

Ausbildungsunterlagen für Ausbilder von Atemschutzgeräteträgern



Atemschutzgeräteträger

2. Atmung

Atemschutzgeräteträger

2. Atmung



Inhalt

2.1 Grundlagen der Atmung

2.2 Atemorgane

2.3 Zusammenhänge der Atmung

2.4 Sauerstoffmangel



1 Grundlagen der Atmung

Die Atmung ist einer der lebensnotwendigen Vorgänge des Menschen. Beim Einatmen wird dem Organismus der lebenswichtige Sauerstoff zugeführt. Den benötigt der Körper zur Energiegewinnung. Ohne Sauerstoff im Körper könnte der Mensch nicht überleben. Vom Sauerstoffanteil im Körper hängt wesentlich der Zustand und die Funktion des menschlichen Organismus ab. Tabelle 1 und Bild 1 fasst die Fakten für den Luftumsatz zusammen.

Tabelle 1: Luftumsatz des Menschen		
Luftumsatz Einatmung	Luftumsatz Ausatmung	Schlussfolgerung
21 Vol.- % Sauerstoff (O ₂), 78 Vol.- % Stickstoff (N ₂), 0,04 Vol.- % Kohlendioxid (CO ₂), als Rest: Edelgase (Argon, Helium, Neon, Xenon)	17 Vol.- % Sauerstoff, 78 Vol.- % Stickstoff, 4,04 Vol.- % Kohlendioxid, als Rest: Edelgase (Argon, Helium, Neon, Xenon)	Der Mensch verbraucht etwa 4 Vol.- % O ₂ seiner Einatemluft und produziert damit im Wesentlichen 4 Vol.- % CO ₂ und für sich lebenserhaltende Energie.
Ein erwachsener und gesunder Mensch atmet täglich etwa 24.000-mal und bewegt dabei rund 13 m ³ Luft. Das sind in einem 68-jährigem Leben 300.000 m ³ Luft . Dabei atmet er etwa 23,8 Tonnen CO ₂ aus.		

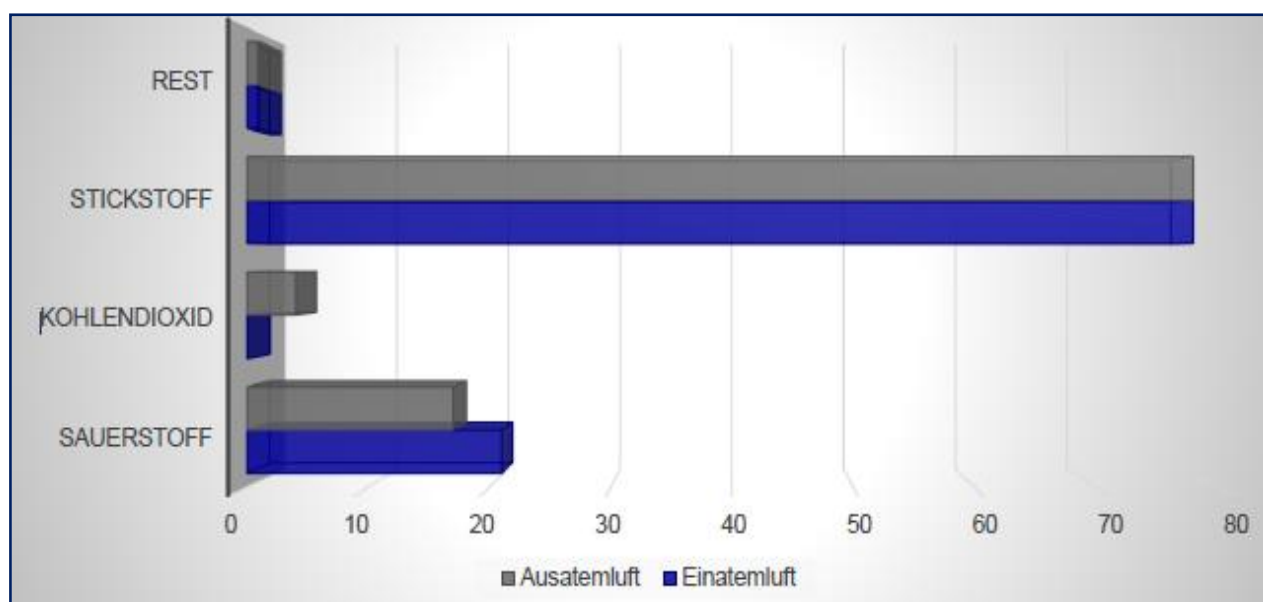


Bild 1: Luftumsatz des Menschen

Menschen atmen entsprechend Tabelle 2 in bestimmten Frequenzen.

Tabelle 2: Atemfrequenz [Atemzüge pro Minute] gesunder Menschen	
Alter	Atemzüge [1/Minute]
Erwachsener	12 - 15
Jugendlicher	16 - 19
Kind	20
Säugling	30
Neugeborene	50

Der Mensch kann:

- ohne zu essen etwa 3 Wochen
- ohne zu trinken etwa 3 Tage
- ohne zu atmen etwa 3 Minuten überleben.



Bild 2: Dreier-Regel

Um atmen zu können, benutzt der Mensch das Atmungssystem. Mit dessen Hilfe führt der Mensch seinem Organismus während der Einatmung den lebenswichtigen Sauerstoff (O_2) zu und entsorgt das beim Stoffwechsel entstehende Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) beim Ausatmen.

Die Atmung selbst erfolgt in zwei Schritten, der äußeren und der inneren Atmung.

- **Äußere Atmung**
Zunächst zählt die Ein- und Ausatmung des Menschen dazu, aber auch der Übergang des Sauerstoffs in das Blut bzw. des Kohlendioxid und des Wassers aus dem Blut in die Lunge. Zur äußeren Atmung zählt man auch den Hintransport von Sauerstoff (O_2) zur jeweiligen Körperzelle und von Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) zurück zur Lunge. Diese Transporte führt das Blut mit seinen Bestandteilen durch.
- **Innere Atmung**
Als innere Atmung bezeichnet man vereinfacht ausgedrückt die Zellatmung mit folgendem Ablauf:
 - o Sauerstoffaustausch zwischen Blut und jeweiliger Zelle im Körper
 - o Oxidation von mit dem Blut angeschwemmten und in die Zelle eingetragenen, energiereichen Verdauungsprodukten, z. B. Traubenzucker. Die Oxidation führt der Sauerstoff durch. Dabei entstehen als Endprodukte unter anderem Energie, Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O)
 - o Austausch von Wasser und CO_2 zwischen Körperzelle und Blut

Die Atmung steuert das Atemzentrum mit Hilfe der Kohlendioxid (CO_2)-Anteil im Blut. Viel CO_2 -Anteile lassen die Atmung beschleunigen, geringere verlangsamen.

2 Atemorgane

2.1 Obere Atemwege

Die oberen Atemwege bestehen aus Nase, Mund und Rachenraum. Die Nase und die Nasenhöhlen sind mit einer gefäßreichen, gut durchbluteten und feuchten Schleimhaut ausgekleidet. Diese ist zusätzlich mit kleinen Flimmerhärchen besetzt. Durch die Nase wird die Atemluft aufgenommen, grob gereinigt, angewärmt und angefeuchtet. Die Nasenschleimhaut enthält die Sinneszellen des Geruchsorgans. Sie dienen der Kontrolle auf sinneswirksame Beimengungen der Atemluft. In den Rachen münden Mund- und Nasenhöhle. Hier überkreuzen sich Speise- und Luftröhre.

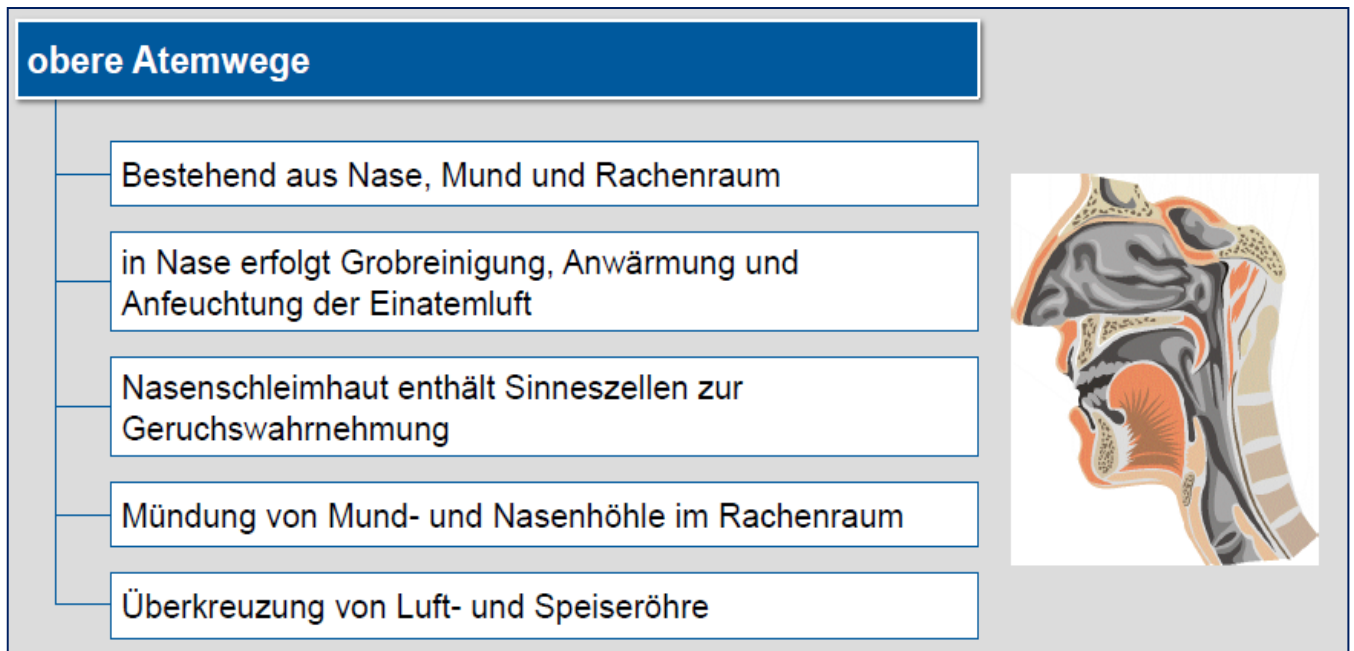


Bild 3: obere Atemwege

2.2 Untere Atemwege

Zu den unteren Atemorganen zählen Kehlkopf, Luftröhre, linke und rechte Stammbronchien, Lunge mit Bronchien, Bronchiolen und Lungenbläschen. Der Kehlkopf verschließt beim Schlucken den Atemweg mit dem knorpeligen Kehlkopfdeckel und verhindert so das Eindringen von Fremdkörpern in die Luftröhre. Außerdem dient der Kehlkopf zur Stimmbildung.

Die Luftröhre (*Trachea*) besteht aus quer- und längselastisch angeordneten, hufeisenförmigen Knorpelspannen. So bildet sie ein saugschlauchähnliches Rohr zur Luftzuführung. Sie dient der Atemluftzuführung vom Kehlkopf zu den Bronchien. Dabei wird die Luft durch die mit Flimmerhärchen besetzten Schleimhäute gereinigt und angefeuchtet.

Einen vergleichbaren Bau wie die Luftröhre besitzen die linke und rechte Stammbronchie und die Bronchiolen. Die Stammbronchien führen die Atemluft von der Luftröhre zu den Bronchien. Dabei reinigen auch sie die Luft durch die Flimmerhärchen und befeuchten sie mit Hilfe der Schleimhaut.

Die Lunge besteht aus zwei Lungenflügeln. Der rechte setzt sich aus drei, der linke aus zwei Lungenlappen zusammen. Die gesamte Lunge besteht aus schwammartigem Gewebe, welches im Wesentlichen aus Bronchien, Bronchiolen, Lungenbläschen und Blutgefäßen gebildet wird. Die Lunge wird durch den knöchernen Brustkorb begrenzt. Dieser setzt sich aus den Rippen, dem Brustbein und den Brustwirbeln der Wirbelsäule zusammen. Das Zwerchfell bildet die untere Begrenzung der Lunge.

An der Innenwand des Brustkorbs liegt das Rippenfell, während das Lungenfell die Lungenflügel umschließt. Zwischen diesen beiden befindet sich ein feiner, der mit Flüssigkeit gefüllter Pleuraspalt. Darin herrschender Unterdruck lässt die Lunge mit ihrem Lungenfell am Brustkorb und am Zwerchfell anliegen.

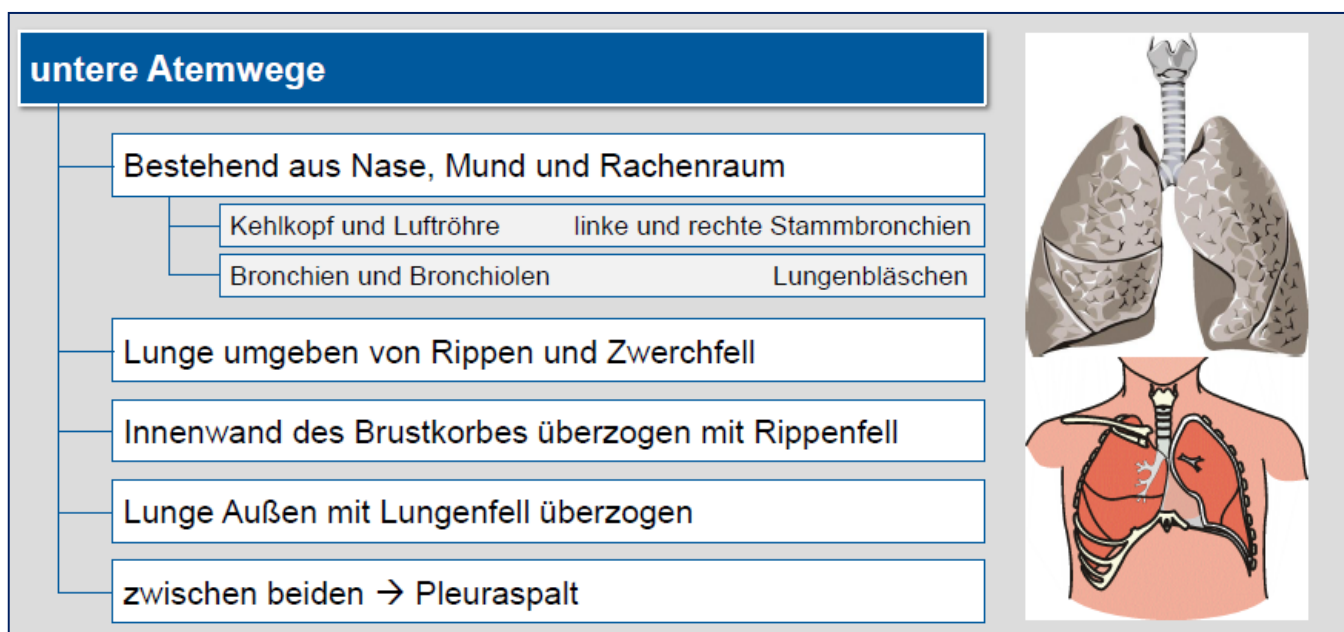


Bild 4: Die unteren Atemwege

Die Bronchien lassen die Atemluft von der jeweiligen Stammbronchie zu den Bronchiolen strömen. Sie haben einen vergleichbaren Bau wie die Luftröhre und deren Verzweigungen. Flimmerhärchen reinigen und Schleimhäute befeuchten die Atemluft.

Die Bronchiolen führen die Atemluft von der jeweiligen Bronchie zu den Lungenbläschen. Die Lungenbläschen (*Alveolen*) sichern als Endpunkte der Führung des Atemgases den Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid mit dem Blut.

2.3 Atemzentrum

Das Atemzentrum steuert die Atmung. Es befindet sich im verlängerten Rückenmark und hat die Aufgabe, die Atmung des Menschen seinem tatsächlichen Bedarf anzupassen. Dazu ist es über Nervenbahnen sowohl mit den zur Atmung erforderlichen Muskeln als auch mit den verschiedenen Messstellen im Körper verbunden. Diese Messstellen befinden sich an der Teilungsstelle der Halsschlagader und im Bogen der großen Körperschlagader. Dort werden die Anteile des im Blut befindlichen Sauerstoffs und Kohlendioxids ständig anhand der sich ändernden pH-Werte und Partialdrücke gemessen, in Reize umgesetzt und an das Atemzentrum gemeldet. Je mehr sich z. B. Kohlendioxid im Blut befindet, desto geringer (saurer) ist der pH-Wert.

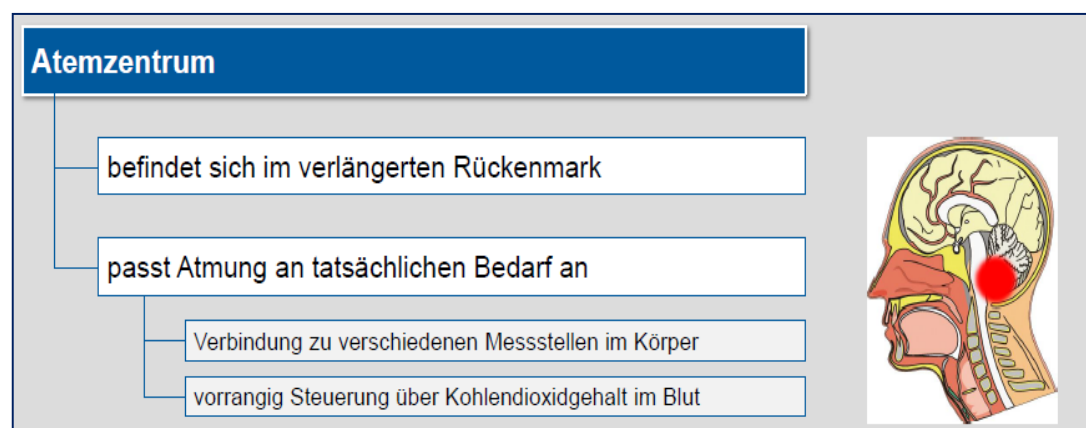


Bild 5:
Atemzentrum

Besonders Veränderungen des Kohlendioxid-Anteils im Blut führen zur Veränderung der Atemfrequenz. Erhöht sich dieser Anteil durch verstärkte Belastung, atmet der Mensch schneller, führt infolgedessen dem Organismus mehr Sauerstoff zu und gibt das überschüssige Kohlendioxid nach außen ab. Sobald die Belastung zurückgeht, verringert sich der Sauerstoffbedarf. Es entsteht weniger Kohlendioxid, so dass, wenn genügend Kohlendioxid abgeatmet wurde, auch die Atemfrequenz wieder in normale Bereiche sinkt.

Wenn die Ausdehnung der Lunge zu groß zu werden droht, begrenzt das Atemzentrum reflektorisch diese Bewegungen.

3 Zusammenhänge der Atmung

3.1 Einatmung (Inspiration)

Sie erfolgt, wenn ein Nervenimpuls des Atemzentrums die Brustmuskeln so anspannen lässt, dass sich der Brustkorb anhebt und das Zwerchfell absenkt.

Grundsatz Atemschutz

Die Ausdehnung des Brustkorbes und das Senken des Zwerchfells führen zu einer Vergrößerung der Lunge. Dadurch entsteht im gesamten Bereich der Atemorgane ein Unterdruck.

So vergrößert sich das Brustkorbvolumen. Die durch den Unterdruck im Pleuraspalt am Brustkorb haftende Lunge folgt dieser Bewegung und vergrößert ebenfalls ihr Volumen. Sie erzeugt dabei einen Unterdruck im Lungeninneren. Der Unterdruck wird ausgeglichen, in dem Umgebungsluft durch die Atemwege in die Lunge strömt, bis in die Lungenbläschen hinein. Der Sauerstoff der Atemluft diffundiert dort durch die Wand des Lungenbläschen (Alveolarwand) in das Blut der zur Lungenvene gehörenden Lungenkapillaren. Triebkraft der Diffusion ist der Unterschied der höheren Konzentration des Sauerstoffs in der Einatemluft und der niedrigeren Konzentration des Sauerstoffs im Blut, das aus dem Körper und durch das Herz zur Lunge zurückströmt. Ein Konzentrationsausgleich beendet die Diffusion.

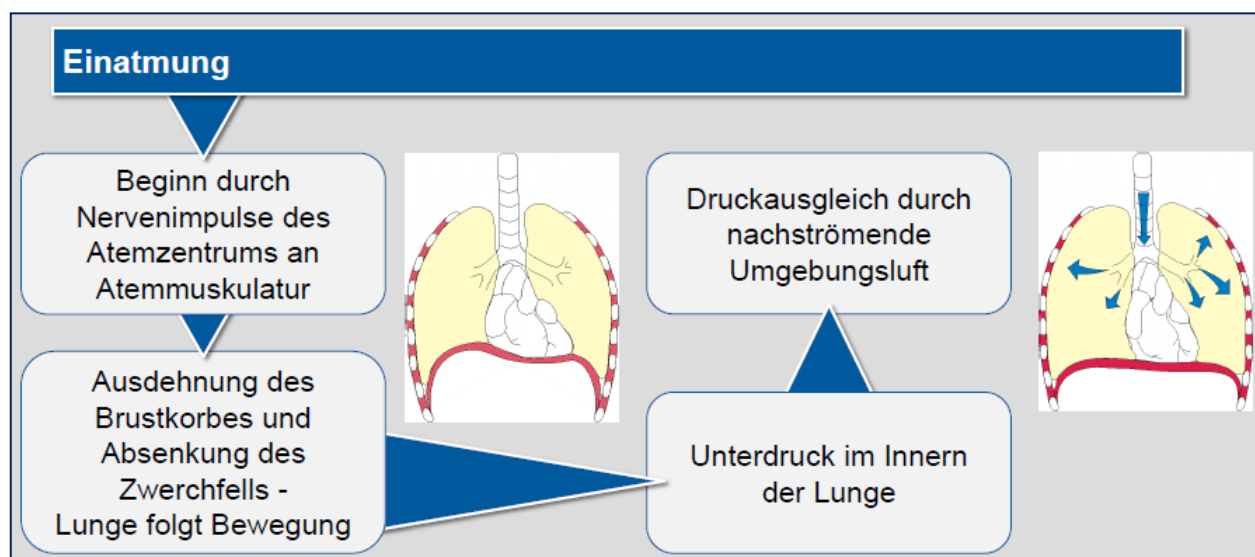


Bild 6: Einatmung

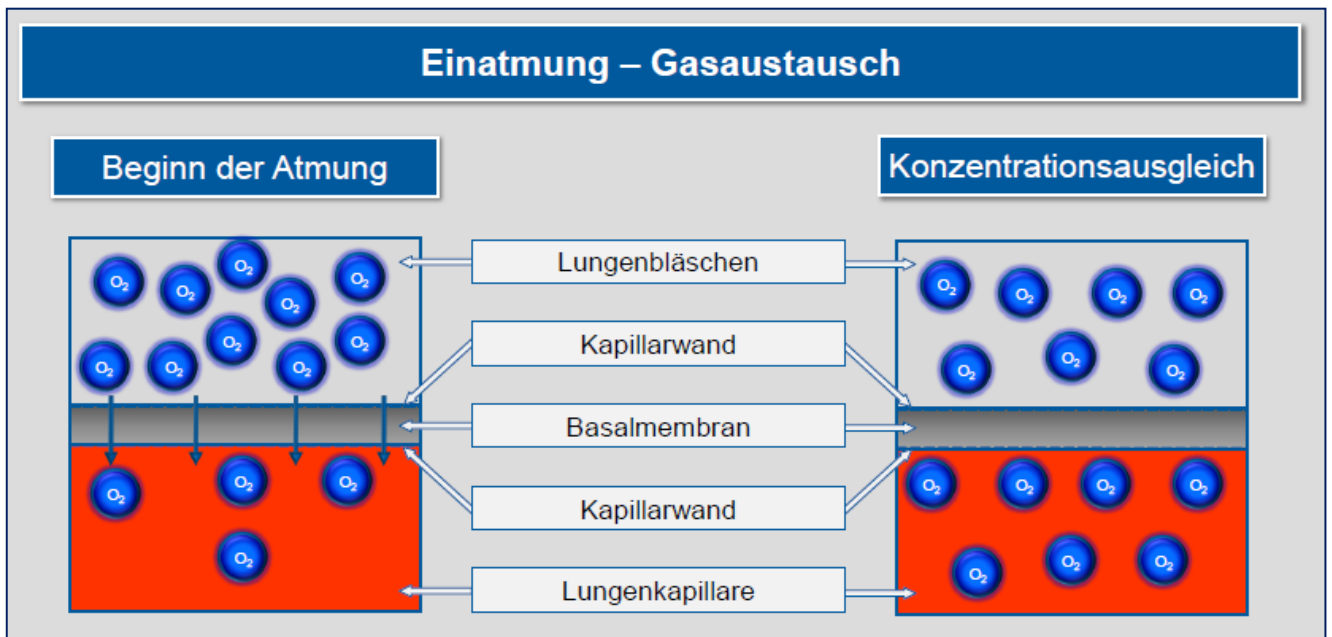


Bild 7: Gasaustausch bei der äußeren Atmung

Im Blut binden sich die Sauerstoffmoleküle vorübergehend chemisch an die roten Blutkörperchen und stehen zum Transport bereit.

Mit dem Blut gelangt der Sauerstoff durch das Herz zu den Körperzellen. Dorthin strömen vom Blut getragen auch Nährstoffe in Form von Traubenzucker aus den Verdauungsorganen. An der jeweiligen Körperzelle angekommen, diffundieren Nährstoffe ($C_6H_{12}O_6$) und Sauerstoff (O_2) in diese Körperzelle. Hier oxidiert in speziellen Zellbausteinen der Sauerstoff die Nährstoffe. Dabei entstehen als Endprodukte unter anderem Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O). Die chemische Energie der Nährstoffe wird in mechanische Energie und Wärmeenergie folgendermaßen umgewandelt:



Die Wärmeenergie wird zur Sicherung der Körpertemperatur benötigt. Überschüssige Wärme gibt der Körper an die Umgebung ab.

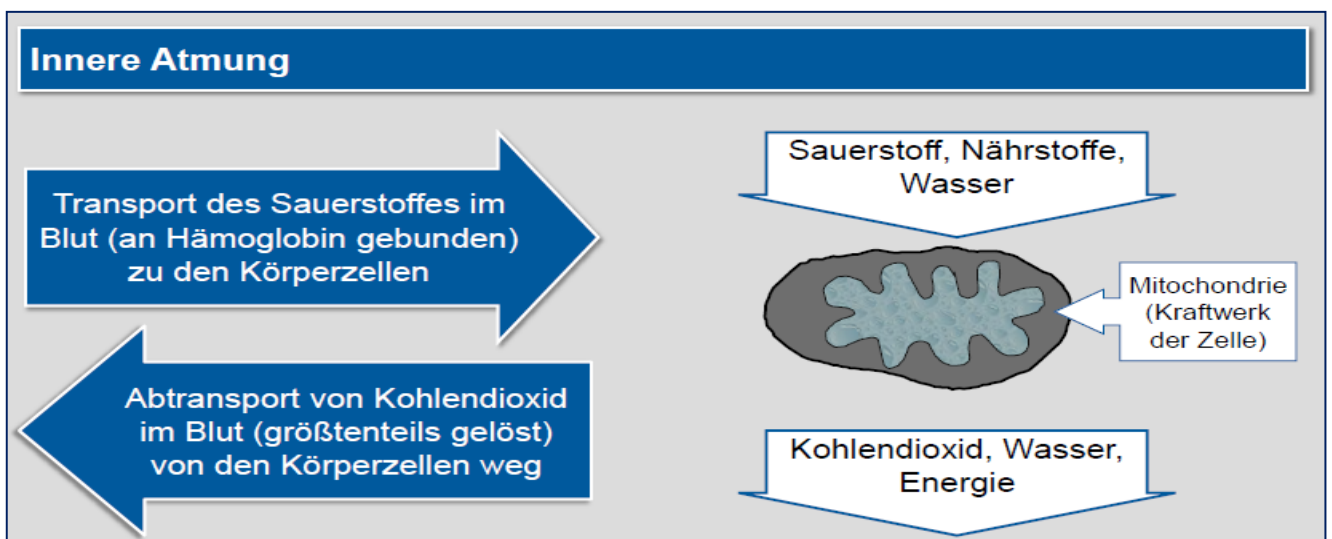


Bild 8: Innere Atmung

Kohlendioxid und Wasser diffundieren aus der Körperzelle in das Blut. Dort bindet sich das Kohlendioxid nur zu einem kleinen Teil an die roten Blutkörperchen. Der größte Teil löst sich im Plasma und geht zum überwiegenden Teil eine Bindung mit dem Plasmawasser ein, und es entsteht Kohlensäure (auch: Kohlendioxid, CO_2). Das Blut transportiert das Kohlendioxid durch das Herz zur Lunge.

3.2 Ausatmung (Expiration)

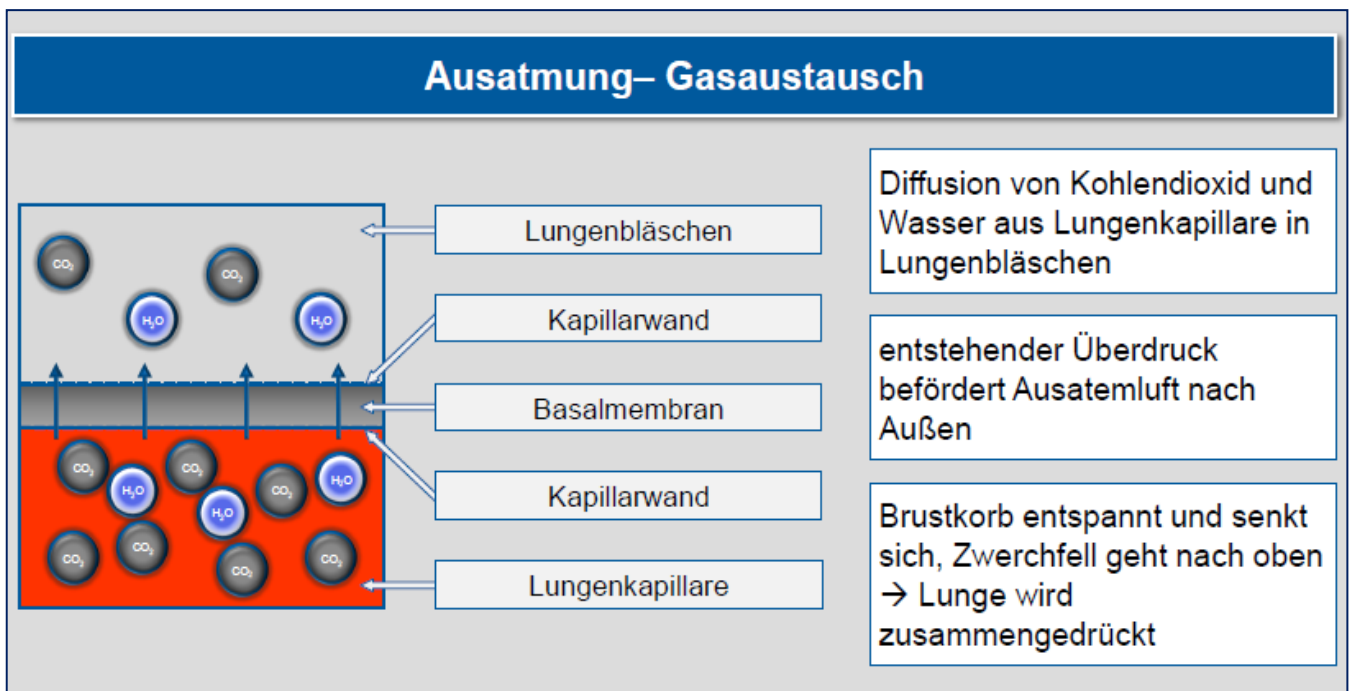


Bild 9: Ausatmung

An der Lunge angekommen löst sich Kohlendioxid aus seiner Bindung und diffundiert dem Konzentrationsgefälle folgend mit dem Wasser aus dem Blut in das Lungenbläschen. Zur Ausatmung verkleinert sich der Brustraum durch das Entspannen der Brustmuskeln, die Rippen senken sich und das Zwerchfell wird angehoben. Zusätzlich wirkt der äußere Luftdruck auf den vom Einatmen her unter Überdruck stehenden Brustkorb ein. Die Lunge wird zusammengedrückt, wodurch in ihrem Innern ein Überdruck entsteht. Dieser presst die Ausatemluft durch die Atemwege nach außen.

Grundsatz Atemschutz

Das Zusammenziehen des Brustkorbes und das Heben des Zwerchfells führen zu einer Verkleinerung der Lunge. Dadurch entsteht im gesamten Bereich der Atemorgane ein Überdruck.

3.3 Zusammenfassung Ein- und Ausatmung

Einfach beschrieben lässt sich der der Vorgang der Atmung entsprechend Bild 10 und in folgenden Schritten darstellen:

1. Einatmung durch entstehenden Unterdruck in den Atmungsorganen

2. Sauerstoff (O_2) diffundiert durch die Wand der Lungenbläschen (Alveolen) in das Blut
3. Blut nimmt O_2 auf und transportiert es durch das Herz hindurch zu den Körperzellen
4. im Bereich der Körperzellen wird O_2 vom Blut an die Zellen abgegeben
5. in den Zellen werden aus dem Bereich der Verdauungsorgane ebenfalls mit dem Blut angeschwemmte Kohlehydrate mit der Hilfe von O_2 oxidiert. Dabei entstehen als Endprodukte unter anderem Energie und Abprodukte, z. B. CO_2 und H_2O
6. Die Abprodukte werden in das Blut gegeben und von den Zellen wegtransportiert, z. B. CO_2 und H_2O durch das Herz hindurch zur Lunge zurück
7. CO_2 und H_2O diffundieren aus dem Blut in die Lungenbläschen der Lunge
8. Ausatmung durch entstehenden Überdruck in den Atmungsorganen.

→ äußere Atmung → innere Atmung

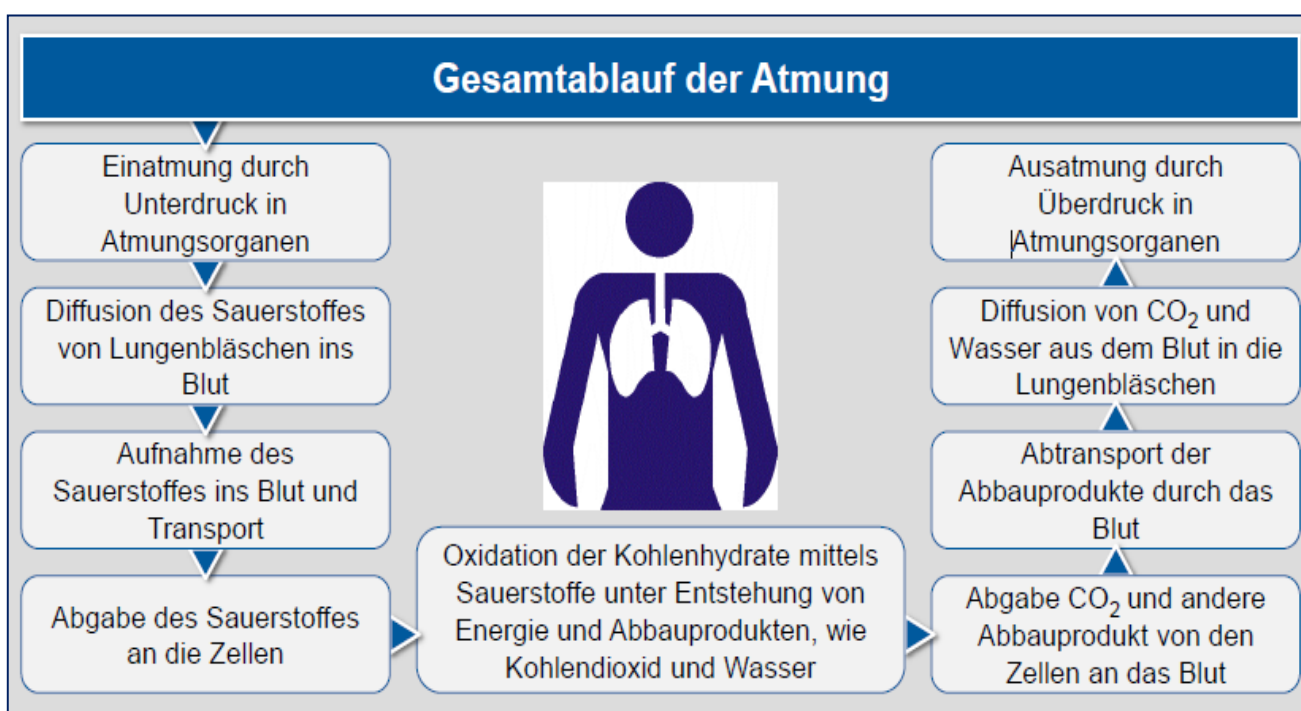


Bild 10: Gesamtablauf der Atmung

3.4 Atmungsfrequenz

Bei jedem der 16 Atemzüge, die ein Erwachsener pro Minute in Ruhestellung durchführt, wird ein halber Liter Luft ein- und ausgeatmet. Bei großer körperlicher Anstrengung atmet der Mensch schneller. Dadurch steigert sich der Luftbedarf, bei Leistungssportlern sogar bis zu 100 Liter pro Minute. Atemschutzgeräteträger unter Chemikalienschutzanzug können aber immer noch einen Luftverbrauch von etwa 60 l/min erreichen.

Verlangt die Belastung des Körpers eine ansteigende Arbeit des Körpers, muss er mehr Energie bereitstellen. Dafür benötigt der Körper mehr Sauerstoff. Erhöhtem Sauerstoffverbrauch folgt in Auswirkung der inneren Atmung eine höhere Kohlendioxidkonzentration im Blut. Diese bewirken ein Absinken des pH-Wertes vom Blut. Das registrieren die CO_2 -Messstellen im Körper und leiten dieses Messergebnis an das Atemszentrum weiter. Das Atemzentrum erhöht daraufhin die Frequenz der Reize an die zur Atmung benötigte Brustmuskulatur und das Zwerchfell. Die Lunge wird öfter auseinander gezogen (Unterdruck

→ Einatmung) und zusammengedrückt (Überdruck → Ausatmung). Die Atemfrequenz steigt, die Sauerstoffzuführung erhöht sich und Kohlendioxid wird stärker ausgeatmet. Sobald die körperliche Belastung zurückgeht, verringert sich der Sauerstoffbedarf, es entsteht weniger Kohlendioxid. Wenn durch die äußere Atmung genügend Kohlendioxid abgeatmet wurde, liegt auch die Atemfrequenz wieder in ausgeglichenen Bereichen. Die Beschleunigung der Atmung als Folgeerscheinung stärkerer innerer Atmung durch steigende Belastung lässt sich in den Tabellen 3 und 4 erkennen:

Tabelle 3: Wirkung des Einatmens von CO₂-Gemischen beim Gehen auf einem Laufband

CO ₂ -Konzentration [Vol-%]	Mittlerer Anstieg des Atemvolumens pro Minute [%]
2	30,5
3	44,5
4	62,5
5	72,5

Hinweis: Abbruch bei 5 Vol % CO₂-Konzentration, weil die Mehrzahl der Probanden negative Symptome verspürten oder bereits abgebrochen hatten. Quelle: Brauer `Handbuch AtemschutzA

Tabelle 4: Erhöhung der CO₂-Ausscheidung bei Belastungserhöhung

Belastung [kg . m/min]	CO ₂ -Ausscheidung in der Ausatemluft [l/min]
350	0,8
500	1,0
600	1,1
800	1,6
1000	2,2
1200	2,7
1400	4,0

Quelle: Brauer `Handbuch AtemschutzA

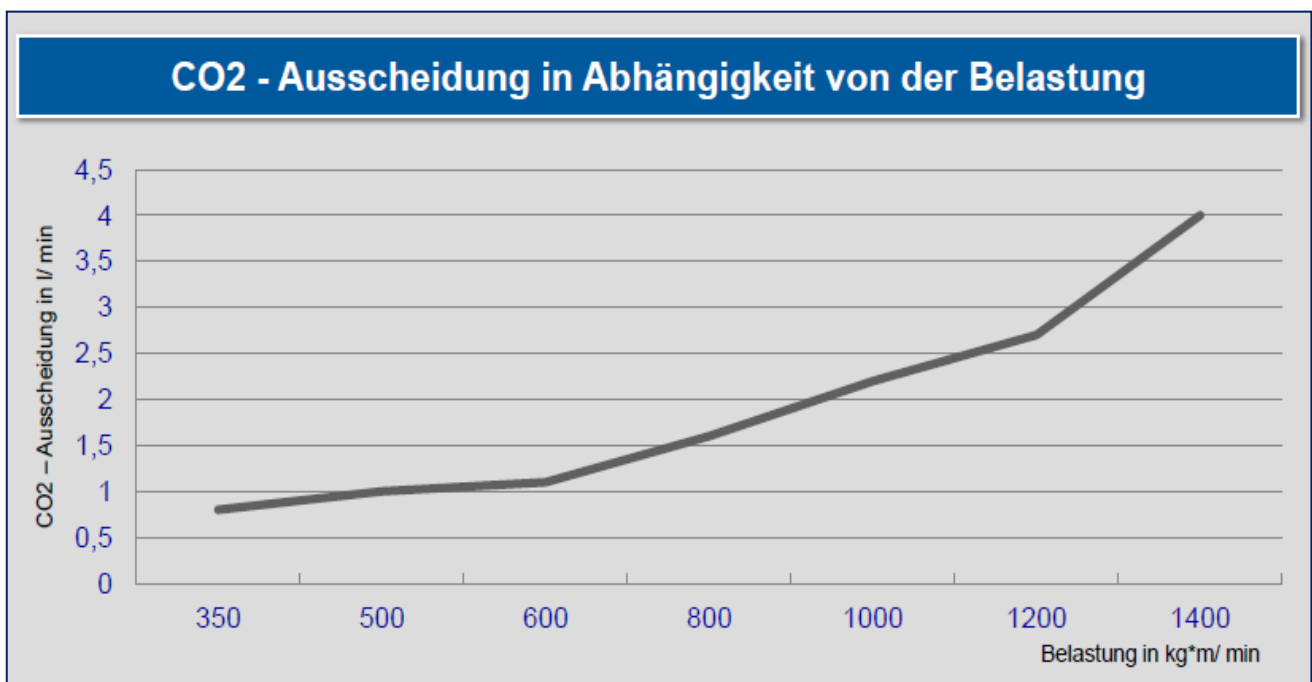


Bild 11: Atemfrequenz des Menschen in Abhängigkeit seiner Leistung

4 Sauerstoffmangel

Bei Personen, die über Jahre nur gering weniger Sauerstoff in ihren Körper aufnehmen, z. B. Raucher, können sich allmählich schwerwiegende Folgen entwickeln. Zu den typischen Folgeerscheinungen gehören u. a. Durchblutungsstörungen, Herzbeschwerden und Krebsentwicklung.

Bei Personen, deren Einatemluft mit schädigenden Stoffen belastet wird, verschärfen sich die Gefahren akut. Da

- kann der Sauerstoff der Einatemluft in stärkeren Mengen vermindert oder gar verdrängt werden
- können Atemgifte eingeatmet werden und die Atmungsorgane so schädigen, dass die Atmung gestört oder gar unterbunden wird.

Bei Sauerstoffmangel im Körper erhöht sich die Atemfrequenz der betroffenen Person, weil der Körper das entstehende Sauerstoffdefizit auszugleichen versucht. Wie der Luftdurchsatz einer Person in Ruhe beim Absinken des Sauerstoffgehaltes steigt, enthält Tabelle 5.

Tabelle 5: Steigerung des Luftdurchsatz einer Person in Ruhe beim Absinken des Sauerstoffgehaltes ihrer Einatemluft	
Sauerstoffgehalt [Vol- %]	Luftdurchsatz (Atemminutenvolumen) [l/min]
15	10
10	15
8	22

Quelle: Brauer Handbuch AtemschutzA

Bei einer Erhöhung der Atemfrequenz verstärkt sich die Gefährdung der betreffenden und ungeschützten Person im Gefahrenbereich erheblich, da sich analog die Menge der mit der Einatemluft einströmenden gefährlichen Stoffe erhöht. Die Vergiftungsgefahr steigt.

Grundsätze Atemschutz

- **Bei Atemnot stehe still und sammle Dich.**
- **Versuche Atemnot durch ruhiges, tiefes Atmen zu überwinden.**
- **Gib nie der Versuchung nach, die Maske abzunehmen.**

Die Folgen des Absinkens des zur Atmung zur Verfügung stehenden Sauerstoffs stellt Tabelle 6 dar (siehe auch Folie 14). Gleich, ob der Sauerstoffanteil sinkt, weil die Einatemluft zu wenig Sauerstoff enthält oder die Atmungsorgane durch Atemgifte in ihrer Funktionsfähigkeit gestört sind, sinkt der Sauerstoffanteil im Blut und ruft die in Spalte 2 aufgeführten Schädigungen beim Menschen hervor.

Tabelle 6: Schädigungen des Menschen durch Sauerstoffmangel		
Sauerstoffmangel analog Sauerstoffanteil der Einatemluft [Vol.-%]	Schädigungen beim Menschen	Bemerkung

etwa <u>21</u>	Normzustand, kein Sauerstoffmangel	außerhalb smokbehafteter Großstädte, Meereshöhe
21 - <u>17</u>	keine Beeinträchtigung	

Sauerstoffmangel analog Sauerstoffanteil der Einatemluft [Vol.-%]	Schädigungen beim Menschen	Bemerkung
16 - <u>12</u>	<ul style="list-style-type: none"> - starke Ermüdung - schwindende Fähigkeit zur realistischen Lagebeurteilung - Gefahrunterschätzung - Schmerzunempfindlichkeit 	von 16 nach 12 zunehmend
12 – etwa <u>7</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Schwindel, Übelkeit, Erbrechen - Benommenheit - Ohnmacht 	von 12 nach 7 zunehmend
etwa <u>7</u>	Tod	sofortiger Eintritt

5 Verabschiedung

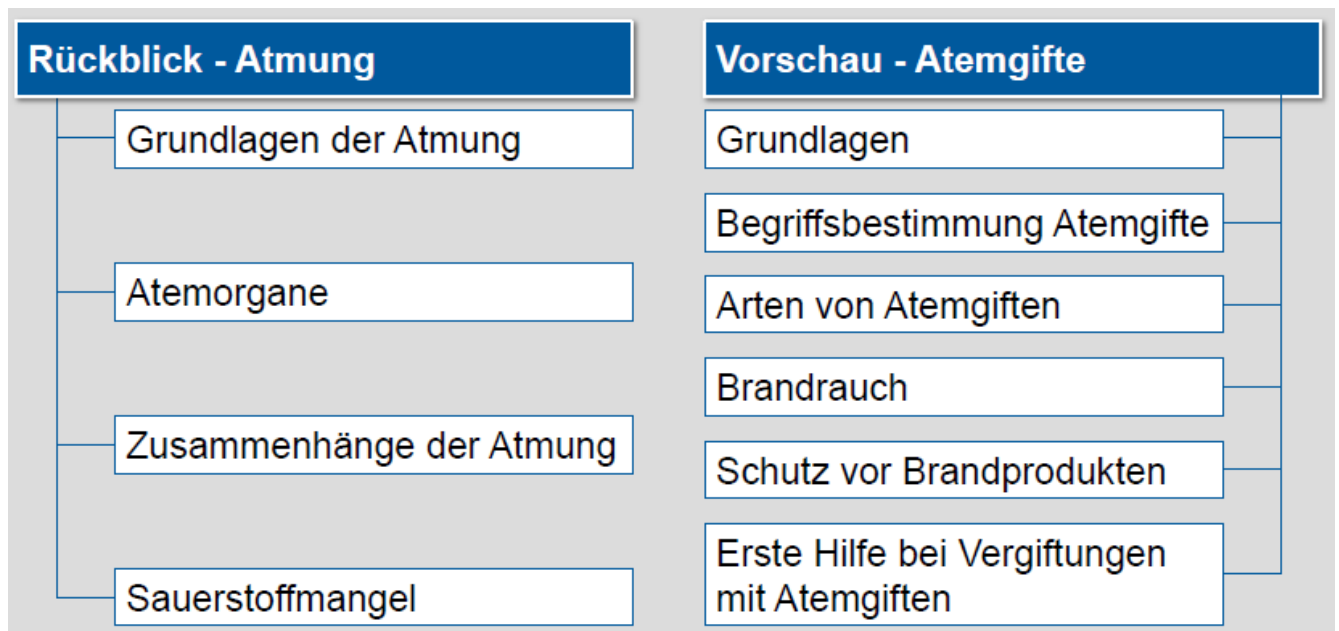


Bild 12: Verabschiedung