

### Die luftleitenden Wege bilden den anatomischen Totraum

Zu den luftleitenden Atemwegen, in denen kein Gasaustausch stattfindet, gehören Mundhöhle, Nase, Pharynx, Larynx, Trachea, Bronchien bis zu den Bronchioli terminales. Sie werden als **anatomischer** oder **serieller Totraum** bezeichnet; seriell deswegen, weil seine Atemwege in Serie liegen mit dem gasaustauschenden **Alveolarraum**. Wenn auch der anatomische Totraum für den Gasaustausch „tot“ ist, so erfüllt er doch wesentliche Aufgaben bei der Erwärmung und Anfeuchtung sowie der Reinigung der Einatemluft (S. 214).

### Nur die alveoläre Ventilation dient dem Gasaustausch

Es soll jetzt betrachtet werden, was bei der Einatmung eines Atemzugvolumens geschieht (Abb. 10.27). Vor der Inspiration sind die Atemwege von der letzten Expiration her mit Gas aus dem Alveolarraum (**Alveolargas**) gefüllt (Abb. 10.27/1). Wird nun ein Atemzugvolumen  $V_T$  mit Frischluft eingeatmet, so gelangt in den Alveolarraum zunächst das Alveolargas, das sich noch im Totraum befindet (Volumen  $V_D$ ), und nur mit dem Rest,  $V_T - V_D$ , kommt Frischluft in die Alveolen (Abb. 10.27/2); der übrige Teil der Frischluft bleibt im Totraum liegen. Nur der alveoläre Teil des Atemzugvolumens,  $V_{TA} = V_T - V_D$ , wird mit dem Alveolargas durchmischt (Abb. 10.27/3) und dient so der Frischgasbelüftung des Alveolarraums; das Totraumvolumen wird unverändert wieder ausgeatmet (Abb. 10.27/4). Ist also  $\dot{V}_A$  die **alveoläre Ventilation**, d. h. die gesamte Ventilation ( $\dot{V}_E$ ) abzüglich der Totraumventilation ( $\dot{V}_D = V_D \cdot f_R$ ),

$$\dot{V}_A = \dot{V}_E - \dot{V}_D \quad (10.35)$$

so hängt die **Zusammensetzung des alveolären Gases** genauso von der alveolären Ventilation ab, wie es in Gl. 10.28 für expiratorisches Gas und gesamte Ventilation dargestellt ist:

$$\dot{V}_{O_2} = \frac{1}{115} \cdot \dot{V}_A \cdot (P_i - P_A)_{O_2} \quad (10.36)$$

Und für  $CO_2$ :

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{1}{115} \cdot \dot{V}_A \cdot P_{ACO_2} \quad (10.37)$$

### Die alveoläre Ventilation bestimmt die Zusammensetzung des Alveolargases

Je höher die alveoläre Ventilation, desto „frischer“ ist das Alveolargas, d. h., desto ähnlicher ist seine Zusammensetzung der eingeatmeten Luft. Diese einfache, aber für das Verständnis des Gasaustauschs äußerst wichtige Tatsache erkennt man besonders gut, wenn man die Gleichungen 10.36 und 10.37 nach den alveolären Partialdrücken auflöst:

$$P_{AO_2} = P_{iO_2} - 115 \cdot \dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_A \quad (10.38)$$

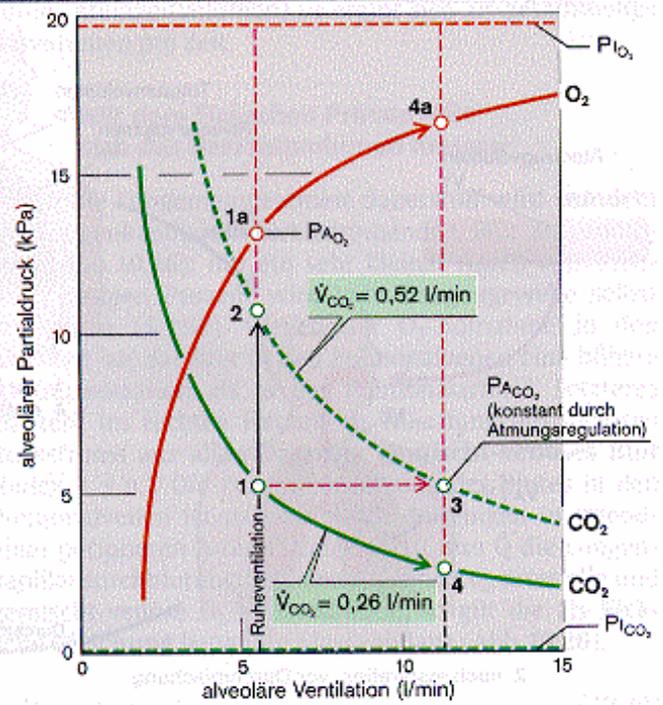


Abb. 10.28 Alveoläre Partialdrücke, alveoläre Ventilation und Stoffwechsel. Die Kurven zeigen drei wichtige Fakten.

- Bei konstantem Stoffwechsel (durchgezogene Linien, grün für  $CO_2$ , rot für  $O_2$ ) wird bei Erhöhung der alveolären Ventilation (Abszisse) die alveoläre Luft „frischer“, d. h., ihr  $P_{CO_2}$  sinkt ab, ihr  $P_{O_2}$  steigt an. Ausgehend vom Ruhewert (1 für  $CO_2$  und 1a für  $O_2$ ) sinkt bei Verdoppelung von  $\dot{V}_A$  der alveoläre  $P_{CO_2}$  auf die Hälfte (1 → 4), und der alveoläre  $P_{O_2}$  steigt so weit (1a → 4a), daß sich sein Abstand vom inspiratorischen Wert ( $P_{iO_2}$ ) auf die Hälfte vermindert.
- Bei Erhöhung des Stoffwechsels (gestrichelte grüne Kurve,  $\dot{V}_{CO_2}$  auf das Doppelte erhöht) verdoppelt sich auch der alveoläre  $P_{CO_2}$ , wenn die alveoläre Ventilation unverändert bleibt (1 → 2). (Für  $O_2$  gilt Entsprechendes, das aber der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt ist.)
- In vivo hingegen steigt bei Steigerung des Stoffwechsels  $\dot{V}_A$  aufgrund der Atmungsregulation etwa in gleichem Maße wie die  $CO_2$ -Produktion, so daß der alveoläre  $P_{CO_2}$  weitgehend unverändert bleibt (1 → 3).

$$P_{ACO_2} = 115 \cdot \dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_A \quad (10.39)$$

In Abb. 10.28 sind diese hyperbolischen Beziehungen zwischen den alveolären  $O_2$ - und  $CO_2$ -Partialdrücken einerseits und alveolärer Ventilation andererseits graphisch dargestellt.

### Bohr-Totraumformel

Abb. 10.27 zeigt, welche Gaskonzentrationen während der Expiration an den Lippen eines Probanden gemessen werden können. Zunächst wird Frischluft (Konzentration  $F_i$ , Volumen  $V_D$ ), dann Alveolarluft (Konzentration  $F_A$ , Volumen  $V_T - V_D$ ) ausgeatmet. Die Mischung beider Portionen verändert nicht die gesamte Gasmenge im Expirat (Konzentration  $F_E$ ), so daß die folgende Massenbilanz gilt:

$$V_D \cdot F_i + (V_T - V_D) \cdot F_A = V_T \cdot F_E \quad (10.40)$$