

1.2.1 Ideale Gasgleichung

Die Zusammenhänge zwischen Volumen, Druck, Temperatur und der Stoffmenge eines Gases können durch die ideale Gasgleichung dargestellt werden:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

Hierbei wird der Druck (= p) in kPa, das Volumen (= v) in l, die Gasmenge (= n) in mol und die Temperatur (= T) in K (= Kelvin) angegeben. R ist die allgemeine Gaskonstante (= 8,31 l•kPa/mol•K).

MERKE:

Der Wasserdampf folgt nicht der idealen Gasgleichung und muss in jeder Berechnung separat betrachtet werden.

1.2.2 Partialdruck

Verstanden werden muss auch die Bedeutung des Partialdrucks. Er ist der Teildruck, den ein bestimmtes Gas X zu einem Gesamtgasdruck P_{ges} eines Gasgemischs beiträgt:

$$P_{\text{ges}} = P_{x_1} + P_{x_2} + P_{x_3} + P_{x_n} + P_{\text{H}_2\text{O}}$$

1.2.3 Wasserdampfdruck

Wasserdampf ist gasförmiges Wasser und besitzt als wichtige Besonderheit einen oberen Grenzwert des Partialdrucks. Wird dieser obere Grenzwert erreicht, könnte mit einem Barometer eine Luftfeuchtigkeit von 100% gemessen werden und wir würden uns fühlen als hätten wir den dicksten Londoner Nebel um uns herum. Bei diesem temperaturabhängigen Sättigungsdruck (= $P_{\text{H}_2\text{O}}$) steht nämlich der gasförmige Wasserdampf im Gleichgewicht mit flüssigem Wasser.

MERKE:

Atemgas im menschlichen Körper ist körperwarm und vollständig wasserdampfgesättigt. Bei 37°C beträgt die Wasserdampfsättigung 6,3 kPa.

Übrigens...

Angenommen die äußere Temperatur beträgt 37°C und es liegt eine vollständige Wasserdampfsättigung vor - wie dies hin und wieder in tropischen Regenwäldern anzutreffen ist - dann ist die Perspiratio insensibilis (= Wasserabgabe über die Lungen) gleich null. Es wird somit KEIN Wasser abgegeben, da außerhalb und innerhalb der Lungen identische Bedingungen vorliegen (= BTPS, s. 1.2.4 unten). Unter solchen Umständen ist die Perspiratio sensibilis (= die Wasserabgabe über den Schweiß) maximal und es besteht die Gefahr einer hypertonen Dehydratation (= Wasserverlust mit steigender Elektrolytkonzentration), wobei das Schwitzen unter diesen Bedingungen keine Wärmeabgabe bringt.



1.2.4 Messbedingungen

In der Physiologie werden insgesamt drei Messbedingungen eines Gases unterschieden:

- BTPS (= body temperature pressure saturated) als die Körperbedingungen mit $T = 37^\circ\text{C}$ (= 310 K), $P =$ Umgebungsluftdruck P_B und einem Wasserdampfpartialdruck von $P_{\text{H}_2\text{O}} = 6,3$ kPa (= vollständige Sättigung mit H_2O bei Körpertemperatur, 47mmHg).
- ATPS (= ambient temperature pressure saturated) als die Spirometerbedingungen mit der Temperatur im Spirometer (= T_S von 20 oder 25°C), dem Umgebungsluftdruck P_B und einem Wasserdampfdruck $P_{\text{H}_2\text{O}}$ bei der entsprechenden Spirometer Temperatur.
- STPD (= standard temperature pressure dry) als die Standardbedingungen mit $T = 0^\circ\text{C}$ (= 273 K), $P = 101$ kPa und einem wasserfreien Zustand mit $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0$ kPa.

MERKE:

V_{BTPS} ist etwa 10% höher und V_{STPD} etwa 10% niedriger als das spirometrisch gemessene Volumen

V_{ATPS} :

$$V_{\text{(BTPS)}} > V_{\text{(ATPS)}} > V_{\text{(STPD)}}$$



DAS BRINGT PUNKTE

Zu den anatomischen Grundlagen der Atmung wurde in den letzten Physika lediglich gefragt, dass

- die Alveolar-Epithelzellen Typ I an der Blut-Gas-Barriere beteiligt sind.

Im Gegensatz hierzu wurden in den vergangenen Jahren zunehmend Fragen zu den physikalischen Grundlagen der Atmung gestellt. Hierzu sollte man sich merken, dass

- unter Körperbedingungen (= BTPS) bei 37° C die Wasserdampfsättigung 6,3 kPa beträgt,
- für die Volumenbeziehung $V_{(BTPS)} > V_{(ATPS)} > V_{(STPD)}$ gilt,
- unter Zuhilfenahme der idealen Gasgleichung die Stoffmenge eines Gases errechnet werden kann, wenn Druck, Volumen, Temperatur und allgemeine Gaskonstante bekannt sind, nach der Formel:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

- bei der Einatmung vollständig mit Wasserdampf gesättigter Luft (= BTPS) die respiratorische Perspiratio insensibilis (= Wasseratmung) gleich null ist,
- bei der Perspiratio sensibilis (= Schwitzen) die Gefahr einer hypertonen Dehydratation besteht,
- der Sauerstoffpartialdruck in der Umgebungsluft 20 kPa beträgt und
- die Löslichkeit von CO₂ im Blut 20 mal größer ist, als die von O₂.



BASICS MÜNDLICHE

Was können Sie mir zum Bronchialbaum der Lunge sagen?

Der Bronchialbaum teilt sich in 23 Atemwegsgenerationen auf, erst ab der 17. kommen die 0,3 mm dicken Alveolen vor, in denen der Atemgasaustausch stattfindet.

Durch welche Zellen wird in der Lunge die Blut-Gas-Schranke gebildet?

Die Blut-Gas-Barriere wird vor allem von den Alveolar-Epithelzellen Typ I gebildet.

Was können Sie mir zur Zusammensetzung der Umgebungsluft sagen?

Sie besitzt einen Luftdruck von etwas über 100 kPa. Diese 100 kPa ergeben sich aus den Partialdrücken für O₂ von etwa 20 kPa, CO₂ von 0,03 kPa, N₂ von etwa 74,1 kPa und einem Partialdruck Wasserdampf von 6,3 kPa bei 37°C und voller Wasserdampfsättigung sowie dem Partialdruck der Edelgase (u.a. Helium...).

Welche Messbedingungen unterscheiden Sie in der Physiologie?

- Die Körperbedingungen (= BTPS) bei 37°C,
- die Spirometerbedingungen (=ATPS) bei meistens 20°C und
- die physikalischen Standardbedingungen (= STPD) bei 0°C und Wasserfreiheit.

Bei den ersten beiden Bedingungen entspricht die Wasserdampfsättigung der jeweiligen Temperatur. Das Volumen unter Körperbedingungen ist etwa 10% größer und das unter physikalischen Bedingungen etwa 10% geringer, als das Volumen im Spirometer.

Mit welcher Formel können Sie die Volumenunterschiede der einzelnen Messbedingungen errechnen?

Mit der idealen Gasgleichung können die Volumina unter verschiedenen Bedingungen errechnet werden, $P \cdot V = M \cdot R \cdot T$. Sie gibt die Beziehung zwischen dem Partialdruck, dem Volumen, der Stoffmenge und der Temperatur eines Gases an und ist abhängig von der allgemeinen Gaskonstante (= 8,31 l•kPa/mol•K).

1.3 Lungen- und Atemvolumina

Im Physikum werden Fragen zum Lungen- und Atemvolumen gestellt, die auch Rechenaufgaben umfassen. Es lassen sich zwei Arten von Lungen- und Atemvolumina unterscheiden:

Ein Lungenvolumen, das durch den Einsatz von Atemmuskeln mobilisiert werden kann, und eines, das nicht durch Atemmuskeln mobilisierbar ist.

Das **mobilisierbare Volumen** lässt sich weiter unterteilen in (s. Abb. 1, S. 5)

- das **Atemzugvolumen** (AZV = 0,5l) = das Volumen, das normalerweise ein- und ausgeatmet wird,
- das **inspiratorische Reservevolumen** (IRV = 3,5l) = das Volumen, das nach einer normalen Einatmung noch zusätzlich eingeatmet werden kann,
- das **expiratorische Reservevolumen** (ERV = 1,5l) = das Volumen, das nach einer normalen