

Kapitel 48

Physikalische Prozesse, die den Atemgasaustausch bestimmen

- Die meisten Zellen benötigen einen konstanten Nachschub an Sauerstoff und einen ständigen Abtransport von Kohlendioxid. Diese Atemgase werden zwischen den Körperflüssigkeiten eines Tieres und der Umgebung per Diffusion ausgetauscht.
- Bei aquatischen Tieren wird der Gasaustausch durch die geringe Diffusionsrate und den niedrigen Sauerstoffgehalt im Wasser limitiert. Bei steigenden Temperaturen stehen wasserlebende Tiere vor einem doppelten Problem, weil dann der O₂-Gehalt des Wassers sinkt, aber ihre Stoffwechselaktivität zunimmt und mehr Arbeit erforderlich ist, um Wasser über ihre respiratorische Oberfläche zu leiten.

[Siehe Abbildung 48.2](#)

- In der Atmosphäre nimmt der Sauerstoffpartialdruck mit zunehmender Höhe ab.
- Das Ficksche Diffusionsgesetz zeigt, wie verschiedene physikalische Faktoren die Diffusionsrate von Gasen beeinflussen. Anpassungen zur Optimierung des respiratorischen Gasaustauschs beeinflussen eine oder mehrere Komponenten des Fickschen Diffusionsgesetzes.

Anpassungen zur Erleichterung des Atemgasaustauschs

- Zu den Anpassungen zur Optimierung des respiratorischen Gasaustauschs gehören eine Vergrößerung der respiratorischen Oberfläche sowie eine Maximierung der Partialdruckgradienten über dieser Austauschfläche durch Verringerung ihrer Dicke, durch Ventilation der äußeren Oberfläche mit dem Atemmedium und durch Perfusion der inneren Oberfläche mit Blut.

[Siehe Abbildung 48.3](#)

- Insekten verteilen Luft mithilfe eines Systems von Tracheen und Tracheolen durch Diffusion im ganzen Körper.

[Siehe Abbildung 48.4](#)

- Fische besitzen in Form von Kiemen große respiratorische Oberflächen, die ständig ventiliert und in einer Richtung von Wasser überströmt werden. Der Blutstrom, der nach dem Gegenstromprinzip entgegen dem Atemwasserstrom erfolgt, erhöht die Effizienz des Gasaustauschs.

[Siehe Abbildung 48.5](#) und [Abbildung 48.6](#)

- Zum Atemsystem von Vögeln gehören Luftsäcke, die mit der Lunge in Verbindung stehen, aber nicht direkt dem Gasaustausch dienen. Die Luft strömt in Parabronchien in einer Richtung durch die Vogellunge. Der Gasaustausch erfolgt in Luftkapillaren, die zwischen den Parabronchien verlaufen.

[Siehe Abbildung 48.7](#)

- Jeder Luftzug bleibt zwei Atemzyklen lang im Atemsystem des Vogels. Die Luftsäcke wirken als Blasebälge und versorgen die Luftkapillaren mit einem ständigen unidirektionalen Strom frischer Luft.

[Siehe Abbildung 48.8](#) und [Tutorium 48.1](#)

- Mit Ausnahme der Vögel findet bei Landwirbeltieren beim periodischen Ein- und Ausatmen ein Richtungswechsel der Luftströmung statt; ihr Gasaustausch ist daher weniger effizient als der Gasaustausch bei Fischen und Vögeln. Auch wenn das Volumen der mit jedem Atemzug ausgetauschten Luft beträchtlich variieren kann, wird die eingeatmete Luft stets mit dem in der Lunge verbliebenen, sauerstoffärmeren „verbrauchten“ Luft gemischt.

[Siehe Abbildung 48.9](#)

Gasaustausch in der menschlichen Lunge

- In der Säugerylunge ist die respiratorische Oberfläche, die von Millionen Alveolen gebildet wird, enorm groß, und der Diffusionsweg zwischen Luft und perfundierendem Blut ist sehr kurz.
[Siehe Abbildung 48.10](#) und [Aktivität 48.1](#)
- Die Oberflächenspannung in den Alveolen würde das Ventilieren der Lunge, insbesondere das Einatmen, schwierig machen, wenn die Alveolen nicht ein Surfactant produzierten.
- Zum Einatmen (Inspiration) kommt es, wenn die Kontraktion des Zwerchfells einen Unterdruck in der Brusthöhle erzeugt. Entspannt sich das Zwerchfell, erhöht sich der Druck in der Brusthöhle wieder und führt zum Ausatmen (Expiration).
[Siehe Abbildung 48.11](#) und [Tutorium 48.2](#)
- In Zeiten hoher Stoffwechselaktivität, wie bei starker körperlicher Anstrengung, erhöhen die Zwischenrippenmuskeln das Volumen der pro Zeiteinheit ein- und ausgeatmeten Luft (Atemrate, Atemzeitvolumen).

Transport von Atemgasen im Blut

- Sauerstoff wird reversibel an Hämoglobin in den roten Blutzellen gebunden (Oxygenierung). Jedes Hämoglobinmolekül kann maximal vier Sauerstoffmoleküle tragen. Im Blutstrom transportiertes Hämoglobin nimmt an respiratorischen Oberflächen O_2 auf und gibt es in stoffwechselaktiven Geweben wieder ab. Beide Prozesse werden durch die Kooperativität und den Bohr-Effekt des Hämoglobins unterstützt.
[Siehe Abbildung 48.12](#)
- Myoglobin hat eine hohe O_2 -Affinität und speichert Sauerstoff im Muskel.
- Es gibt beim Menschen mehr als einen Hämoglobintyp. Fetales Hämoglobin hat eine höhere O_2 -Affinität als maternales Hämoglobin, sodass der Fetus in der Placenta O_2 aus dem mütterlichen Blut aufnehmen kann.
[Siehe Abbildung 48.13](#)
- Die Sauerstoffaffinität von Hämoglobin nimmt in Gegenwart von H^+ -Ionen und 2,3-Diphosphoglycerat ab.
- Kohlendioxid wird im Blut prinzipiell in Form von Bicarbonationen transportiert.
[Siehe Abbildung 48.14](#) und [Aktivität 48.2](#)

Die Regulation der Atmung

- Der Atemrhythmus ist eine autonome Funktion, die von Neuronen in der Medulla oblongata generiert und von höheren Hirnzentren moduliert wird.
[Siehe Abbildung 48.15](#)
- Der wichtigste Feedback-Stimulus für die Atmung ist der Kohlendioxidspiegel im Blut.
[Siehe Abbildung 48.16](#)
- Der Atemrhythmus reagiert empfindlich auf Feedback von Chemorezeptoren auf der ventralen Oberfläche der Medulla und in Gewebsknoten auf der Aorta und den Halsschlagadern.
[Siehe Abbildung 48.17](#)
- **Zur Wiederholung der Konzepte dieses Kapitels**
[siehe Aktivität 48.3](#)