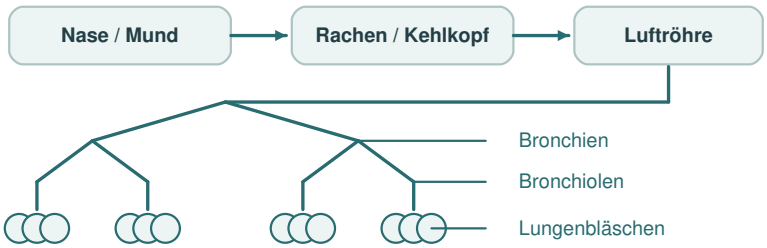
01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Von der Umgebung bis zum Lungenbläschen

Ein Atemzug bewegt ein Gasgemisch. Die Luft strömt durch verzweigte Wege zu einer großen Austauschfläche tief in der Lunge. Jeder Abschnitt übernimmt dabei eine eigene Aufgabe.



Verzweigter Luftweg bis zu den Lungenbläschen. Die Anzahl der Äste und die Größenverhältnisse sind stark vereinfacht.

1 · Luft wird auf dem Weg vorbereitet

Beim Einatmen gelangt Luft durch Nase oder Mund in den Rachen. Die Nase hilft, sie zu erwärmen, zu befeuchten und Teilchen zurückzuhalten. Über Kehlkopf und **Luftröhre** gelangt sie weiter. Der Kehlkopf ist zugleich am Schlucken und an der Stimmbildung beteiligt.

In den leitenden Atemwegen binden Schleimschichten viele eingeatmete Teilchen. Feine bewegliche Flimmerhärchen transportieren Schleim Richtung Rachen. So verbindet der Luftweg Transport und Reinigung. Beim Ausatmen strömt die Luft in umgekehrter Richtung zurück.

2 · Verzweigung verteilt die Luft

Die Luftröhre teilt sich in zwei große **Bronchien**. In jedem Lungenflügel verzweigen sie sich weiter. Die kleinen Äste heißen **Bronchiolen**. Über zahlreiche Verzweigungen erreicht die Luft schließlich die Bereiche mit den **Lungenbläschen**, auch Alveolen genannt.

Dieses Muster verteilt Luft auf sehr viele kleine Räume. Stelle dir einen Baum vor, dessen feine Zweige zu vielen Austauschstellen führen. Das Bild hilft beim Verstehen der Verteilung; im Körper bilden die Atemwege ein räumliches, lebendes Gewebe.

3 · Dünne Wände und große Fläche

Die Lungenbläschen liegen dicht an einem Netz feinster Blutgefäße, den Kapillaren. Zwischen Luft und Blut befindet sich eine sehr dünne Barriere aus mehreren Schichten. Der kurze Weg erleichtert den Austausch von Gasen. Viele Bläschen ergeben zusammen eine große Oberfläche.

Die beiden Lungenflügel liegen im Brustraum. Eine doppelte Hülle, das **Brustfell**, umgibt sie. Der schmale Flüssigkeitsspalt zwischen seinen Blättern ermöglicht Gleiten und koppelt die Lunge an die Bewegungen des Brustkorbs.

Das gehört zusammen: Atemwege bereiten die Luft vor und verteilen sie. Viele dünnwandige Lungenbläschen schaffen gemeinsam die Fläche für den Gasaustausch.

Öffne „Weg der Luft“. Bewege den Luftpunkt von der Nase bis zu den Bläschen und lies an jeder Station die Aufgabe.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Leiten, reinigen und austauschen sind verschiedene Aufgaben

Vom offenen Luftweg zur dünnen Austauschfläche

1. Nase und obere Luftwege
Luft erwärmen, befeuchten und Teilchen zurückhalten.

→

2. Luftröhre und Bronchien
Offene Wege; Schleimtransport Richtung Rachen.

→

3. Feine Verzweigungen
Verteilen die Luft auf viele Lungenbereiche.

→

4. Lungenbläschen
Dünne Wände liegen an Kapillaren für den Gasaustausch.

Die Aufgaben ergänzen sich. Die Zeichnung vereinfacht die vielen räumlichen Verzweigungen.

Die Atemwege sind keine leeren Rohre ohne weitere Funktion. In ihren größeren Abschnitten sorgen **Knorpelanteile** dafür, dass die Wege offen bleiben. Schleim hält einen Teil der eingeatmeten Staubteilchen fest. Kleine Flimmerhärchen an Zellen befördern den Schleim in Richtung Rachen. Die Luft wird außerdem erwärmt und befeuchtet. Der Weg zur Austauschfläche verändert also bereits die Bedingungen, unter denen die Luft später auf empfindliche Gewebe trifft. Eine Oberfläche kann dabei schützen, eine andere Stoffe besonders leicht passieren lassen.

An den **Lungenbläschen** zählt gerade ein kurzer Weg zwischen Luft und Blut. Hier eignen sich dünne Wände und ein dichtes Kapillarnetz. Die Lunge kombiniert damit stabile Transportwege mit sehr feinen Austauschbereichen. Nicht jeder Abschnitt hat dieselbe Aufgabe. Auch die Luft selbst wird nicht vollständig ausgetauscht: In der Lunge bleibt nach einer normalen Ausatmung Luft zurück. Neue Atemluft mischt sich mit vorhandener Luft. Eingeatmete wie ausgeatmete Luft sind Gasgemische, vor allem aus Stickstoff. Beim Ausatmen ist weiterhin Sauerstoff enthalten, während der Anteil an Kohlenstoffdioxid zunimmt. Diese Unterschiede erklären, warum der Luftweg allein noch nicht den Gasaustausch beschreibt.

Auf der Innenseite der Bläschen liegt ein dünner Flüssigkeitsfilm. Seine Oberflächenspannung würde das Zusammenfallen kleiner Lufträume begünstigen. Bestimmte Zellen bilden deshalb **Surfactant**, ein Gemisch, das diese Spannung verringert. Der Aufbau der Lunge umfasst somit nicht nur Wege und Flächen, sondern auch Stoffe, die das Offenhalten der Austauschbereiche unterstützen.

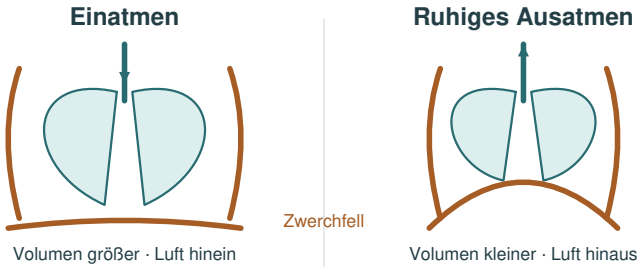
Warum ein einziges großes Luftrohr nicht reicht
Ein Rohr kann Luft weit transportieren. Für den Austausch sind dagegen viele kleine Räume günstiger: Sie ergeben gemeinsam eine große Oberfläche nahe bei Blutgefäßen. Deshalb wird der Weg immer feiner verzweigt. Das Prinzip erinnert an ein Straßennetz, das große Verbindungen mit vielen erreichbaren Zielorten verbindet.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Ausgeatmete Luft besteht nur aus Kohlenstoffdioxid.
So stimmt es: Sie bleibt ein Gasgemisch mit viel Stickstoff und weiterhin Sauerstoff. Beim Atmen verändern sich die Anteile und die Feuchtigkeit.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Bewegung verändert Volumen und Druck

Wenn du einatmest, weitet sich dein Brustkorb. Die Luft folgt einem kurzzeitigen Druckunterschied. Muskeln und elastische Gewebe schaffen gemeinsam die Voraussetzungen dafür.



Ein- und Ausatmen im Vergleich: Zwerchfellstellung, Volumen und Luftstrom. Die Außenformen und Bewegungswege sind schematisch.

4 · Das Zwerchfell vergrößert den Brustraum

Das **Zwerchfell** ist eine kuppelförmige Muskelplatte zwischen Brust- und Bauchraum. Beim Einatmen zieht es sich zusammen und senkt sich. Auch Muskeln zwischen den Rippen helfen, den Brustkorb zu erweitern. Dadurch vergrößert sich der Raum für die Lunge.

Über die Brustfellblätter folgt die Lunge dieser Bewegung. Ihr Volumen nimmt zu. Dabei wird ihr Gewebe gedehnt. Diese Verbindung erklärt, warum eine Bewegung des Brustkorbs die luftgefüllten Räume im Inneren mitverändert.

5 · Luft strömt entlang eines Druckunterschieds

Wenn sich die Lungenbläschen erweitern, sinkt ihr Luftdruck kurz unter den Außendruck. Luft strömt hinein, bis sich die Drücke weitgehend angeglichen haben. Beim ruhigen Ausatmen entspannen sich die Atemmuskeln. Vor allem die elastische Rückstellung des zuvor gedehnten Lungengewebes unterstützt nun die Verkleinerung des Lungenvolumens.

Der Druck in den Bläschen steigt kurz über den Außendruck; Luft strömt hinaus. So ergibt sich die Kette **Muskelbewegung → Volumenänderung → Druckunterschied → Luftstrom**. Bei kräftiger Ausatmung können weitere Muskeln helfen.

6 · Atemzüge passen sich dem Bedarf an

Das Nervensystem steuert den Atemrhythmus. Dabei verarbeitet es unter anderem Signale über Kohlenstoffdioxid und den Säuregrad im Körper. Bei Bewegung werden Atemzüge häufig schneller und tiefer. Das hilft, den veränderten Stoffumsatz der arbeitenden Muskeln auszugleichen.

Die bewegte Luftmenge ist deshalb veränderlich. Ein Teil der Atemluft bleibt in den leitenden Wegen; der Gasaustausch findet vor allem an den Bläschen statt. Im Modell lassen sich Bewegung und Luftweg getrennt betrachten, obwohl sie im Körper gleichzeitig zusammenwirken.

Das gehört zusammen: Atemmuskeln verändern den Brustraum. Die mitbewegte Lunge erzeugt Druckunterschiede, durch die Luft ein- und ausströmt.

Wähle „Einatmen“ und anschließend „Ausatmen“. Verfolge die Stellung des Zwerchfells und erkläre jeweils Volumen, Druck und Strömungsrichtung.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Die Reihenfolge erklärt den Luftstrom

Warum beim Einatmen Luft nachströmt

1. Atemmuskeln aktiv
Das Zwerchfell senkt sich, der Brustraum erweitert sich.

→

2. Lungenvolumen wächst
Die Lunge folgt der Bewegung über das Brustfell.

→

3. Druck fällt kurz
In den Bläschen liegt er unter dem Außendruck.

→

4. Luft strömt ein
Der Druckunterschied wird wieder kleiner.

Die Pfeile zeigen eine Ursache-Wirkungs-Kette. Im Körper überlappen die Vorgänge zeitlich.

Beim Einatmen ist die Muskelbewegung der Anfang der Ursache-Wirkungs-Kette. Das **Zwerchfell** zieht sich zusammen und wird flacher. Über Brustkorb und Brustfell wird die Lunge mitgedehnt. Erst dadurch entsteht kurz ein Druckunterschied zur Außenluft. Die Luft strömt also nicht zuerst hinein und drückt dann das Zwerchfell nach unten. Wenn die Einatmung endet, obwohl die Lunge noch gedehnt ist, haben sich die Drücke annähernd ausgeglichen. Eine große Lunge bedeutet daher nicht automatisch, dass in jedem Moment Luft hineinführt.

Beim ruhigen Ausatmen lässt die Muskelspannung nach. Das gedehnte Gewebe zieht sich elastisch zurück; dadurch wird die Luft hinausbewegt. Zum Vergleich kannst du einen gedehnten Gummiring betrachten: Für das Dehnen brauchst du Kraft, beim Loslassen federt er zurück. Die Lunge ist natürlich kein einfacher Gummiring, aber das Bild erklärt die Rückstellkraft. Bei kräftigem Ausatmen unterstützen zusätzliche Muskeln den Vorgang. Für die Versorgung ist außerdem entscheidend, wie viel frische Luft die Bläschen erreicht. Sehr flache Atemzüge bewegen vergleichsweise viel Luft nur in den leitenden Wegen. Atemtiefe und Atemhäufigkeit gehören deshalb bei einer Erklärung zusammen.

Die Atemsteuerung verarbeitet unter anderem Veränderungen von CO_2 und Säuregrad. Bei höherem Stoffumsatz entstehen mehr CO_2 und andere Veränderungen, auf die das Nervensystem reagiert. Schnellere oder tiefere Atemzüge sind deshalb Teil einer Regelung. Bewusstes Atmen und automatische Steuerung greifen ineinander; die Atemmuskeln arbeiten auch während des Schlafs weiter.

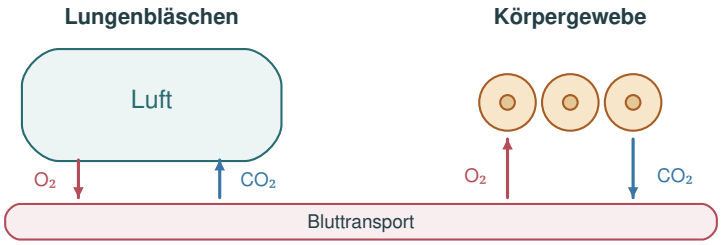
Eine Bewegung mit vier Sätzen erklären
Beschreibe eine langsame Einatmung mit vier Sätzen: Der Muskel arbeitet. Der Raum wird größer. Der Druck fällt kurz. Luft strömt nach. Vertausche anschließend die ersten und letzten Sätze: Die Erklärung stimmt dann nicht mehr. An der richtigen Reihenfolge lässt sich prüfen, ob du die Ursache verstanden hast.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Die Lunge besitzt einen Muskel, der sie aufpumpt.
So stimmt es: Die Atemmuskeln bewegen den Brustraum. Die Lunge folgt über das Brustfell; ein Druckunterschied bewegt die Luft.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Vom Lungenbläschen bis zur Körperzelle

Die Luft erreicht das Bläschen, das Blut fließt daran vorbei. Jetzt entscheidet der Unterschied zwischen beiden Seiten, in welche Richtung sich Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid insgesamt bewegen.



Zwei Austauschorte: in der Lunge und im Körpergewebe. Pfeile zeigen die Netto-Richtungen der Gase; das Blut verbindet beide Orte.

7 · Gase bewegen sich durch Diffusion

Gasteilchen bewegen sich ständig. Dadurch können sie die dünne Barriere zwischen Bläschen und Blut durchqueren. Für jedes Gas gibt es einen eigenen Druckanteil, den **Partialdruck**. Insgesamt ergibt sich eine Bewegung von der Seite mit höherem zu der mit niedrigerem Partialdruck.

In der Lunge gelangt so mehr Sauerstoff aus der Bläschenluft ins Blut als zurück. Kohlenstoffdioxid bewegt sich insgesamt in Gegenrichtung. Das heißt **Diffusion**. Einzelne Teilchen können dabei weiterhin in beide Richtungen wandern.

8 · Das Blut übernimmt den Transport

Viel Sauerstoff bindet an **Hämoglobin** in roten Blutzellen. Das sauerstoffreichere Blut gelangt über die Lungenvenen zum linken Herzen und weiter in den Körper. In den Geweben wird Sauerstoff abgegeben. Kohlenstoffdioxid wird aus den Zellen aufgenommen.

Ein großer Teil des Kohlenstoffdioxids wird im Blut vorübergehend in anderer chemischer Form, als Hydrogencarbonat, transportiert. In der Lunge entsteht daraus wieder CO_2, das abgegeben wird. Das rechte Herz führt das zurückkehrende Blut zur Lunge.

9 · Zellatmung macht Energie nutzbar

Bei der **Zellatmung** gewinnen Zellen nutzbare Energie aus energiereichen Stoffen. Sauerstoff wird dabei für die vollständige Nutzung vieler Nährstoffe benötigt. Ein Teil der Energie wird in ATP bereitgestellt, einem kurzfristig nutzbaren Energieträger. Kohlenstoffdioxid entsteht bei Abbauschritten; außerdem wird Wärme frei.

Damit gehören Ernährung, Kreislauf und Atmung zusammen: Die Verdauung liefert Nährstoffbausteine, die Lunge Sauerstoff und das Blut die Verbindung. Atembewegung belüftet die Lunge, Gasaustausch verbindet Luft und Blut, Zellatmung findet innerhalb der Zellen statt.

Das gehört zusammen: Belüftung bringt Luft zu den Bläschen. Diffusion ermöglicht den Gasaustausch. Blut transportiert Gase, und Körperzellen nutzen Sauerstoff im Stoffwechsel.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Zwei Gase, zwei Wege und ein gemeinsamer Kreislauf

Drei Ebenen der Atmung

Atembewegung
Luft zwischen Umgebung und Lungenbläschen bewegen.

Gasaustausch
O_2 und CO_2 zwischen Luft, Blut und Gewebe übertragen.

Zellatmung
In Zellen Energie aus Nährstoffen für die Nutzung bereitstellen.

Die Ebenen sind verbunden, finden aber an unterschiedlichen Orten statt.

Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid werden häufig als zwei Seiten eines Austauschs beschrieben. Das bedeutet jedoch nicht, dass ein Sauerstoffmolekül in der Lunge einfach in ein Kohlenstoffdioxidmolekül verwandelt wird. Der Kohlenstoff im ausgeatmeten CO_2 stammt aus dem Abbau kohlenstoffhaltiger Nährstoffe in Zellen. Sauerstoff wird bei der Zellatmung unter anderem zur Bildung von Wasser verwendet. Lunge und Blut transportieren die beteiligten Gase; die chemischen Vorgänge der Energiegewinnung laufen in den Zellen ab. Mit dieser Trennung lassen sich Atmung und Verdauung sinnvoll verbinden.

Damit der Austausch anhält, müssen zwei Transporte zusammenpassen: Frische Luft erneuert die Bedingungen in den Bläschen, und strömendes Blut bringt Sauerstoff fort sowie CO_2 heran. Würde beides stillstehen, würden sich die Unterschiede nach und nach verkleinern. Die **Diffusion** benötigt selbst keine kleinen Pumpen für jedes Gasteilchen. Teilchen bewegen sich ungeordnet; insgesamt überwiegt die Bewegung entlang des jeweiligen Partialdruckgefälles. Große Austauschfläche und kurze Wege erleichtern diesen Vorgang. Das Blut kann durch Hämoglobin viel mehr Sauerstoff transportieren, als allein in seiner Flüssigkeit gelöst wäre. Blutstrom, Bindung und Diffusion übernehmen deshalb unterschiedliche, aufeinander abgestimmte Aufgaben.

Die Bedingungen ändern sich auch mit der Umgebung. In großer Höhe ist der Luftdruck geringer. Der Sauerstoffanteil bleibt ungefähr gleich, sein Partialdruck sinkt jedoch. „Gleicher prozentualer Anteil“ bedeutet daher nicht „gleiche Austauschbedingungen“. Dieser Zusammenhang verbindet das Teilchenmodell der Gase mit dem Atmen und zeigt, warum mehrere Größen beachtet werden müssen.

Den Weg eines Sauerstoffmoleküls erzählen
Ein Sauerstoffmolekül gelangt mit Atemluft in ein Bläschen, durchquert die dünne Barriere und wird im Blut transportiert. Über das linke Herz erreicht es ein Körpergewebe. Dort wird es für Zellvorgänge verfügbar. Derselbe Weg verbindet in deiner Erklärung Lungenbläschen, Blut, Herz und Körperzelle.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Die Lunge erzeugt Sauerstoff aus Kohlenstoffdioxid.
So stimmt es: Die Lunge tauscht Gase aus. Sauerstoff kommt aus der eingeatmeten Luft; Kohlenstoffdioxid gelangt aus dem Stoffwechsel mit dem Blut zur Lunge.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Weg der Luft

Ausprobieren: Bewege den Luftpunkt langsam durch die Stationen und öffne danach „Lungenbläschen vergrößern →“.

Beobachten: An welchen Stationen wird Luft vor allem geleitet, wo werden Gase ausgetauscht?

Erklären: Warum braucht die Lunge verschiedene Bauweisen entlang desselben Luftwegs?

Modellgrenze: Der Punkt steht für den verfolgten Weg. Er ist kein einzelnes maßstäbliches Luftteilchen und zeigt nicht alle Verzweigungen.

2 · Lunge & Atembewegung

Ausprobieren: Wähle zuerst „Ausgeatmet“, danach „Einatmen“ und „Ausatmen“. Bewege zusätzlich den Punkt am Zwerchfell langsam.

Beobachten: Wie verändern sich Zwerchfellform und Lungenvolumen gemeinsam?

Erklären: Welche Änderung ist Ursache, welche Folge? Erkläre die Richtung der Luftbewegung.

Modellgrenze: Der Regler koppelt sichtbare Bewegungen. Die Druckwerte und elastischen Eigenschaften werden nicht vollständig simuliert.

3 · Gasaustausch

Ausprobieren: Wähle erst „O_2 · Sauerstoff“, dann „CO_2 · Kohlenstoffdioxid“ und bewege jeweils den Ablaufregler.

Beobachten: Welche Seite ist jeweils Ausgangsbereich, welche Zielbereich des gezeigten Nettowegs?

Erklären: Warum müssen sowohl Luft als auch Blut ständig erneuert werden, damit Austausch weitergeht?

Modellgrenze: Gezeigt wird die überwiegende Austauschrichtung. Einzelne Gasteilchen bewegen sich ständig in beide Richtungen.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

Anatomy and Physiology 2e
How the Lungs Work
Taschenatlas Physiologie