hyperkapnie, und den möchten wir unbedingt vermeiden. Dafür ist es u.a. sinnvoll, die Atemarbeit zu verringern, also die Dichte des Atemgases zu reduzieren – und genau das macht Helium. Nun haben wir uns mehrere Randbedingungen für unser »Traum-Gemisch« als Atemgas überlegt: Es soll nicht zu narkotisch sein und eine geringe Gasdichte aufweisen. Natürlich soll der Sauerstoff-Partialdruck in allen Tiefen, die wir betauchen werden, ausreichend groß sein, aber auch nicht über die akzeptierten Grenzen steigen.

Wenn man jeweils einfach ein Gasgemisch wählen würde, dessen pO_2 in der maximalen Tiefe bei 1,4 bar liegt und dessen äquivalente Narkosetiefe bei 30 Meter, so ergäben sich die Mischungen, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind (Tab. 10.2). Mit der geringeren Narkosetiefe durch das Helium geht grundsätzlich auch einher, dass die Dichte geringer wird – was das im Vergleich mit Luft bedeutet, sieht man in der letzten Spalte. eingetragen ist hier die Tiefe, auf der Luft dieselbe Dichte erreicht wie das so angepasste »Trimix« (das Gemisch aus Sauerstoff/Helium/Stickstoff) in der maximalen Tiefe.

Tiefe	O ₂	N ₂	He	Dichte an Land	Dichte in der Tiefe	Entspricht mit Luft
50 m	23 %	53 %	24 %	1,03 g/l	6,21 g/l	38 m
60 m	20 %	45 %	35 %	0,91 g/l	6,39 g/l	39 m
70 m	18 %	40 %	43 %	0,82 g/l	6,56 g/l	41 m
80 m	16 %	35 %	49 %	0,75 g/l	6,74 g/l	42 m
90 m	14 %	32 %	54 %	0,69 g/l	6,92 g/l	44 m
100 m	13 %	29 %	59 %	0,65 g/l	7,10 g/l	45 m

Tab. 10.2: Gasgemische mit einem maximalen pO_2 von 1,4 bar in der Tiefe und äquivalenter Narkosetiefe (END) von 30 Meter

Wir können hier sehen, dass selbst bei einem Trimix mit einem relativ hohen Helium-Anteil in großen Tiefen dennoch eine Gasdichte erreicht wird, die zunehmend kritischer wird. In der Praxis würde man bei der Wahl des idealen Gases auch die Dichte als Kriterium mit einbeziehen. Der gewählte Helium-Anteil steigt dann entsprechend. Für das Tauchen mit Rebreathern, bei denen u.a. die Atemarbeit etwas höher liegen kann als beim offenen System, wird seit einigen Jahren eine ideale Dichte von nicht mehr als 5,2 g/l, und eine maximale Dichte von 6,2 g/l empfohlen.⁹⁶ Mit einem offenen System kann man sicher ein paar Minuten lang auch etwas mehr verkraften. Man geht damit aber ein Risiko ein. Wenn es anstrengender wird, man mehr atmet und der Stoffwechsel angetrieben wird, produziert man auch mehr CO₂. Und das kann dann eine kritische Schwelle überschreiten. Auch wenn es nicht zu einer ausgeprägten Hyperkapnie kommt, verstärkt CO₂ den Tiefenrausch auf unangenehme Art. Trimix macht uns das Atmen und den Aufenthalt in großen Tiefen zwar deutlich einfacher und teilweise überhaupt erst möglich. Das bedeutet aber nicht, dass alle kritischen Faktoren dadurch auf einen Schlag aus dem Weg geräumt sind. Und man bekommt eine neue Knobelaufgabe dazu: Wie verhält es sich mit der Dekompression bei mehreren Inertgasen auf einmal?

96 Anthony, G. & Mitchell, S. J. (2016). Respiratory Physiology of Rebreather Diving. In: Pollock NW, Sellers SH, Godfrey JM, eds. Rebreathers and Scientific Diving. Proceedings of NPS/NOAA/DAN/AAUS June 16-19, 2015 Workshop.