

## Weiteres zur Physik des Tauchens

LEOPOLD MATHELITSCH | SIGRID THALLER

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zum Artikel „Tiefe möglichst ohne Rausch“ in **Physik in unserer Zeit**, 45. Jahrgang 2014, Nr. 2, S. 90.

### Was uns zum Einatmen treibt

Ungeübte können ihren Atem nicht länger als höchstens zwei Minuten anhalten. Was zwingt uns zu atmen? Tatsächlich ist nicht etwa ein Sauerstoffnotstand im Blut der Auslöser. Es droht zwar Bewusstlosigkeit, sobald der Sauerstoffgehalt unter ein bestimmtes Niveau sinkt, doch das erreicht man nach einer Minute ohne Atmen noch nicht. In fast allen Lehrbüchern ist als Begründung angeführt, dass der kontinuierlich steigende CO<sub>2</sub>-Gehalt im Blut den Zwang zum Atmen auslöst. Man kann ihn durch mehrmaliges starkes Ein- und Ausatmen (Hyperventilieren) senken, sodass der Anstieg von einem tieferen CO<sub>2</sub>-Wert startet.

Eine andere Erklärung für den Zwang zum Einatmen liefert der englische Physiologe Michael J. Parkes. Seine Befunde zeigen, dass auch das CO<sub>2</sub> nicht der Auslöser ist [1]. Atmeten Probanden zuvor Luft mit erhöhtem CO<sub>2</sub>- und gesenktem O<sub>2</sub>-Gehalt ein, so veränderte dies den Atemzwang kaum. Blockierte man andererseits die Verbindungen der O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Sensoren zum Gehirn kurzzeitig, blieb der Reflex zum Einatmen erhalten. Nach diesen Studien kommt der Anstoß zum Einatmen vom Zwerchfell (Abbildung 1). Luftanhalten bedeutet ein ungewohnt langes Anspannen des Zwerchfells, und die Dauer dieses Spannungszustands soll der Auslöser für den Einatemreflex sein.

### Tauchrelevante Formeln

#### Boyle-Mariottesches Gesetz

$$p \cdot V = konst.$$

mit  $p$  für den Druck,  $V$  das Volumen.

#### Vitalkapazität

$$VK = \frac{G^3}{k} \cdot \left( 1,03 - \frac{A - 25}{100} \cdot 0,75 \right)$$

$VK$ : Vitalkapazität (in l)

$G$ : Körpergröße (in m)

$A$ : Alter (in Jahren)

$k$ : Geschlechtfaktor (männlich:  $k = 1$ , weiblich:  $k = 1,1$ ).

### **Tauchzeit**

$$t = \frac{p_{\text{Fl}} \cdot V_{\text{Fl}}}{AMV \cdot p_{\text{U}}}$$

$t$ : Tauchzeit (in min)

$p_{\text{Fl}}$ : Druck in der Flasche (in bar)

$V_{\text{Fl}}$ : Volumen der Flasche (in l)

$AMV$ : Atemminutenvolumen (in l/min)

$p_{\text{U}}$ : Umgebungsdruck (in bar).

### **Daltonsches Gesetz (Partialdruckgesetz)**

Der Gesamtdruck eines Gasgemischs ist die Summe der Teildrücke, die jedes Gas für sich ausüben würde, würde es den gesamten Raum des Gasgemischs ausfüllen. Luft hat einen Anteil von 78 % Stickstoff und 21 % Sauerstoff. In 10 m Wassertiefe ergibt dies Partialdrücke von 1,56 bar (Stickstoff) bzw. 0,42 bar (Sauerstoff).

### **Gesetz von Henry**

Die Konzentration eines Gases in einer Flüssigkeit ist bei konstanter Temperatur proportional zum Partialdruck des Gases über der Flüssigkeit:

$$c = k_{\text{H}} \cdot p_i$$

$c$ : Konzentration des Gases in der Flüssigkeit (in Mol)

$k_{\text{H}}$ : Henry-Konstante

$p_i$ : Partialdruck des Gases.

### **Literatur**

[1] M. J. Parkes, Spektrum d. Wiss. **2012**, 10, 37.