

I

Anatomie und Physiologie der Atmungsorgane

Dr. med. M. Endlich
Abteilung für Herzchirurgie
Universitätsklinikum Bonn

Quellen

- Taschenlehrbuch Physiologie
(Gerke Michael, Markwardt Fritz , 2010 Thieme)
- Bibliographisches Institut & F.A: Brockhaus AG

Allgemeines

- Bedeutung der Atmung für uns Menschen:

Wir können:

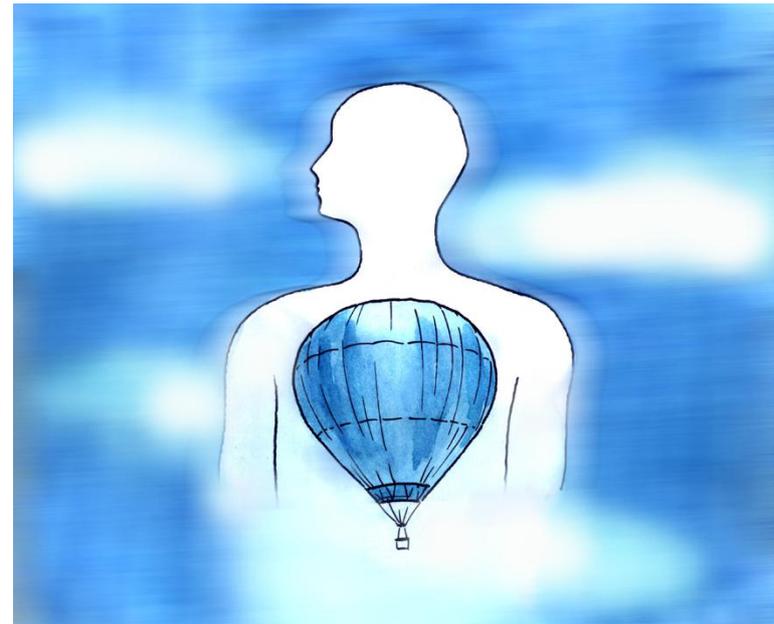
Einige Wochen leben ohne zu essen

Einige Tage leben ohne zu trinken

ABER:

Wir können nur wenige Minuten leben ohne zu Atmen!!!

- Die Lunge - das Leistungsmonster



- Die Atemmenge pro Tag entspricht in etwa der eines Heißluftballons

Allgemeines II

- Lungenheilkunde bei Hippokrates:
 - Erste Grundlagen über Anatomie und Nosologie
 - Erste Beschreibung der Tuberkulose mit Symptomen und Befunden u.a. durch:
 - Auskultation mittels Ohr
 - Inspektion
 - Palpitation

Erste Beschreibungen von Rippenfellentzündungen

Vorlesung: Atmung

- Atmung ist ein unbewußt ablaufender Vorgang über den wir uns keine Gedanken machen.
- Die Steuerung der Atmung unterliegt dem autonomen Nervensystem
- Erst bei krankhafter Beeinträchtigung bemerken wir sehr deutlich die Funktionsstörung und werden durch Atemnot in Todesangst versetzt.
- Am Atemvorgang sind eine Reihe von verschiedenen in Reihe geschalteten anatomischen Strukturen beteiligt.
- Zum einen gibt es die größeren und kleineren luftführenden Wege die eine offene Verbindung zwischen der Umwelt und den Tiefen des Lungengewebes darstellen.
- Zum anderen spielt sich der entscheidende Schritt bei der Atmung auf mikroskopischer Ebene in den Lungenbläschen ab. Hierbei wird Sauerstoff in den Körperkreislauf aufgenommen und Kohlenstoffdioxid abgegeben (Gasaustausch).
- Man unterscheidet zwei Arten von Atmung:
- Die äußere Atmung: Gasaustausch zwischen Organismus und Umwelt
- Die innere Atmung: Verwertung der Nährstoffe in den Zellen (oxydativer Abbau) mittels Verwendung von O_2 und Freisetzung von CO_2 (Gewebeatmung)
- Eine Unterbrechung der Atmung ist für den Menschlichen Körper nur für wenige Minuten tolerabel

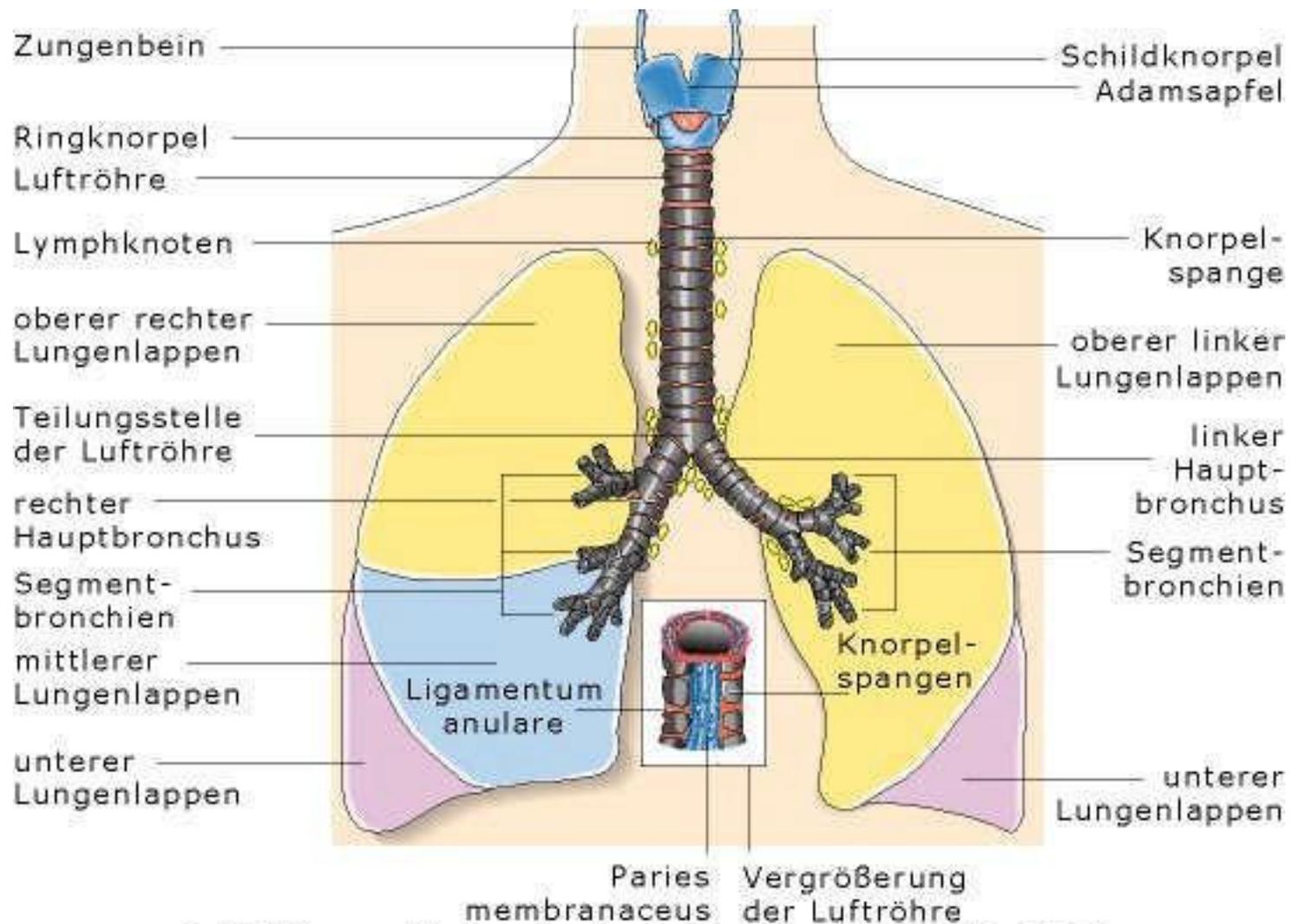
Beteiligte Organstrukturen

- An der Atmung beteiligte Organstrukturen sind:
 - Nase, Rachen und Kehlkopf (= obere Atemwege)
 - Lunge (Luftröhre, Bronchien, Lungenbläschen und Lungengefäße)
- Aufgaben:
 - Anwärmung, Anfeuchtung und Reinigung der Atemluft
 - Gasaustausch

Aufbau und Funktion

- Anatomie der Lunge:
 - Die luftführenden Systeme mit der Luftröhre (Trachea) und ihre Aufzweigungen, die großen Bronchien, sind dem eigentlichen Lungengewebe vorgeschaltet.
- Trachea:
 - Die Luftröhre schließt sich direkt an den Ringknorpel des Kehlkopfes an.
 - 12 cm langer Muskelschlauch
 - Gestützt von C-förmigen Knorpelspangen die einen Kollaps bei Unterdruck (verursacht durch tiefes Einatmen) verhindern
- Lunge und Bronchien:
 - Am Ende teilt sich die Luftröhre in 2 gleichgroße Luftwege auf, die beiden Hauptbronchien
 - Diese Stelle wird als Trachealsporn oder Carina bezeichnet.
 - Die Bronchien werden ebenfalls wie die Trachea von Knorpelspangen gestützt
 - Die Bronchien verzweigen sich immer weiter (23 mal) und münden schliesslich in 0,2 mm durchmessende kleine Bläschen, die Alveolen. Zusammen mit den Blut- und Lymphgefäßen bilden sie die Lunge.

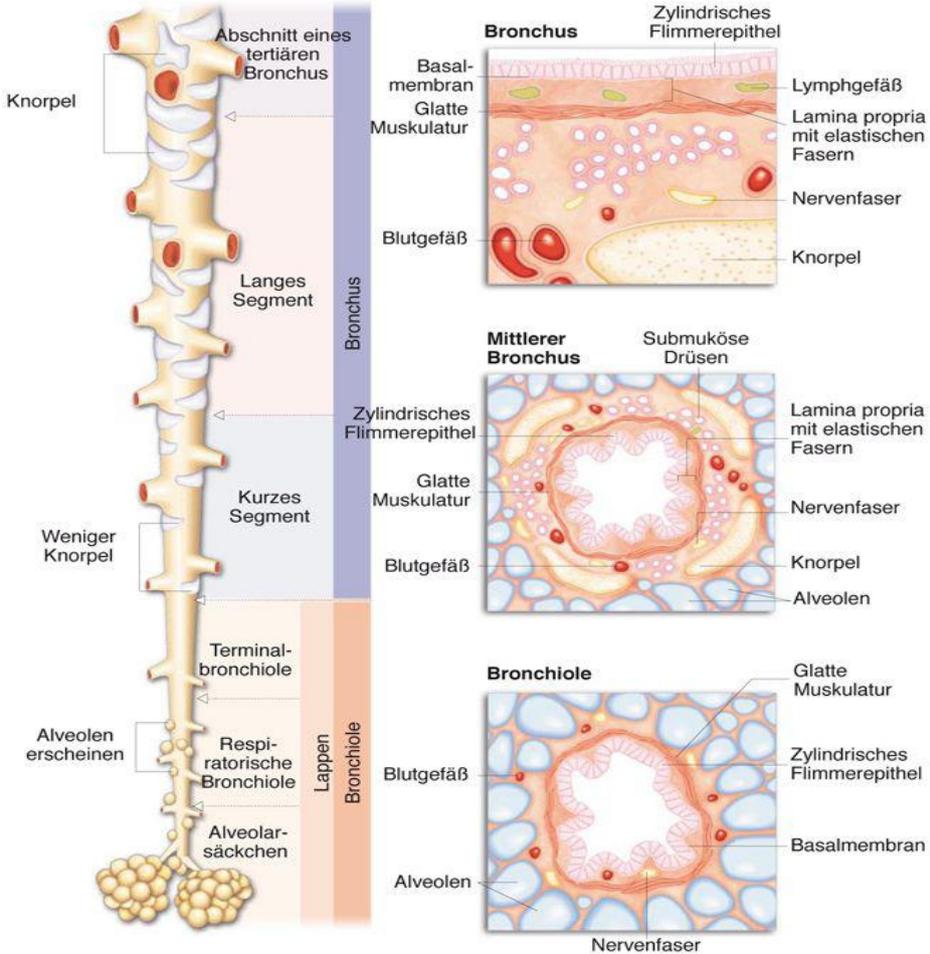
Trachea



(c) Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2006

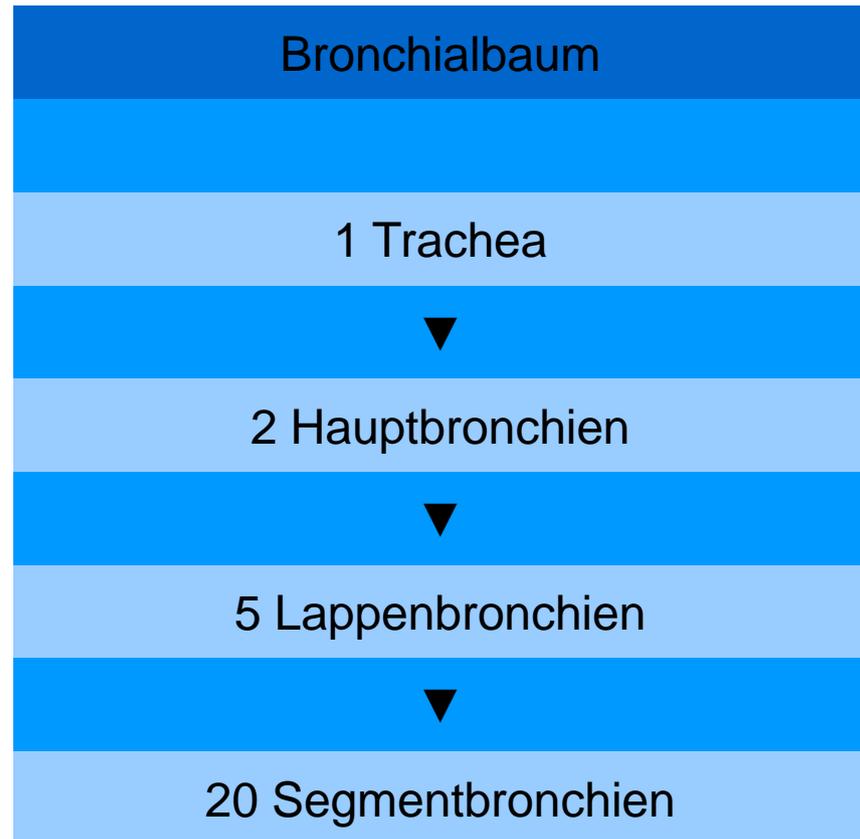
Bronchialbaum

Der Bronchialbaum ■

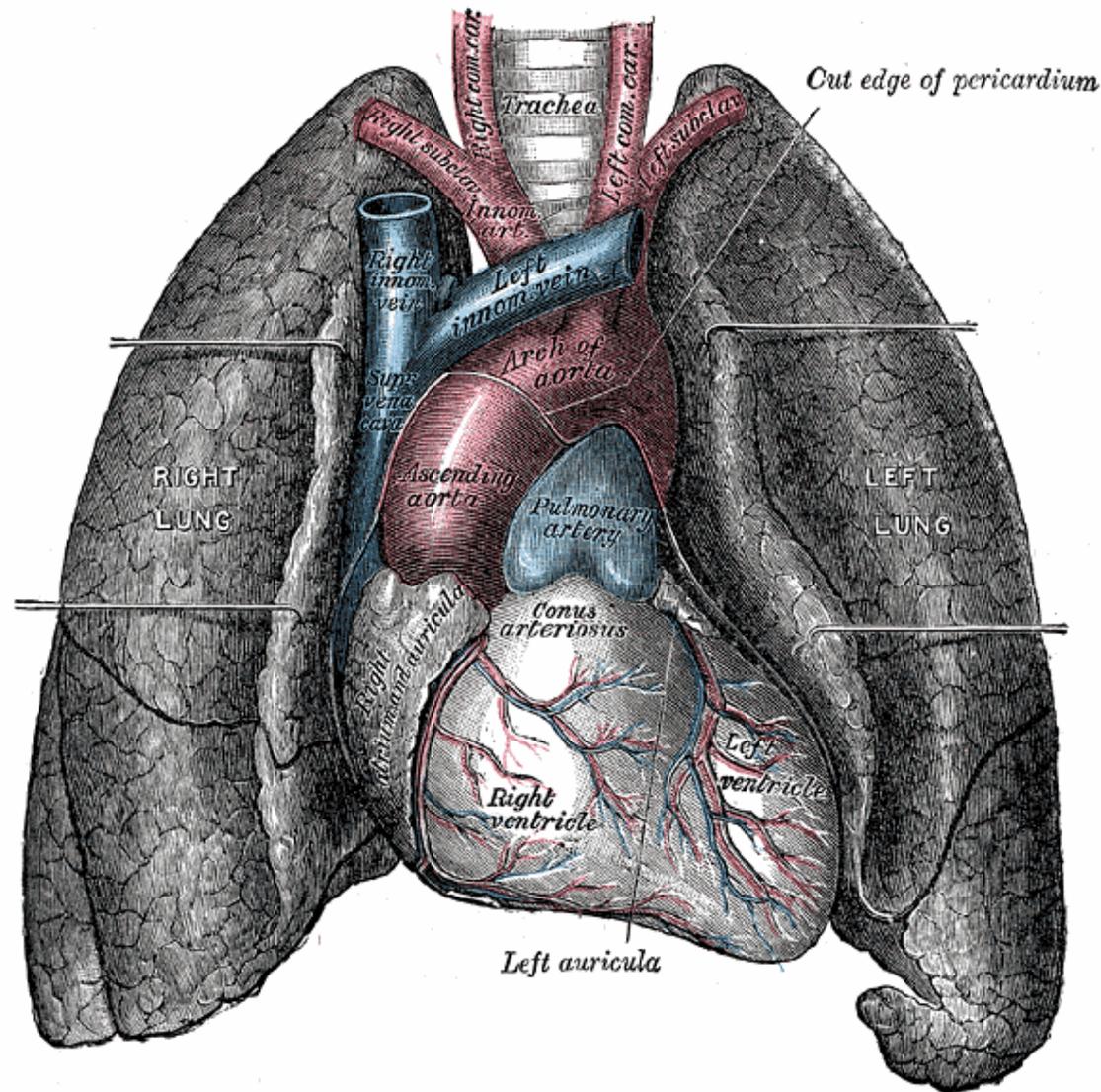


Lunge in der Übersicht

- Gesamtansicht Lunge



Anatomische Verhältnisse von Herz und Lunge



Anatomie Lunge

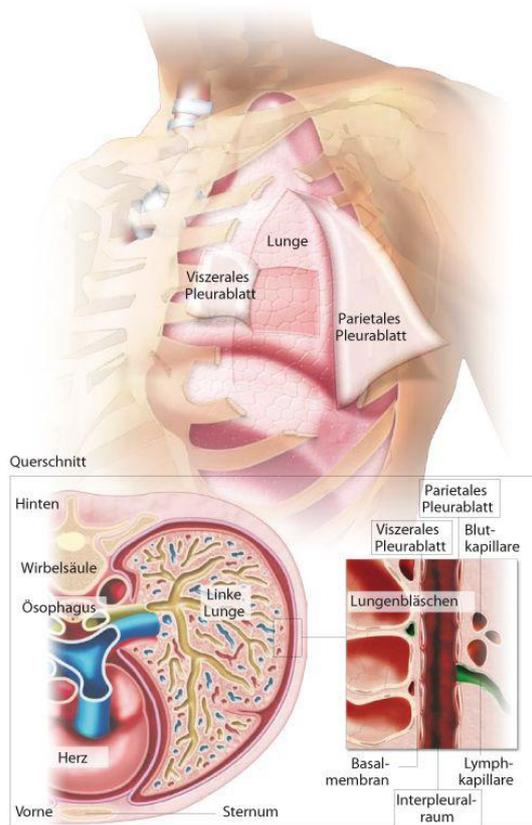
- Die Lunge wird makroskopisch aus 2 getrennten Lungenflügeln gebildet.
- Auf der rechten Seite finden sich 3 und auf der linken 2 Lungenlappen die sich noch in weitere Untereinheiten (insgesamt 10 Lungensegmente pro Seite) einteilen lassen.
- Elastische Faserstrukturen sowie eine spezielle Auskleidung der Alveolen (Surfactant Factor) ermöglichen dem Organ eine Elastizität die für den Atemvorgang von wesentlicher Bedeutung ist.
- Bedeutsam für krankhafte Vorgänge ist die Nervenversorgung Pleura parietalis was diese äußerst schmerzempfindlich macht
- Die Pleura visceralis sowie die Lunge selbst sind Schmerzunempfindlich da sie keine Nervenfasern enthalten
- Somit kann sich ein Tumor lange Zeit ausbreiten bevor es zum Warnzeichen Schmerz kommt

Anatomie Lunge

- Pleura:
 - Die Pleura (Brustfell) zum einen beide Lungenhälften und kleidet zum anderen den Brustkorb von innen aus
 - Es handelt sich hierbei um eine dünne, von Gefäßen durchzogene Hülle, die aus flachen Zellen gebildet wird
 - Liegt sie der Lunge an wird sie als Lungenfell und wenn sie dem Brustkorb anliegt als Rippenfell bezeichnet
 - Lungenüberzug = Pleura visceralis
 - Innenwandauskleidung = Pleura parietalis
 - Dünner Flüssigkeitsfilm zwischen beiden Blättern macht die Lunge maximal mobil, aber die Blätter lassen sich nur schwer trennen (2 Glasplatten mit Flüssigkeitsfilm dazwischen)

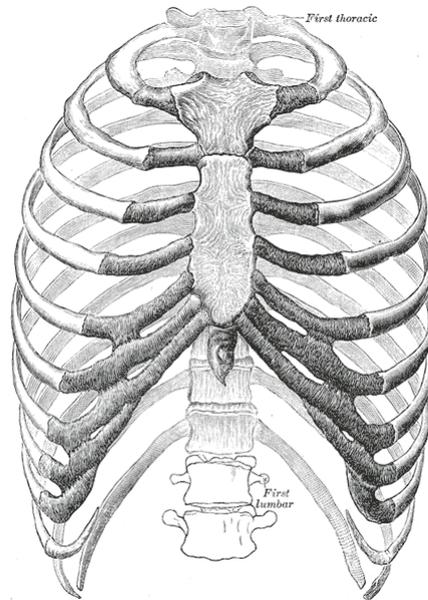
Lungenfell

Lungenfell ■



Physiologie der Lunge

- Atemmechanik und Atemvorgang
 - Am Aufbau des Brustkorbes sind knöcherne Strukturen (Brustbein, Rippen, Wirbelsäule) und Weichteilstrukturen (Rippenknorpel, Zwischenrippenmuskulatur, Zwerchfell) beteiligt
 - Sie bieten zum einen den Schutzschirm der innen gelegenen Organe und zum anderen spielen sie eine wesentliche Rolle bei der Atemmechanik
 - Knöcherner Thorax



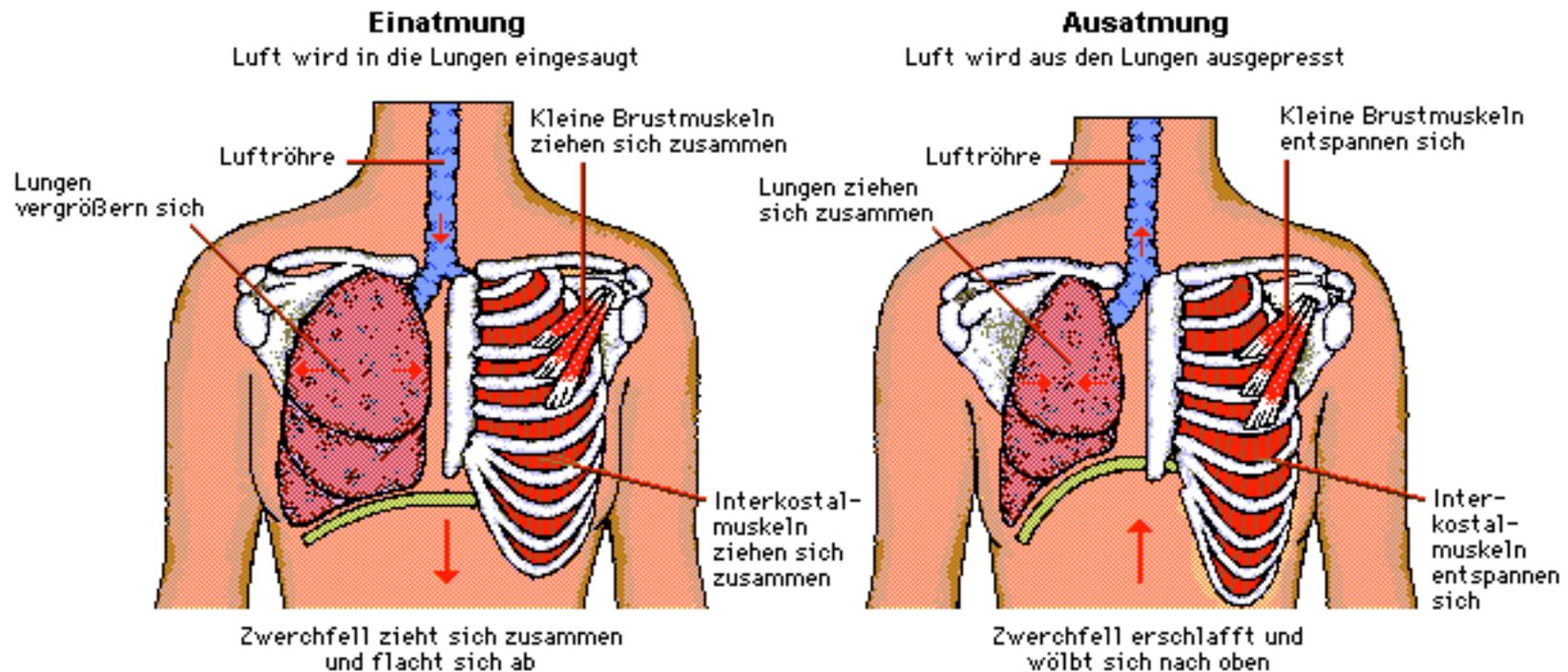
Physiologie der Lunge

- Die Lunge selbst kann nicht den zur Atmung notwendigen Bewegungsablauf aufbringen sondern folgt passiv den Bewegungen des Brustkorbes
- Entscheidend ist hierbei der zwischen den beiden Pleurablättern bestehende Unterdruck welcher die Bewegungen des äußeren Brustkorbs auf die Lunge überträgt und somit eine Atmung erst möglich macht
- Hierbei spielen die Pleuralen Überzüge eine wesentliche Rolle, indem ein zwischen Ihnen befindlicher Flüssigkeitsfilm als Gleitmittels dient und beide Blätter untrennbar macht
- Zwei Drittel der notwendigen Arbeit werden vom Zwerchfellmuskel aufgebracht
- Weitere Hilfsmuskeln (Inspirationsmuskulatur) sind zwischen den Rippen angelegt. Sie können durch Änderung der Rippenstellung den Brustkorbinhalt variabel verändern
- Merke: Brustkorbvolumen ist abhängig von Zwerchfellstand und Rippenstellung

Physiologie Lunge

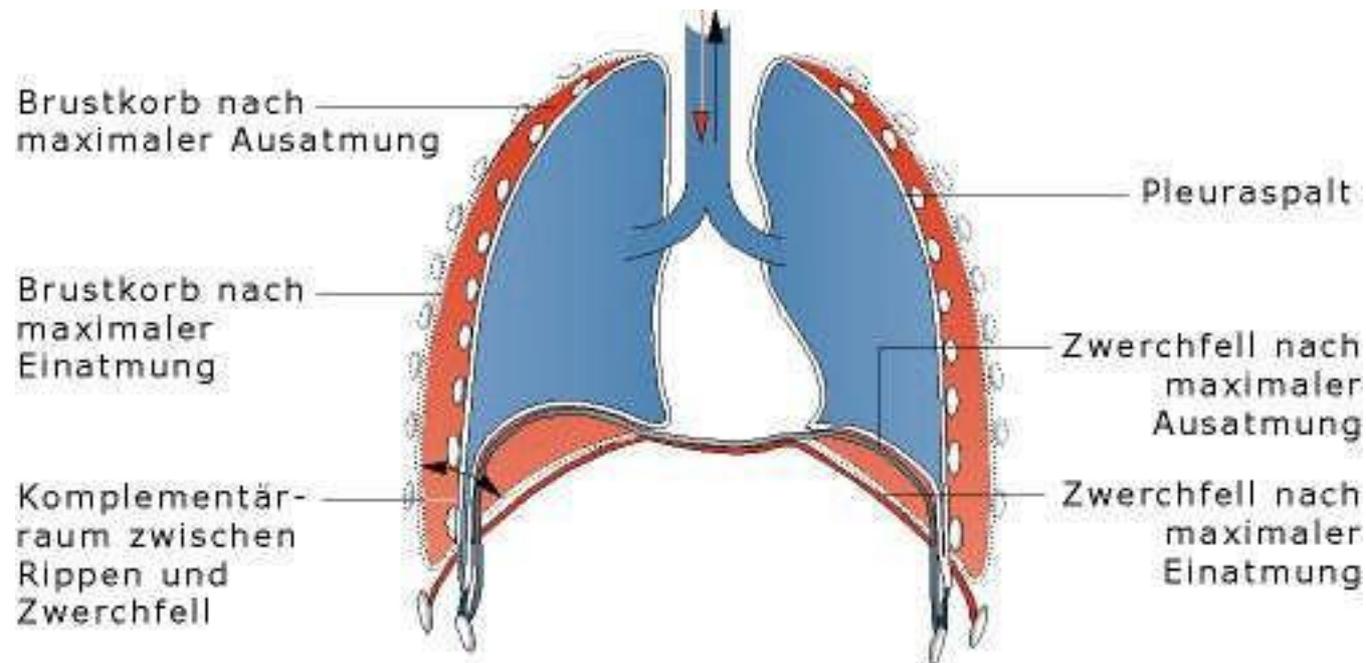
- Inspiration:
 - Der Vorgang der Inspiration (Einatmung) erfolgt aktiv durch Zusammenziehen der Atemmuskulatur (Zwerchfell, Rippenmuskulatur)
- Expiration:
 - Die Expiration (Ausatmung) ist ein weitestgehend passiver Vorgang mit Erschlaffung der entsprechenden Muskeln
 - Bedingt durch die Eigenelastizität der Lunge und deren Bestreben der ständigen Volumenverkleinerung ist die Atemarbeit hierbei gering
 - Bei der forcierten Ausatmung können bestimmte Hilfsmuskeln verwendet werden
 - Normalwerte der Atemfrequenz
 - Kind 25 mal / Minute
 - Erwachsener 15 mal / Minute

Einatmung – Ausatmung



Microsoft-Illustration

Einatmung – Ausatmung



(c) Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2006

Druckverhältnisse

Intrapulmonaler Druck:

Druck im Lungengewebe = Umgebungsdruck bei geöffneter Glottis (ohne Atemvorgang)

Wird stets als Differenz zum Umgebungsdruck angegeben und ist folglich wie o.g. ohne Atemvorgang 0

Bei Inspiration:

Druck sinkt (negative Werte), Lunge weitet sich und bedingt durch den Atemwiderstand kann kein sofortiger Druckausgleich stattfinden (maximal $-90 \text{ mmHg} = -12 \text{ kPa}$)

Bei Expiration:

Druck steigt (positive Werte, maximal $+110 \text{ mmHg} = 15 \text{ kPa}$)

Druckverhältnisse II

Intrapleuraler Druck

Gemessen im Pleuraspalt, bei Ruheatmung dauerhaft negativ bedingt durch die Eigenelastizität der Lunge

Atmungsabh. Druckschwankungen wie intrapulmonaler Druck allerdings ins negative verschoben und zeitlich versetzt

Maximal negativ (ca -7 mmHg) bei Erreichen des maximalen Inspirationsvolumens (größte Dehnung der Lunge = maximale Rückstellkraft)

Minimal negativ (ca -2 mmHg) bei maximaler Expiration

Differenz zwischen intrapulmonalem und intrapleuralen Druck entspricht dem **Transpulmonalem Druck**

Bei Ruheatmung negativ

Maß für die elastischen Rückstellkräfte der Lunge

Mechanische Eigenschaften

Elastische Rückstellkräfte → Müssen bei Inspiration überwunden werden

Die „Verbindung“ der Pleurablätter wirkt Rückstellkraft entgegen

Elastizität der Lunge ist multifaktoriell bedingt

Elastische Fasern

Oberflächenspannung (Luft-Wasser-Grenzschicht)

Oberflächenspannung

Bestreben der Alveolen zu kollabieren

Ohne Hilfsmittel wäre die Oberflächenspannung für eine adäquate Atmung zu hoch

→ **Surfactant (Alveolarepithelzellen Typ II)**

Ausschüttung wird durch Lungendehnung stimuliert

Wird ab der 30. SSW gebildet

Oberflächenspannung II

Weiteres Problem:

Unterschiedlich große Alveolen mit unterschiedlich hohen Wandspannungen (je kleiner desto höher)
(Großer und Kleiner Luftballon)

Lösung:

Jede Alveole hat gleich viel Surfactant → bei kleinerem Durchmesser höhere Surfactantkonzentration und somit bessere Reduktion der Oberflächenspannung

Compliance

Compliance = mechanische Eigenschaften der Lunge und des Thorax (**$C = \Delta V / \Delta P$**)

$$C_{(\text{Lunge} + \text{Thorax})} < C_{(\text{Thorax})}$$

Da elastischen Rückstellkräften der Lunge

Atemarbeit

In Ruhe lediglich Inspiration ein aktiver Vorgang
Energieverbrauch in Ruhe gering, erhöht sich:

Bei Anstrengung

Lungenerkrankungen (Asthma bronchiale)

Bei schwerster körperlicher Arbeit kommt auch die Atemmuskulatur an ihre Belastungsgrenze und kann nach einer gewissen Zeit die für die Belastung notwendige Ventilation und somit die O₂-Versorgung nicht aufrecht erhalten

Physiologie Lunge

- Ventilation:
 - Dieser Begriff beschreibt alle Atmungsvorgänge die der Belüftung der Lunge dienen und mit einer Bewegung der Atemluft in den Atemwegen eng verknüpft sind.
 - Die bewegte Menge an Luft wird in Litern pro Minuten gemessen
 - Die gemessenen Werte können mit Normkurven verglichen werden
 - Bei einer Abweichung von der Norm kann z.B. das Ausmaß der Reduktion den Gefährdungszustand während einer Narkose anzeigen.

Gasgemische und Gasdrücke

Entsprechend der Konzentration in der Atemluft besitzen alle darin enthaltenen Gase einen unterschiedlichen Druck. Der Teildruck eines jeden Gases wird als Partialdruck bezeichnet. Die Summe aller Partialdrücke ist der Gasdruck.

Trockene Luft enthält eine Gesamtgasmenge von 100 Volumen-% entsprechend einem Gasdruck von 760 mm Hg (Quecksilbersäule)

Sowohl in der uns umgebenden Luft als auch bei der Luft im physiologischen Milieu der Atmung spielt die Feuchtigkeit (d.h. der Wasserdampf) eine Rolle, da dieser auch einen bestimmten Druck aufweist.

Bei der üblichen Gaskonzentrationsmenge (Angabe für trockene Luft) muss also zur Berechnung der tatsächlichen Partialdrücke der Partialdruck des Wassers subtrahiert werden. Zusätzlich muss auch der Partialdruck des Wasserdampfes in der Lunge beachtet werden.

Entsprechend ihrer Volumenanteile am Gasgemisch besitzen die einzelnen Gase einen definierten Anteil welcher als Gasfraktion bezeichnet wird.

Gasgemisch und Gasdruck II

Mathematisch ergibt sich somit zur Berechnung der Gasteildrücke folgende Gleichung

$$\text{Partialdruck} = \text{Gasfraktion} \times (\text{Gesamtdruck} - \text{Wasserdruck})$$

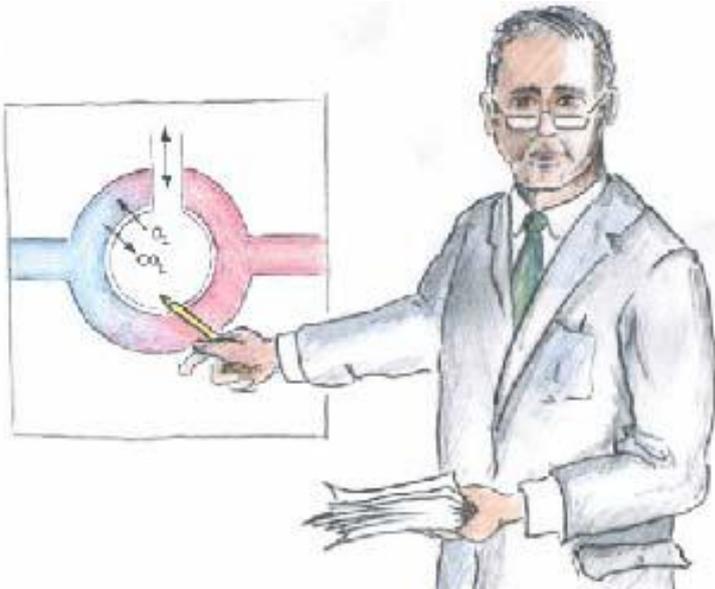
Für die alveoläre Belüftung ergeben sich auf Grund einer volumenmäßigen O₂-Aufnahme von 300 ml / min und einer CO₂-Abgabe von 230 ml / min eine

O₂-Fraktion von 0,14 (14 Vol.%)

CO₂-Fraktion von 0,056 (5,6 Vol.%)

Gasaustausch

- Fläche aller Alveolen
ca. 100 m²



- O₂ wird aufgenommen
- CO₂ wird abgegeben

Gasaustausch II

Der Gastransport zwischen Gewebe und Luft ist entscheidendes Merkmal der Atmung

Die Belüftung (Ventilation) ist die Voraussetzung hierfür. Folgende Vorgänge sind am Gasaustausch beteiligt:

Ventilation

Lunge mit Atemwegen und Alveolen

Zirkulation

Blutkreislauf

Stoffwechsel

Gewebe mit extra- und intrazellulären Prozessen

Alle drei Systeme stehen miteinander in Verbindung und gewährleisten so den Abtransport des im Stoffwechsel anfallenden CO_2 -Anteils sowie die O_2 -Aufnahme.

Gasaustausch III

Bedeutung der Alveolen:

Alveolen sind kleinste Bläschen die im Inneren mit Gas (Gemisch aus Atemgasen und Umgebungsluft) angefüllt sind. Eine zarte Wand unterteilt die einzelnen Alveolen und hat auf Grund ihrer Feinstruktur spezielle Aufgaben

Alveolarwand enthält:

Transportsystem = Kapillarnetz aus Blutgefäßen welches die Bläschen umschließt und für den Gastransport sorgt.

respiratorische Zellen = Pneumozyten, gasdurchlässige Zellen zum Austausch mit dem Blutsystem

Freßzellen mit der Fähigkeit zur **Phagozytose** (Beseitigung von Staub und Keimen)

spezielle Zellen zur Bildung des **Surfactant Factors** welcher den Kollaps der Alveolen bei Expiration verhindert und damit die Lungenarbeit erleichtert

Gasaustausch IV

Die für den normalen Gasaustausch entscheidende Größe ist der Weg zwischen Erythrozyt und Alveole. Diese als Diffusionsweg bezeichnete Strecke muss überwunden werden. Die geschieht auf Grund von Konzentrationsunterschieden (damit auch Druckunterschieden) auf Basis der Diffusion.

Dabei muss unter Berücksichtigung der Kontaktzeit (Passagezeit der Erys an der Alveole) eine möglichst hohe O_2 -Konzentration im Blut erzielt werden. Der zu Beginn der kapillaren Passage betragende O_2 -Druck von 40 mm Hg wird dabei auf einen Wert um die 100 mm Hg angehoben.

Daten zum Gasaustausch:

Alveolengröße	=	0,2 mm Durchmesser
Alveolenanzahl	=	300 – 400 Millionen (gesamte Lunge)
Atmungsfläche	=	90 m ² (80 – 120 m ²)
Kontaktzeit	=	0,3 Sekunden

Gasaustausch V

Treibende Kraft ist Δp des O_2 bzw. CO_2

$$p_{O_2\text{-Alveole}} = 100 \text{ mmHg}$$

$$\rightarrow \Delta p_{O_2} = 60 \text{ mmHg}$$

$$p_{O_2\text{-Pulmonalis}} = 40 \text{ mmHg}$$

$$p_{CO_2\text{-Alveole}} = 40 \text{ mmHg}$$

$$\rightarrow \Delta p_{CO_2} = 6 \text{ mmHg}$$

$$p_{CO_2\text{-Pulmonalis}} = 46 \text{ mmHg}$$

Δp_{O_2} 10 X > als Δp_{CO_2} , aber Löslichkeit in Blut CO_2 20 x > als O_2

Dauer des Gasaustausches 0,25 s, Kontaktzeit in Ruhe 0,75 s und unter Vollast 0,25 s

Störungen Gasaustausch

Ficksches Diffusionsgesetz

$$D = \Delta P \times (A / d) \times k$$

k = Konstante für die Durchlässigkeit der Alveolarmembran

ΔP = Partialdruckunterschied

A = Fläche der am Gasaustausch teilnehmenden Alveolen

d = Dicke der Alveolarmembran

Primär sind Änderungen an A oder ΔP für Störungen des Gasaustausches verantwortlich

Respiratorischer Quotient (RQ)

$$RQ = V_{CO_2} / V_{O_2}$$

V_{CO_2} = CO₂-Abgabe (l/min)

V_{O_2} = O₂-Aufnahme (l/min)

Abhängig von der Ernährung sowie der Atmung

Nur Kohlenhydrate → RQ = 1

Nur Fette → RQ = 0,7

Hyperventilation → RQ > 1 (kurzfristig)

- CO₂-Abgabe steigt an
aber O₂-Speicher ohnehin fast zu 100 % gesättigt
- kein wesentlicher Anstieg der O₂-Aufnahme

Lungenkreislauf

Niederdrucksystem → RR ↓ als gr. Kreislauf

HZV-Anstieg = Volumen ↑ Lungenkreislauf

$$P_{\text{Pulmonalis}} \text{ mean} = 15 \text{ mmHg (25 / 8)}$$

$$P_{\text{Kapillare}} \text{ mean} = 7 \text{ mmHg}$$

Pulmonalarterien dünnwandig und leicht dehnbar (↑ Compliance)

Lungenkreislauf enthält 0,5 l Blut (ca. 10% des Gesamtvolumens)

Lungenperfusion I

RR wird durch Herzleistung sowie Höhenunterschied bestimmt

→ Im Stehen $RR_{\text{Fuß}} > RR_{\text{herznahe Arterien}}$ (hydrostat. Druck)

Vertikale Ausdehnung der Lunge ca. 30 cm (2/3 oberhalb und 1/3 unterhalb des Herzens)

→ 3 Zonen-Durchblutung der Lunge im Stehen

Lungenspitze (Zone 1): Höhendifferenz ca. 20 cm (= $P_{\text{hydrostat.}}$ 15 mmHg)

$$\rightarrow P_{\text{Spitze}} = P_{\text{Pulmonalis}} - P_{\text{hydrostat.}}$$

$$\rightarrow P_{\text{Spitze Syst.}} = 25 \text{ mmHg} - 15 \text{ mmHg} = 10 \text{ mmHg}$$

$$\rightarrow P_{\text{Spitze Diast.}} = 8 \text{ mmHg} - 15 \text{ mmHg} = -7 \text{ mmHg}$$

→ Während der Diastole sind die Kapillaren in der Lungenspitze kollabiert und bei Druckerhöhung im Alveolarraum (z.B. Expiration gegen Widerstand) können auch in der Systole die Kapillaren kollabieren !!

Lungenperfusion II

Zone 2 / 3 sind kontinuierlich perfundiert.

Im Liegen beträgt der Höhenunterschied < 3 cm

→ Alle Abschnitte der Lunge durchgehend perfundiert

Lungenperfusion bei körperlicher Arbeit

RR-Anstieg → Perfusion der Kapillaren an der Lungenspitze (Rekrutierung)

d.h. HZV \uparrow → Gefäßquerschnitt_{Lunge} \uparrow → Peripherer Widerstand_{Lunge} \downarrow

d.h. Geringerer RR-Anstieg im Lungenkreislauf → Rechtsherz-Entlastung

d.h. Abschwächung des RR-Anstieg bedingten Anstiegs der $v_{\text{Blutfluss}}$

→ Sicherstellung einer ausreichenden Oxygenierungszeit in den Alveolen

Ventilations-Perfusions-Quotient

HZV = alveoläre Ventilation = ca. 5 l in Ruhe $\rightarrow V / P = 1$

In den einzelnen Lungenabschnitten

Lungenspitze:

Verschiebung hin zu Ventilation

$\rightarrow p_{O_2\text{-alveolär}}$ über dem Durchschnitt

Lungenbasis:

Verschiebung hin zur Perfusion

$\rightarrow p_{O_2\text{-alveolär}}$ unter dem Durchschnitt

d.h. gut mit Sauerstoff gesättigtes Blut aus der Spitze und schlechter gesättigtes Blut aus der Basis mischen sich im Herzen

\rightarrow d.h. $p_{O_2\text{-arteriell}}$ abhängig vom V-P-Quotient

Hypoxische Vasokonstriktion

Hypoxische Vasokonstriktion ist ein pulmonaler Schutzmechanismus zur Abmilderung eines gestörten V / P – Quotienten

→ Ziel ist ein konstanter p_{O_2} -arteriell

Im Gegensatz zu anderen Arterien reagieren die pulmonalen Arterien bei Hypoxie mit einer Vasokonstriktion (sonst Vasodilatation)

d.h.: Schlecht ventilerte Anteile haben geringere Durchblutung, d.h. die Durchblutung verschiebt sich hin zu den gut ventilerten Anteilen um einen normalen V/P -Quotienten zu erreichen

Transport von O_2 und CO_2

Transport über große Strecken mittels Blut

Träger ist das Hämoglobin in den Erythrozyten

Im Durchschnitt wird $\frac{1}{4}$ des O_2 im Gewebe abgegeben, aber regional große Unterschiede

pH, p_{CO_2} , Temperatur und 2,3-Bisphosphoglycerat modulieren die Affinität von Hämoglobin für O_2

Für das Kohlenstoffdioxid gibt es mehrere Transportwege, hauptsächlich die Umwandlung zu HCO_3^- im Blut

Transport II

Einfachster Weg = physikalische Lösung

→ **Reicht bei weitem nicht aus**

Gelöstes O_2 würde den Bedarf nur zu 3 % decken

Gelöstes CO_2 würde den Bedarf nur zu 7 % decken

→ **Deswegen Transport mittels Erythrozyten**

Aber:

Physikalische Lösung ist zwingend erforderlich als Transitschritt für O_2 und CO_2 zur Passage aus bzw. in das Gewebe zum Erythrozyten

Bindung an Hämoglobin

Hämoglobin besteht aus 4 Untereinheiten:

Adultes Hämoglobin: 2 α - und 2 β -Ketten

Fetales Hämoglobin: 2 α - und 2 γ -Ketten

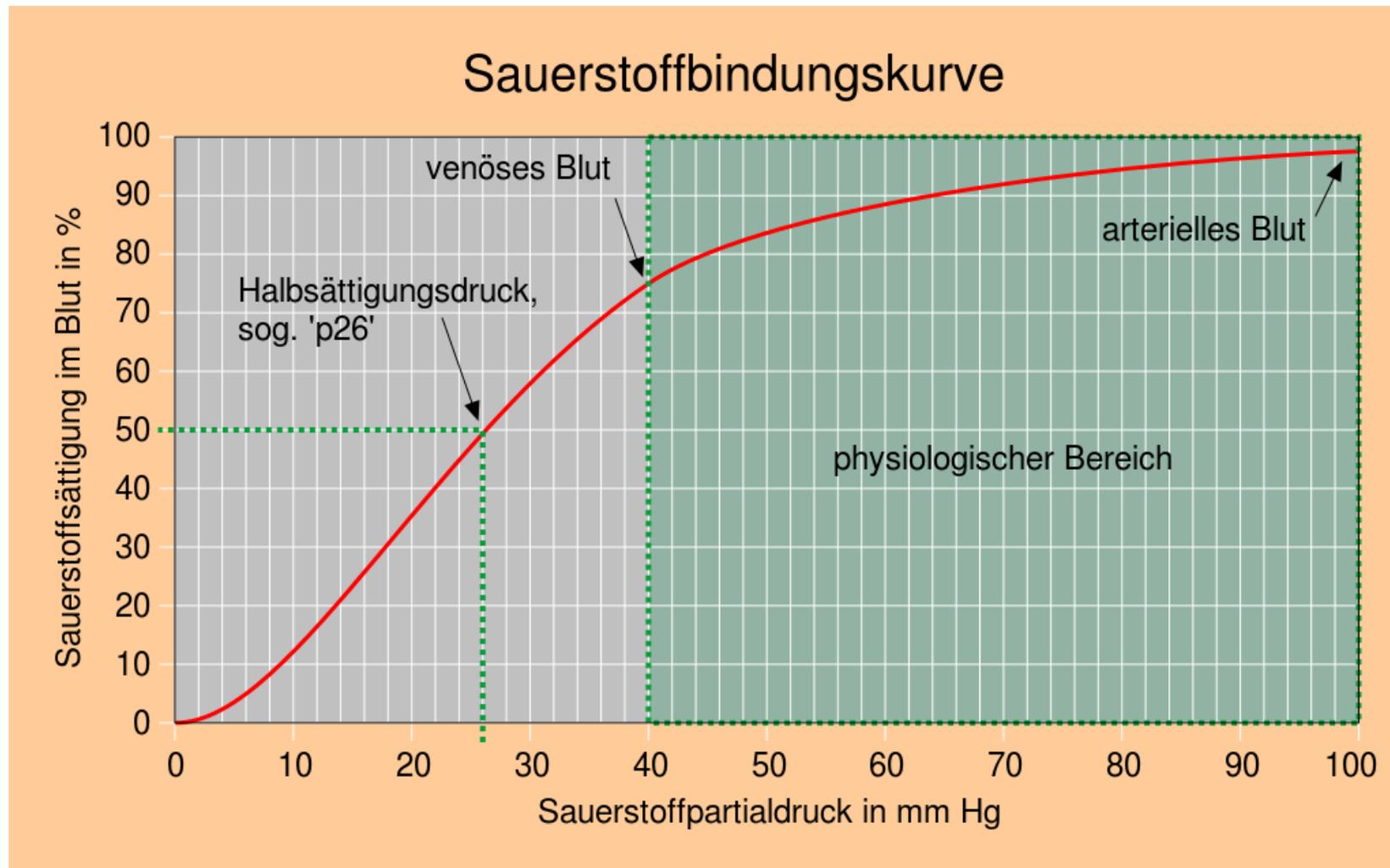
Jede Kette hat einen Porphyrinring mit einem Fe^{2+} in der Mitte und ist für die O_2 -Bindung notwendig

Met-Hämoglobin enthält ein Fe^{3+} und ist nicht geeignet für die Sauerstoffbindung

Jede Kette kann ein O_2 -Molekül binden \rightarrow Ein Hämoglobin fasst 4 O_2 -Moleküle

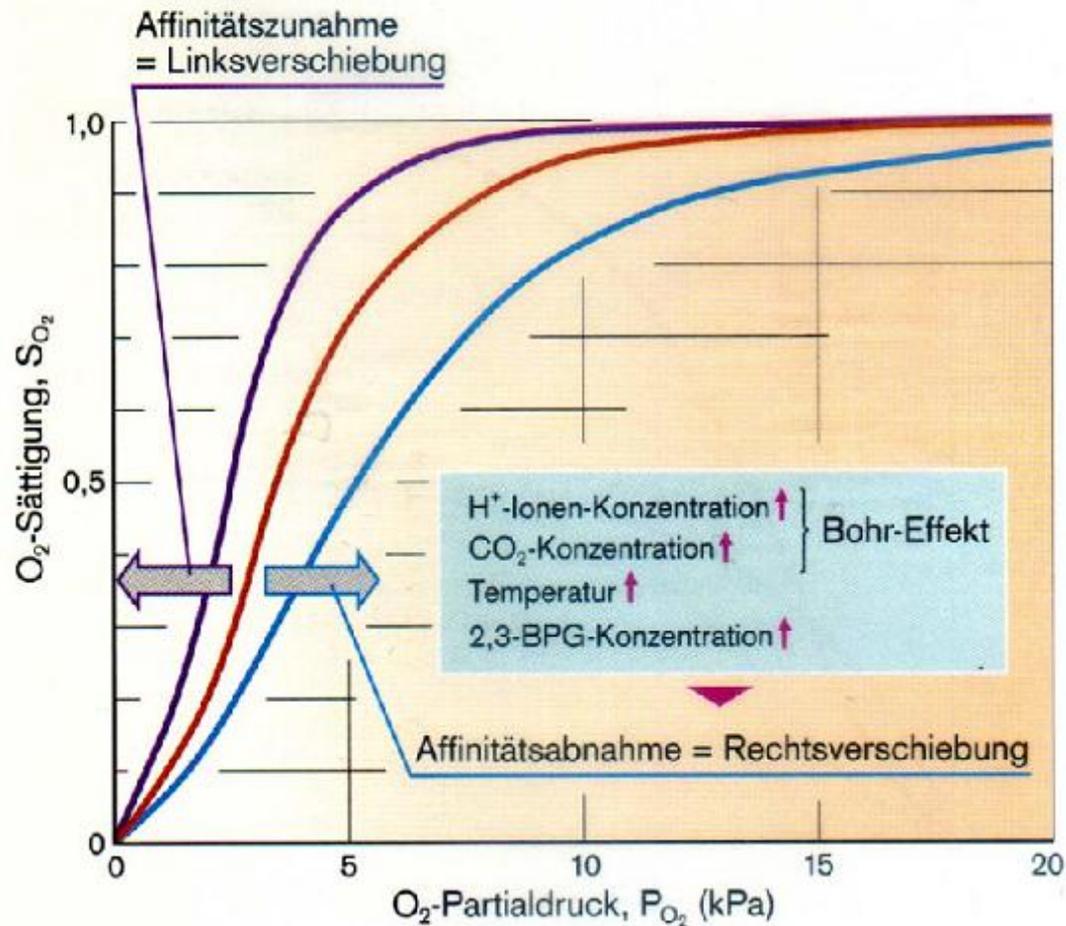
Bindung ist allosterisch, d.h. die Bindung des ersten O_2 -Moleküls ist am aufwendigsten, je mehr Moleküle gebunden desto einfacher ist die Bindung eines weiteren O_2 -Moleküls.

Sauerstoffbindungskurve



Sauerstoffbindungskurve II

Einflüsse auf die O₂ Affinität



Konsequenzen

$p_{O_2}\text{-Pulmonalis} = 40 \text{ mmHg} \rightarrow 75 \% \text{ Sättigung des Hämoglobins}$

Wenn p_{O_2} leicht ansteigt erfolgt rasche Sättigungszunahme

Bei $p_{O_2}\text{-Pulmonalis} = 60 \text{ mmHg}$ ca. 90 % Sättigung

→ Weitere Zunahme des $p_{O_2}\text{-Pulmonalis}$ hat nur noch geringe Auswirkung

→ Sicherheitsfaktor:

Größere p_{O_2} -Abnahme wird besser toleriert auf Grund des flachen Kurvenverlaufs ab $p_{O_2} = 60 \text{ mmHg}$

Bei niedrigen p_{O_2} -Werten sorgt eine geringe Zunahme für einen raschen Anstieg der Sättigung (Vor allem wichtig bei körperlicher Belastung wo rasch viel O_2 transportiert werden muss)

Bohr-Effekt

Peripherie:

Rechtsverschiebung der O₂-Bindungskurve

→ pH ↓, pCO₂ ↑

d.h. bei gleichem pO₂ erleichterte O₂-Abgabe

Lunge:

Linksverschiebung der O₂-Bindungskurve

→ pH ↑, pCO₂ ↓

d.h. bessere Affinität des Hämoglobin zu O₂

→ erleichterte O₂-Aufnahme

Sauerstoffverbrauch im Gewebe

Erniedrigter p_{O_2} in der Peripherie → Konzentrationsgefälle entlang der Kapillaren

Je weiter eine Zelle von einer Kapillare entfernt desto geringer das Gefälle

Faustregel: 1 μm Abstand = - 1 mmHg p_{O_2}

→ 2 Kapillaren sind nie weiter als 50 μm von einander entfernt um ein adäquates Gefälle aufrecht zu erhalten (max – 25 mmHg p_{O_2})

O_2 -Ausschöpfung variiert stark in Abhängigkeit vom Gewebe (Herzmuskel 60 % bereits in Ruhe) kritischer p_{O_2} intrazellulär ab 1 mmHg

Myoglobin

Zusätzlicher O₂-Speicher der Muskelzellen mit sehr hoher Affinität zu O₂

Keine große Speicherkapazität da nur 1 Kette (Hämoglobin 4 Ketten)

Im Gegensatz zum Hämoglobin hyperbolische O₂-Bindungskurve

d.h.

Erst bei einem deutlichen Abfall des intrazellulären p_{O₂} erfolgt O₂-Abgabe

CO₂-Transport

Physikalisch gelöst ca 7 %

HCO₃⁻ ca 70 %

Hämoglobingebunden ca 20 % (reversible, p_{CO₂} abhängige Bindung an Aminotermini)

CO₂-Übertritt aus dem Gewebe ins Blut, Diffusion in Erythrozyt

→ nachfolgende Reaktion im Erythrozyt, Katalysator ist die Carboanhydrase



HCO₃⁻ wird über den Cl⁻ / HCO₃⁻ -Antiporter aus dem Erythrozyt transportiert

Eine Überladung des Erythrozyten durch Cl⁻ wird über einen 2. Cl⁻ -Kanal ermöglicht

Verbleibendes H⁺ wird durch Hämoglobin abgepuffert

Haldane-Effekt

Gegenseitige, qualitative Beeinflussung des O₂- und CO₂-Transports

Beruh auf Oxygenierungs-abhängigen Puffereigenschaften des Hämoglobins

O₂-beladenes Hämoglobin kann Protonen schlechter abpuffern

→ vermehrte Reaktion mit HCO₃⁻ zu CO₂

→ Erschwert die Anlagerung von CO₂ an die Aminotermini

d.h.

Oxygenierung des Erythrozyten führt zu einer verbesserten CO₂-Abgabe

Umgekehrte Verhältnisse im Gewebe → desoxygeniertes Hämoglobin kann besser Protonen abpuffern und mit CO₂ besser eine Verbindung eingehen

d.h.

O₂-Abgabe ins Gewebe fördert den CO₂-Abtransport zur Lunge

Atemsteuerung

Die Vorgänge bei der Ein- und Ausatmung unterliegen einer den Körperbedürfnissen angepassten zentralen Steuerung.

Diese wird über das Atemzentrum im verlängerten Rückenmark (Medulla oblongata) gesteuert.

Hier laufen aus dem ganzen Körper Steuerimpulse zusammen und geben Auskunft über den aktuellen Atem- und Stoffwechsellagezustand sowie O₂-Bedarf.

Je nach Stoffwechsellage wird hier die Atmung angepasst.

Atmungsregulation

Periphere Chemosensoren

Jede Zelle kann auf Veränderungen reagieren und die Atmung über den hypoxieinduzierten Faktor (HIF) beeinflussen

Glomerula aortica / carotica

winzige Organe, Durchblutung bezogen auf 1 g Gewicht 40 x höher als im Gehirn

bedingt durch gute Durchblutung stets quasi konstanter intrazellulärer p_{O_2} , p_{CO_2} und pH

- Schnelle Reaktion (innerhalb weniger Sekunden) auf Veränderungen dieser Parameter
- Je stärker die Hypoxie desto heftiger die Reaktion
- Bereits in Ruhe scharf geschaltete Kontroll-Organ

Atmungsregulation II

Zentrale Chemosensoren

In der Medulla oblongata (3 Bereiche) + verschiedene Hirnstammneurone (z.B. Raphe-Kerne)

Reaktion auf pH- und p_{CO_2} -Veränderungen

Blut / Hirnschranke ist besser durchlässig für CO_2 als für H^+

→ p_{CO_2} -Veränderungen sind stärkster Atmungstrigger

→ p_{CO_2} -Anstieg um 2 mmHg = Verdopplung des Atemminutenvolumen

Störungen des Atemrhythmus

Normale Atmung	=	Eupnoe
Atemstillstand	=	Apnoe
Kußmaul-Atmung	=	hohe Atemfrequenz, große Zugvolumina typisch bei met. Azidose
Cheyne-Stokes	=	Zyklen langsam zunehmender und abnehmender Atmung mit Apnoe- Phasen → Schlaf
Ataxische Atmung	=	unregelmäßige Atmung, lange Apnoe- Pausen → Hirnstammläsionen
Biotsche Atmung	=	pathologische Atmung, kräftige Atmung plötzliche unterschiedlich lange Pausen

Säure-Base-Haushalt

pH-Regulierung ist für die optimale Funktion der Organe und Zellen notwendig

Ziel-pH = 7,4 ± 0,03

Grundprinzip ist die Pufferung, der Abtransport und die Ausscheidung von Säuren und Basen

Wichtigste Puffer $\text{CO}_2 / \text{HCO}_3^-$ und Proteine

Wichtigste Organe sind die Lunge und die Nieren

pH-Wert beim Menschen

physiolog. pH = $7,4 \pm 0,03$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

pH ↓ = H^+ ↑ = Azidose

pH ↑ = H^+ ↓ = Alkalose

Allerdings:

Verschiedene Organe = verschiedene Ziel-pH-Werte

pH im Blut

Da pH überall unterschiedlich, warum Blut-pH als Messgröße

→ Blut ist einfach zu erlangen im Vergleich zu Zellen aus Organen

→ H^+ im Blut abhängig von H^+ im Gewebe

Routinediagnostik: arterielle BGA

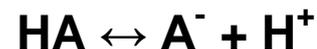
Pufferung

Aufgabe des Puffers:

- Abschwächung der pH-Änderung
d.h. Pufferkapazität hoch wenn trotz viel H^+ nur geringe pH-Änderung

Bronsted-Definition:

- Jedes konjugierte Säure-Base-Paar = Puffer



Säure (HA) kann H^+ abgeben und Base puffern

Base (A^-) kann H^+ anlagern und Säure puffern

Pufferung II

Ob bzw. wie gut ein Säure-Base-Paar als Puffer dient hängt vom Dissoziationsgrad der Säure ab

→ Es hängt also vom Verhältnis Puffersäure zu Pufferbase ab

Massenwirkungsgesetz:



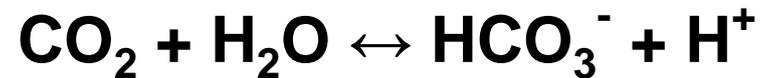
Nach Umformung und Logarithmierung:

$$\text{pH} = \text{pK} + \log [\text{A}^-] / [\text{HA}] \quad (\text{Henderson-Hasselbalch-Gleichung})$$

$$\rightarrow [\text{A}^-] \uparrow = \text{pH} \uparrow$$

$$\rightarrow [\text{HA}] \uparrow = \text{pH} \downarrow$$

$\text{CO}_2 / \text{HCO}_3^-$ -Puffer



Henderson-Hasselbalch-Gleichung:

$$\text{pH} = \text{pK} + \log [\text{HCO}_3^-] / [\text{CO}_2] \quad (\text{pK} = 6,1)$$

Physiologische Konzentrationen:

$$[\text{HCO}_3^-] = 24 \text{ mmol/l}$$

$$[\text{CO}_2] = 1,2 \text{ mmol/l}$$

→ Unter physiologischen Bedingungen: $\text{pH} = 6,1 + 1,3 = 7,4$

$\text{CO}_2 / \text{HCO}_3^-$ -Puffer

Geschlossenes Puffersystem: Zugabe von 3 mmol/l Säure

- Es werden 3 mmol/l Pufferbase verbraucht
- Es entstehen 3 mmol/l Puffersäure die da geschlossenes System nicht entweichen kann
- $\text{pH} = 6,1 + \log 21 \text{ mmol/l} / 4,2 \text{ mmol/l} = 6,8$

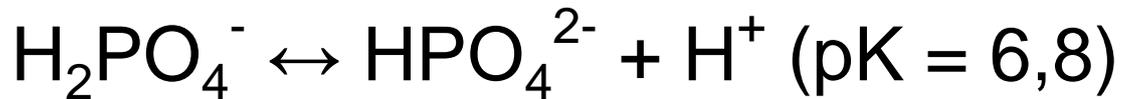
Offenes Puffersystem: Zugabe von 3 mmol/l Säure

- Es werden 3 mmol/l Puffersäure verbraucht
- Es entstehen 3 mmol/l Puffersäure die aber entweichen kann
- $\text{pH} = 6,1 + \log 21 \text{ mmol/l} / 1,2 \text{ mmol/l} = 7,34$
- **Offene Systeme arbeiten effizienter als geschlossene Systeme**

Nichtbicarbonat-Puffer

Gesamtkonzentration im Blut 24 mmol/l

Phosphat-Puffer:



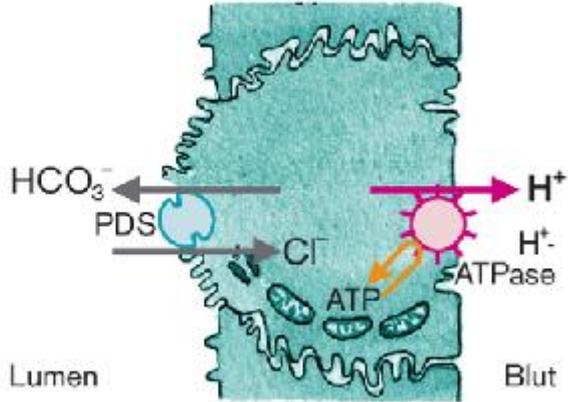
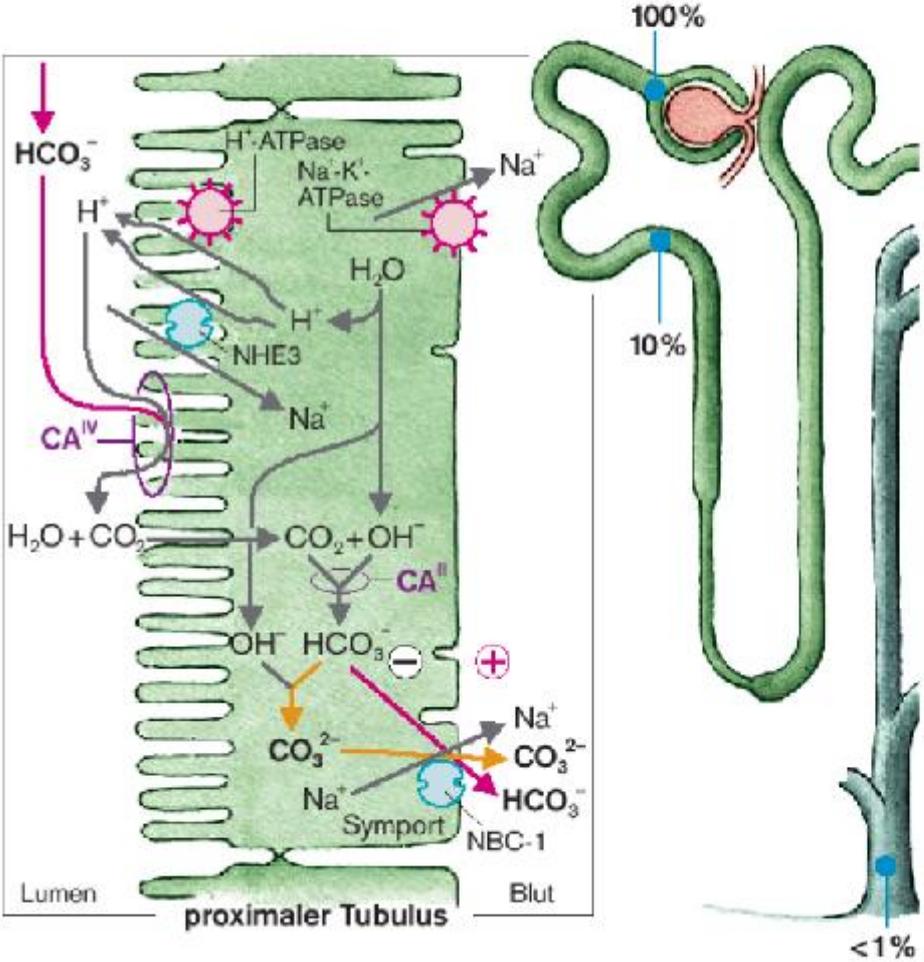
Da pK nahe am physiologische pH eigentlich der ideale Puffer, aber Konzentration im Blut limitiert auf 1 mmol/l, intrazellulär spielt der Phosphat-Puffer eine größere Rolle, sowie bei der Säure-Ausscheidung über die Niere

Proteine:

Entfalten die Puffer-Wirkung über die Seitengruppen der Aminosäuren, hauptsächlich intrazellulär, im Blut macht Hämoglobin den Hauptanteil aus, dessen Pufferkapazität (wie o.g. stark vom Oxygenierungs-Grad abhängt)

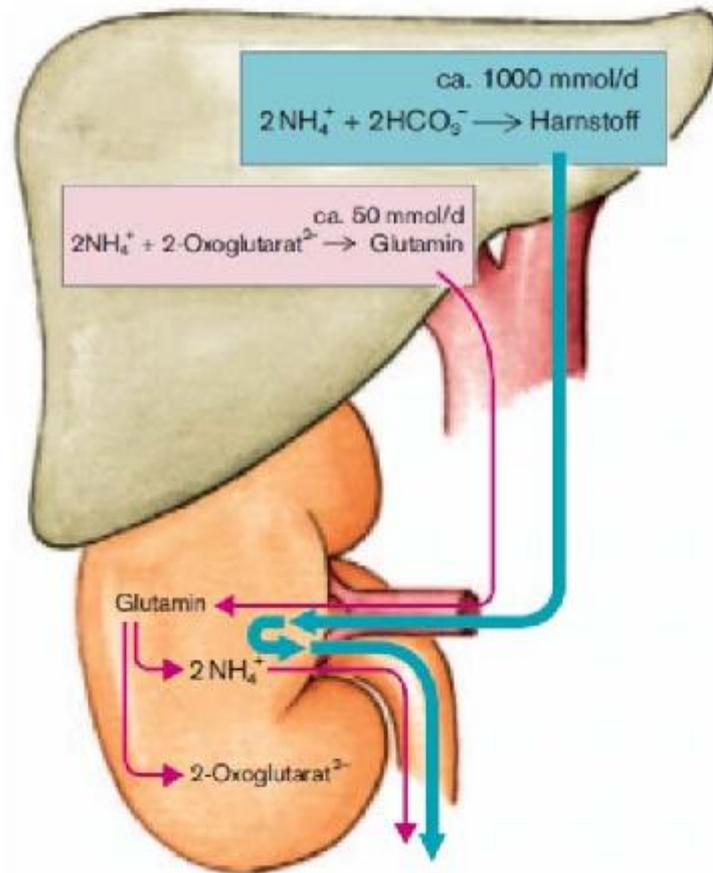
Säure-Basen-Regulation durch die Niere

Bikarbonat Resorption



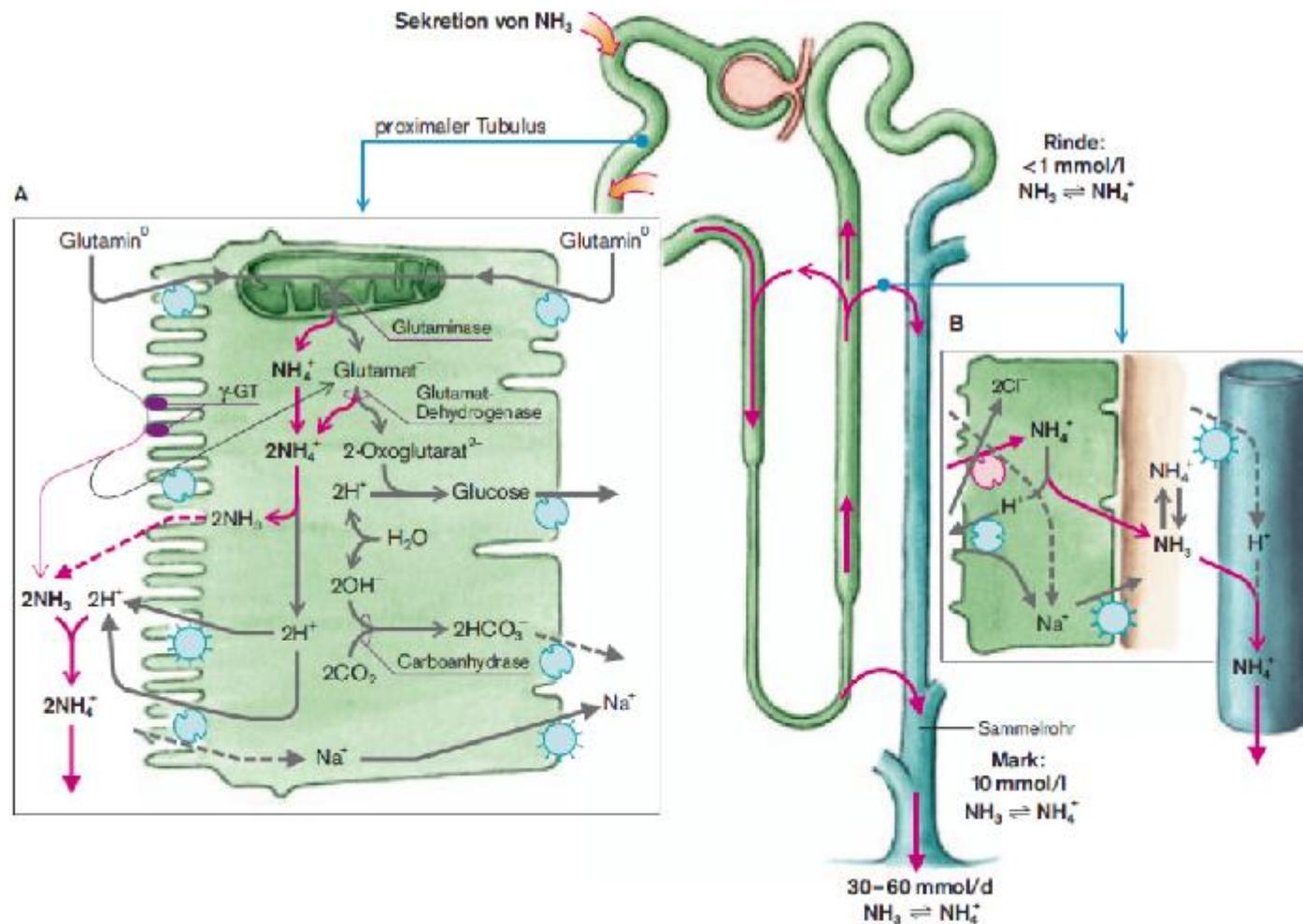
Säure-Basen-Regulation durch die Niere

Ammoniak-Ausscheidung



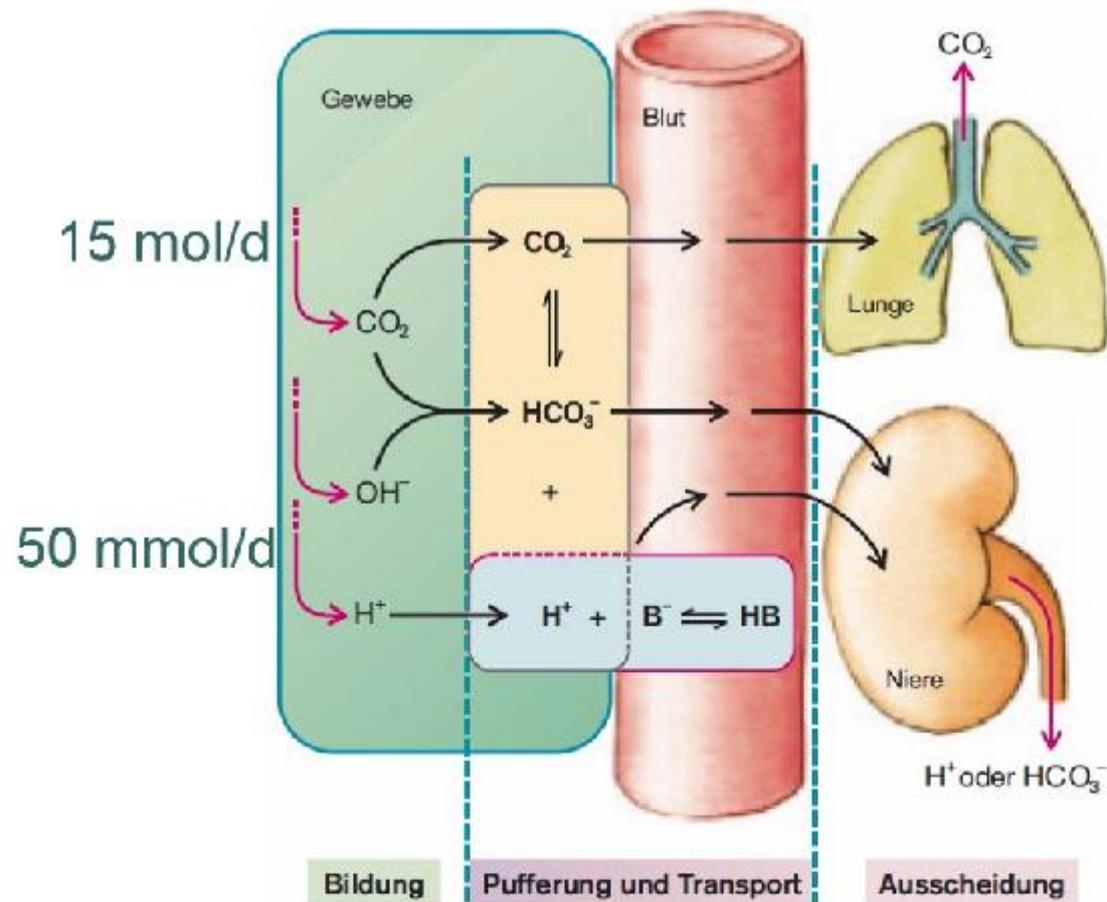
Säure-Basen-Regulation durch die Niere

Ammoniak-Ausscheidung



Das Säure-Basen-Gleichgewicht

Übersicht



Regulation des pH-Wertes im Blut

Normalbereich der Blutplasmawerte

Normalbereich pH 7,37 – 7,43

Azidose: pH < 7,37

Alkalose: pH > 7,43

lebensbedrohlich: pH < 7,0 oder pH > 7,8

Das Säure-Basen-Gleichgewicht

Charakterisierung des Säure-Basen-Status

Da respiratorische und nichtrespiratorische Einflüsse auf das Säure-Basen-Gleichgewicht einwirken, müssen zur Charakterisierung des Säure-Basen-Status des Blutes die Werte von drei Parametern angegeben werden:

- 1. Parameter zur Kennzeichnung der freien H^+ -Konzentration: pH;
- 2. Parameter zur Kennzeichnung respiratorischer Einflüsse: P_{CO_2} ;
- 3. Parameter zur Kennzeichnung nichtrespiratorischer Einflüsse: z.B. die Konzentrationen des aktuellen Bicarbonats, des Standardbicarbonats, der Pufferbasen oder der Basenüberschuss.

Das Säure-Basen-Gleichgewicht

Normwerte

Symbol	P_{aCO_2}		pH _{Pl}	$[HCO_3^-]_{Pl}$	$[HCO_3^-]_{st}$	BE	BB
Einheit	kPa	mmHg	-	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l
normal							
von	4,3	32	7,37	20	21	-3	42
bis	6,0	45	7,45	27	26	+3	54
Mittelwert	5,3	40	7,40	24	24	0	48

CO₂-Partialdruck

Plasma-pH

Plasmabicarbonatkonzentration

Standardbicarbonatkonzentration

Basenabweichung

Pufferbasen

Tabellle aus: P. Schoid: Säure Basen Gleichgewicht. In: Klinko, Pape, Silbernagl, Physiologie, 5. Auflage, Thieme Verlag Stuttgart 2005, S. 320.

Störungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes

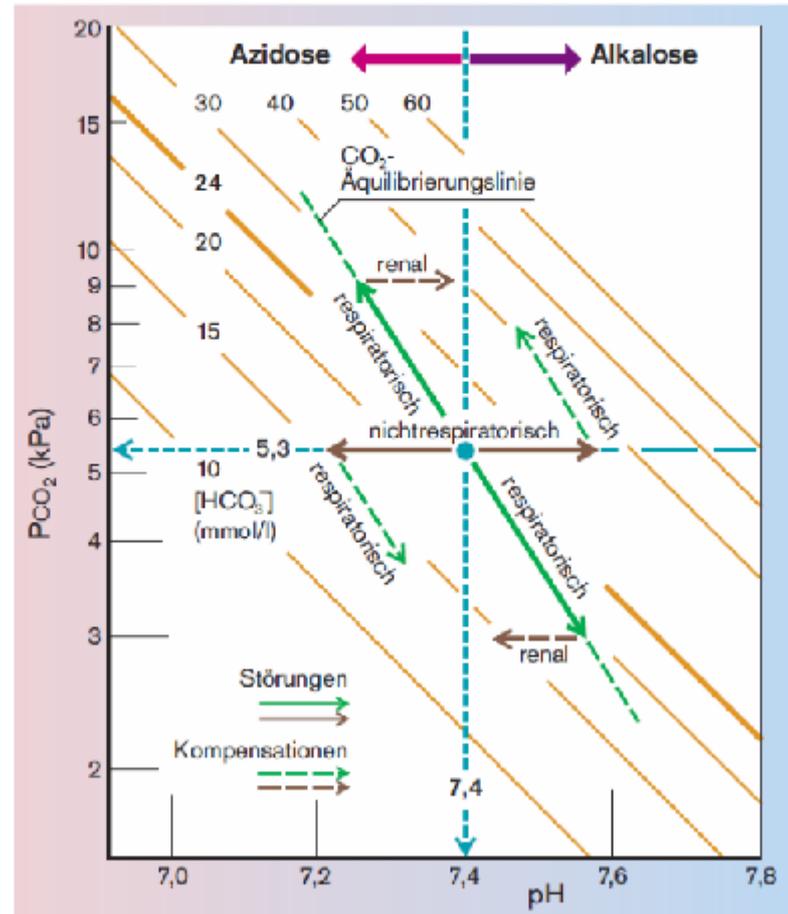


Abb. aus: P. Scheid: Säure Basen Gleichgewicht. In : Klinko, Pape, Silbernagl, Physiologie, 5. Auflage, Thieme Verlag Stuttgart 2005, S. 321.

Störungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes

	Azidose		Alkalose	
	respiratorisch	nicht-respiratorisch	respiratorisch	nicht-respiratorisch
pH	↓	↓	↑	↑
P _{CO₂}	↑	•	↓	•
aktuelle [HCO ₃ ⁻]	↑	↓	↓	↑
BE	•	↓	•	↑
Standard [HCO ₃ ⁻]	•	↓	•	↑

Kontrolle der Atmung

- Hinweise auf eine suffiziente Atmung ergeben Messungen der Lungenvolumina sowie der arteriellen Blutgaswerte. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit der Pulsoxymetrie

Spirometrie:

- Bestimmung von Lungenvolumina und Interpretation
- Einsatz zur Diagnostik, Therapie und Therapiekontrolle bei Störungen der Lungenbelüftung
- Die entscheidenden Größen bei der Spirometrie sind die Vitalkapazität (VC) und die Ein-Sekunden-Kapazität (FEV_1)
 - VC: Maß für maximale Belüftungsfähigkeit, abh. Alter, Gewicht
 - FEV_1 : maximal mobilisierbare Luftmenge in 1 Sekunde, → Auskunft über Atemwegswiderstände

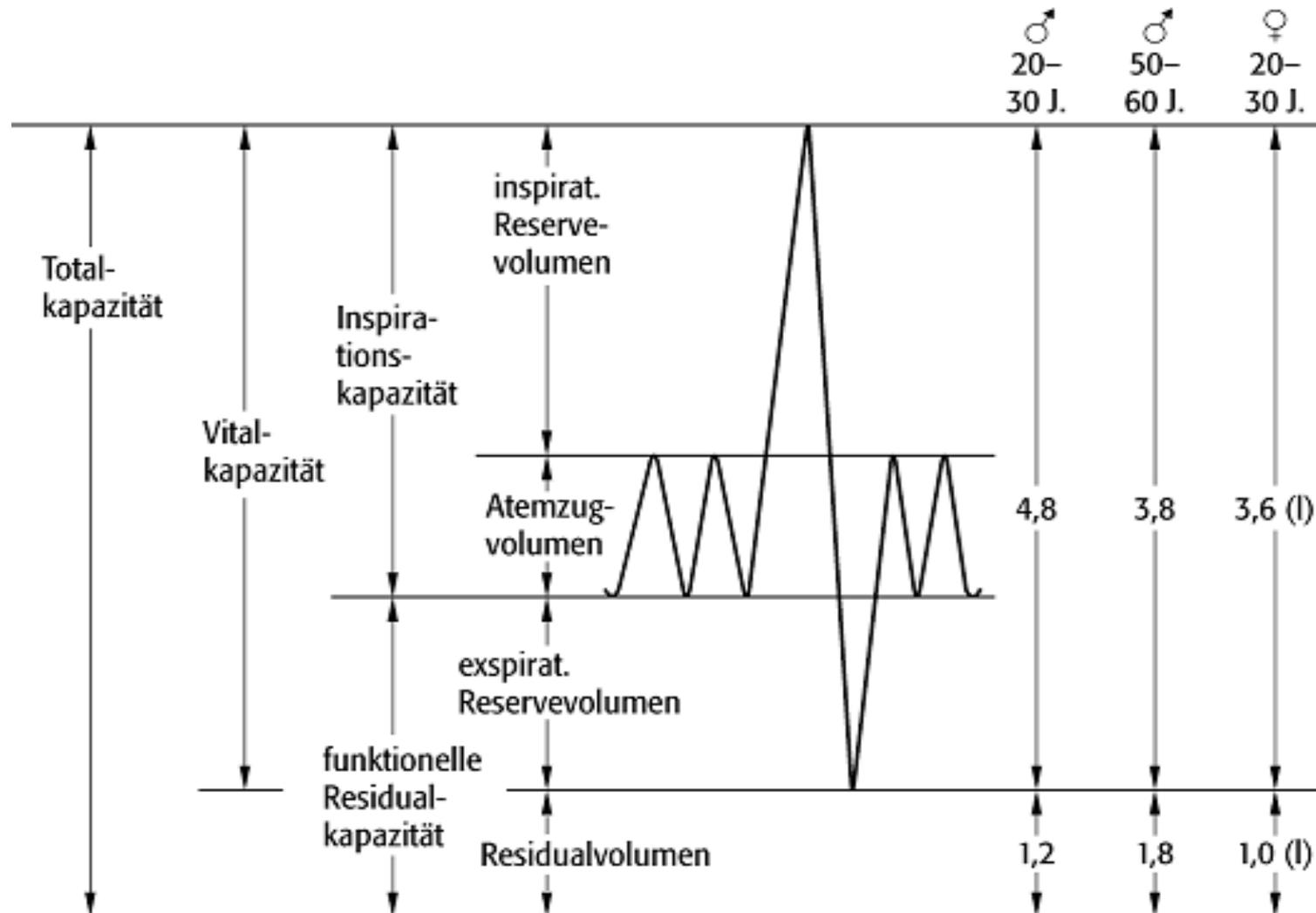
Lungenfunktionsparameter

- TV (Tidalvolumen)
 - AZV (Atemzugvolumen) = Das in Ruhe ein- bzw. ausgeatmete Volumen
- ERV (exspi. Reservevolumen) = Volumen das unter maximaler Anstrengung nach normaler Ausatmung expiriert wird
- IRV (insp. Reservevolumen) = Volumen das unter maximaler Anstrengung zusätzlich inspiriert werden kann
- VK (Vitalkapazität)
 - VC (Vital Capacity) = Summe des maximalen Inspirations- und Expirationsvolumens
- VC_{in} (insp. Vitalkapazität) = Maximales Volumen was nach maximaler Exsp. eingeatmet werden kann
- VC_{ex} (exsp. Vitalkapazität) = Maximales Volumen was nach maximaler Insp. ausgeatmet werden kann

Lungenfunktionsparameter II

- RV (Residual Volumen) = Restvolumen das nach maximaler Exsp. in der Lunge verbleibt
- TK (Totalkapazität)
TLC (total lung capacity) = Summe aus RV und VC
- FVK (Forcierte exspi. VC) = Volumen das nach max. Insp. bei forc. Ausatmung exspiriert werden kann
- FEV₁ = Vol. das nach maximaler Insp. und max. forc. Ausatmung innerhalb 1 s exspiriert wird
- FEV₁ % VC
(Tiffeneau – Test) = Prozentualer Anteil des FEV₁ von V
- PEF (peak Flow) = Maximale exsp. Atemstromstärke
- MEF 75, 50, 25 = Maximale exsp. Atemstromstärke bei 75, 50 bzw. 25 % Lungenfüllung

Lungenvolumina des Erwachsenen



BGA und Pulsoxymetrie

Blutgasanalyse (= BGA)

Bestimmung der arteriellen Partialdrücke für Sauerstoff (pO_2) und Kohlenstoffdioxid (pCO_2). Diese Werte dienen der Beurteilung der Ventilationssituation und sind vor allem in der Intensivmedizin und bei Beatmung (manuel / maschinell) wichtig.

Pulsoxymetrie

Sauerstoff wird mittels Blut ins Gewebe transportiert. Die Transportfähigkeit des Blutes hängt vom Hämoglobingehalt ab deren Verbindung (chemisch) mit Sauerstoff als Sättigung bezeichnet wird. Hier wird nun Licht mit zwei unterschiedlichen Wellenlängen abwechselnd in die Haut eingestrahlt. In Folge der art. Pulsation und der Vol. Änderung im Gewebe wird unterschiedlich viel Licht absorbiert oder reflektiert.

Bei Detektion des passierten Lichtes entsteht so eine unterschiedliche Wellenlänge. Diese wird als elektrische Spannungsdifferenz registriert und dann in %-Sättigung verrechnet.

Atmung und Belastung

	Atem- zug- volumen	Atem- fre- quenz	Atem- minuten- volumen	Herz- schlag- volumen	Herz- fre- quenz	Herz- minuten- volumen
Körper in Ruhe	350 ml	12/min	4 l	60 ml	60/min	3,6 l
normale Tätigkeit	500 ml	16/min	8 l	80 ml	70/min	5,6 l
körperliche Belastung	2000 ml	25/min	50 l	100 ml	140/min	14 l

(c) Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2006

Zusammenfassung

Teilprozesse der Atmung:

Ventilation	Ergebnis von Spontanatmung oder Beatmung mit dem Erfolg einer ausreichenden Belüftung
Distribution	Verteilung der Atemgase in den Luftwegen als Folge der Atemarbeit
Diffusion	Membranpassage der Atemgase aus den Alveolen in das Kapillarsystem
Perfusion	Gastransport mit Hilfe des Blutweges Blutgefäße = Verteilersystem Erythrocyt = Transportmedium

Diagnostik

Nicht-invasiv:

- Anamnese → Beginn, Dauer, Art der Beschwerden
- Auskultation → Abhören der Atemgeräusche
- Perkussion → Abklopfen des Brustkorbes
- Röntgen-Thorax → Orientierung über die Gesamtlunge
- Tomographie → Schichtaufnahmen
- Spirometrie → Messung der Lungenfunktion

Invasiv:

- Bronchoskopie → Spiegelung und Probeentnahme aus den Luftwegen
- Blutgasanalyse → Beurteilung der Atemfunktion durch Messung der Atemgase und Säure-Base-Haushalt

Lungenerkrankungen

Einteilung:

1. Ventilationsstörungen
2. Infektionen
3. Tumore
4. Lungenembolie
5. Pneumothorax

Symptome einer gestörten Atemtätigkeit:

1. Veränderung der Atmung
 - Tachypnoe = schnelle Atmung
 - Bradypnoe = langsame Atmung
 - Dyspnoe = alle Formen von Luftnot

Belüftungsstörungen

1. Obstruktive Störungen (Behinderung der Luftströmung)

Häufig auftretende Erkrankungen mit Erhöhung des Strömungswiderstandes. International als COPD (chronic obstructive pulmonary disease) bezeichnet.

Beispiele: chronisch obstruktive Bronchitis

Asthma bronchiale

Lungenemphysem

2. Restriktive Störungen (Behinderung der Dehnungsfähigkeit)

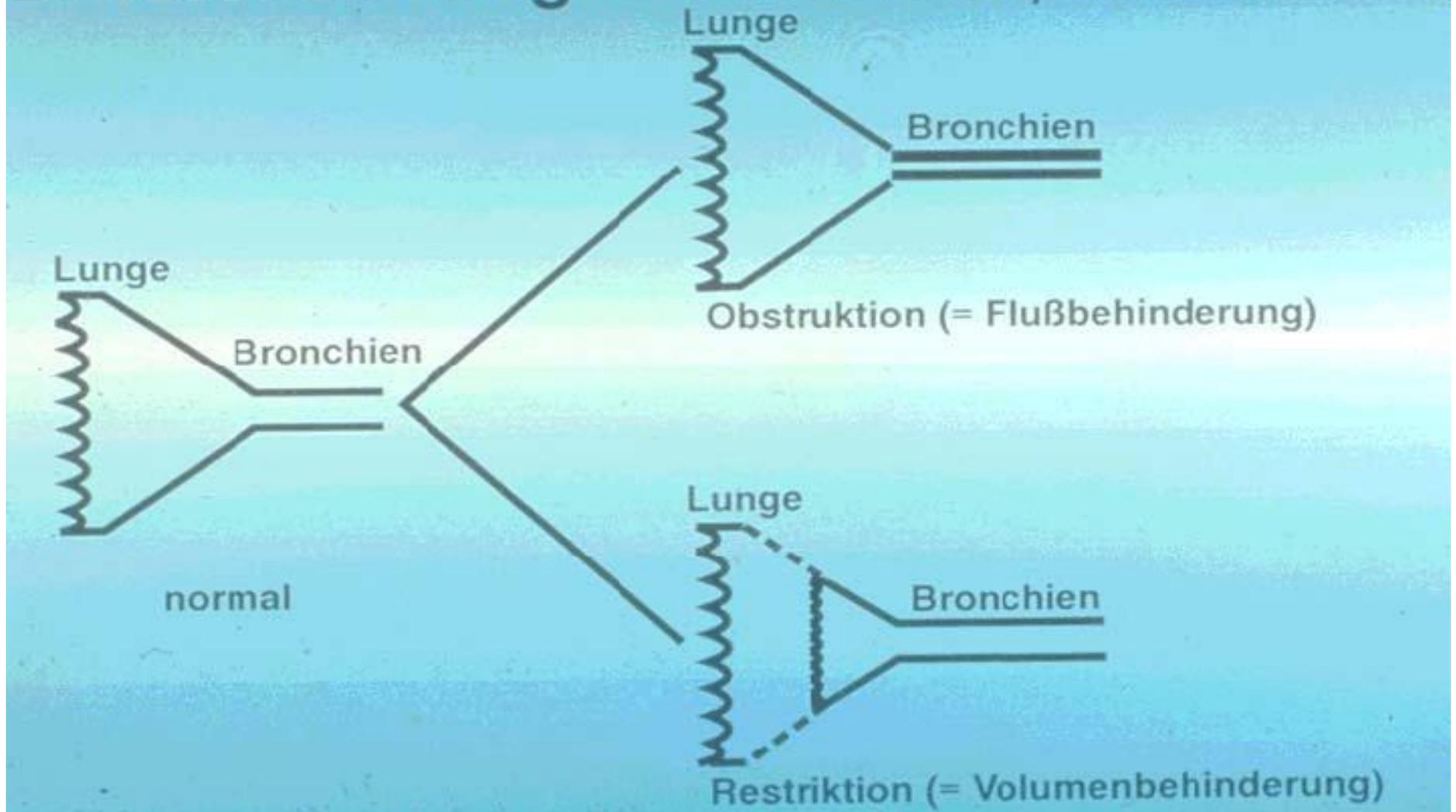
Selten auftretend. Bestimmt durch Verminderung der Lungenbelüftung in Folge von „Fesselung“. Derartige Krankheiten können bis zur Zerstörung des eigentlichen Lungengewebes einhergehen.

Beispiele: Sarkoidose

Pneumokoniose (Asbestose, Silikose)

Ventilationsstörung

Differenzierung Obstruktion/Restriktion

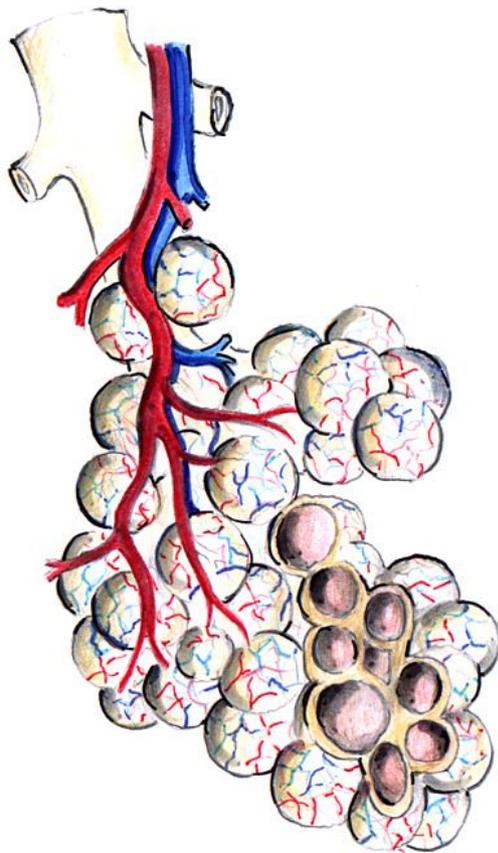


Was ist ein Emphysem

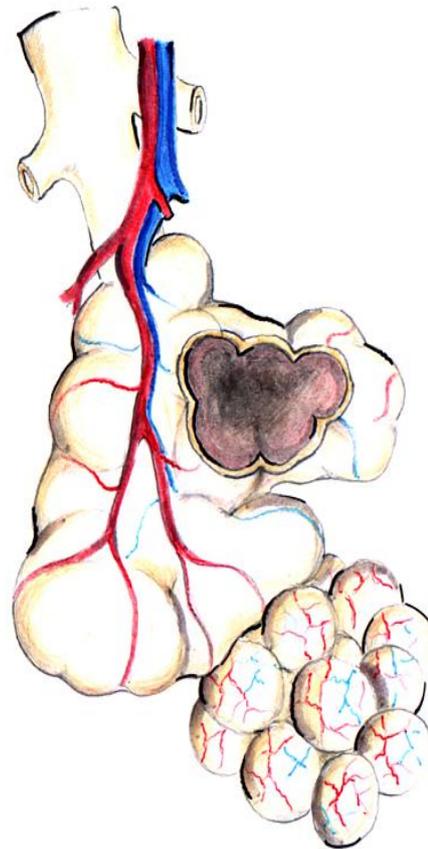
- Lungenemphysem = Zerstörung des Lungengewebes
- Normales Lungengewebe besteht aus vielen Millionen einzelner Alveolen
- Beim Emphysem werden die Wände der Alveolen irreversibel zerstört
- Somit entstehen große, schlaffe Lungenblasen

Veränderungen bei COPD - Lungenemphysem

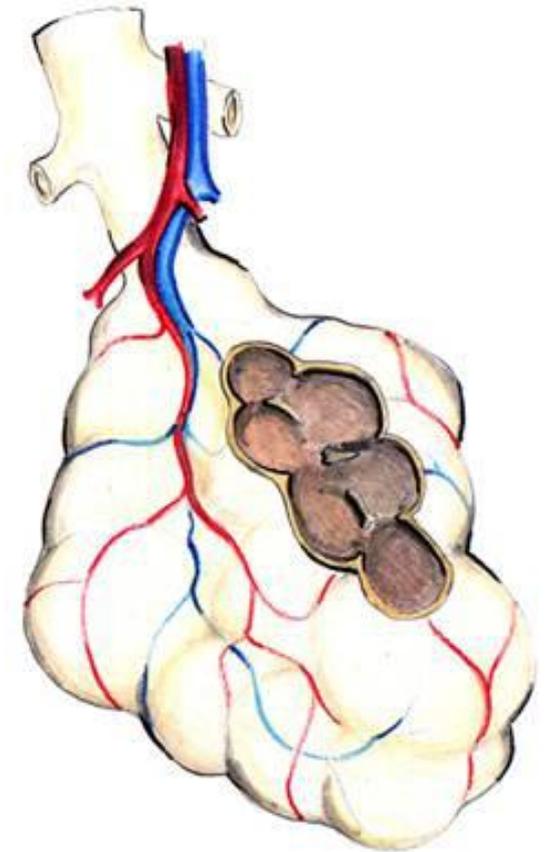
• Gesund



Emphysem I



Emphysem II



Krankheiten der Lunge

Asthma bronchiale:

Bedeutung: Respiratorischer Notstand, Sterblichkeitsrate von 1 % im Akutfall

Definition: Anfallsweise auftretende, meist reversible Verengung der Atemwege

Ursachen: Entzündung, Allergien

Klinik: Anfallsweise auftretende Atemnot

Folgen: kompensatorische Pulsbeschleunigung, ungenügende Sauerstoff-Sättigung und Bewußtseins-Eintrübung

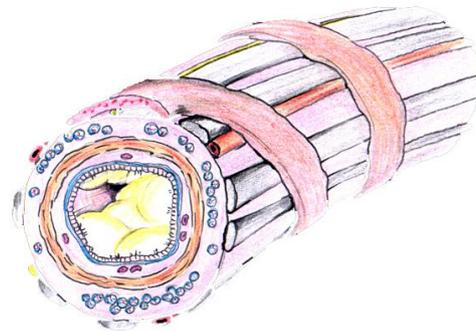
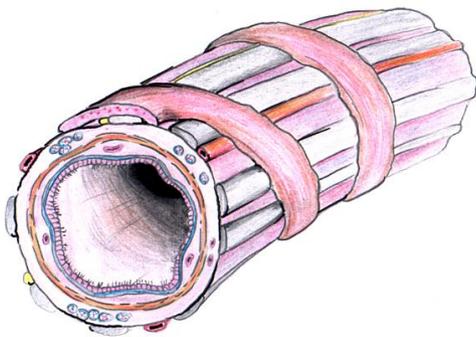
Therapie: Unterbrechen der allergieauslösenden Substanzen
Erweiterung der Bronchien (Dosieraerosole, Kortison)

Atemwegswiderstand

Entscheidende Stellgröße für den Atemwegswiderstand R ist der Durchmesser der luftleitenden Wege.

→ Hagen-Poiseuille-Gesetz:

- Hauptaussage:
 - R ist umgekehrt proportional zur vierten Potenz des Radius
 - Am Beispiel der Lunge: Halbiert sich der Radius des Bronchus nimmt der Atemwegswiderstand um das 16-fache zu



Krankheiten der Lunge

Lungenemphysem:

Bedeutung: Folge einer chronischen Schädigung, Gekennzeichnet durch Schwund der Alveolarwände und damit auch der Gefäße

Definition: Vermehrter Luftgehalt der Lunge (Überblähung), einhergehend mit Verlust der Elastizität

Ursachen: Tabakkonsum
Asthma im Spätstadium
chronische Entzündungen

Folgen: Verlust von Atemfläche (→ Ateminsuffizienz)
Belastung des Herzens (→ Cor pulmonale, Rechtsherzversagen)

Therapie: Vermeidung von unnötiger Belastung der Atemwege (Rauch, Infekte)

Entzündungen der Lunge

1. Bronchitis:

Bedeutung: Auf Grund inhalativer Noxen sind viele betroffen.

Einteilung: akute Bronchitis
chronische Bronchitis

Ursachen: Akut, meist Folge von Erkältungskrankheiten
chronisch, meist Folge ständiger Reize (Rauch, Staub, Allergene)

Klinik: Akut, reichlich Schleimproduktion
chronisch, Schleimproduktion mit dauerhaftem Auswurf

Verlauf: Akut, heilt meist innerhalb von 2 – 3 Wochen spontan aus
chronisch, heilt meist nicht aus

Entzündungen der Lunge II

2. Pneumonie

- Bedeutung:** Zählen zu den häufigsten zum Tode führenden Infektionskrankheiten
350.000 Erkrankungen in Deutschland in etwa pro Jahr
- Einteilung:** Richtet sich entweder nach der auslösenden Ursache oder nach patho-
anatomischen Gesichtspunkten
- Ursache:** Bakterien, Viren, Pilze
- Folgen:** Umverteilung und Einlagerung von Flüssigkeit
Verdichtung im Gewebe (= Verschattung im Röntgenbild)
- Klinik:** Fieber, Abgeschlagenheit, Husten
- Diagnose:** Röntgenbild, Laborchemischer Nachweis
- Therapie:** Antibiotika, Bettruhe, Fieberkontrolle

Entzündungen der Lunge III

3. Tuberkulose:

Bedeutung: Kann alle Organsysteme befallen. Weltweit tragen ca. 2 Milliarden Menschen den Erreger, 1/3 stirbt daran. Meldepflichtig

Ursache: Bakterium (*Mycobacterium tuberculosis*)

Übertragung durch Tröpfcheninfektion

Klinik: häufig ohne Symptome aber auch als

schwere Form mit Fieber, Nachtschweiß, Husten und Auswurf

Diagnose: Röntgenbild

Keimnachweis

Therapie: Antibiotika

Bösartige Erkrankungen der Lunge

Bronchialkarzinom:

Bedeutung: Ausgehend vom Bronchialepithel, verantwortlich für 25 % aller Krebstodesfälle, 40.000 Neuerkrankungen pro Jahr und 35.000 Todesfälle
Betroffen vor allem Männer ab dem 60. Lebensjahr

Ursachen: Tabakrauch 85 %

Karzinogene (Asbest, Nickel, Radon, Ruß) 8 %

Umweltverschmutzung 5 %

Andere (Röntgenstrahlen, Genetische Prädisposition...) 2 %

Klinik: Relativ unspezifisch, Auftreten von Symptomen weist auf fortgeschrit. Stadium hin (Luftnot, Fieber, Nachtschweiß, Gewichtsverlust)

Diagnose: Röntgenbild, Bronchoskopie, Gewebeprobe

Bösartige Erkrankungen II

- Einteilung: kleinzelliges Karzinom
nicht-kleinzelliges Karzinom
Stadien: TNM-Klassifikation
- Therapie: Chemotherapie, Bestrahlung
Operation angezeigt bei nicht-kleinzelligem Karzinom, bei Kleinzeller nur im Frühstadium
- Prognose: kumulatives Überleben für alle Tumore (therapieunabhängig)
5-Jahres-Überleben → 8 %

Spezielle Erkrankung

Lungenembolie:

Definition: Vollständiger oder teilweiser Verschluss von Lungengefäßen durch Gerinselfoder Luft

Bedeutung: Pro Jahr ca 20.000 Tote in Deutschland

Ursache: meist Venenthrombose durch Immobilisation

Folgen: Verlegung großer Lungegefäße → Massiver Erhöhter Widerstand
→ Rechtsherzversagen

Klinik: Atemnot und Tachykardie

Therapie: Medikamente, Blutverdünnung, Auflösung des Gerinselfs
Operative Gerinself-Entfernung

Spezielle Erkrankungen II

Pneumothorax:

Definition: Eindringen von Luft in den Raum zwischen Lunge und Brustkorb

Ursache: Traumatisch

Spontan

Folgen: ungenügende Ausdehnung der Lunge bei der Atmung

Klinik: Luftnot, Schmerzen

Diagnose: Röntgenbild, Auskultation

Therapie: Einlage einer Thoraxdrainage

Zusammenfassung

Zu den vorgeschalteten Atemwegen zählen Nase, Rachen, Kehlkopf und Luftröhre, die als luftführende Strukturen die Atemgase filtern, anwärmen, anfeuchten und reinigen

Ein Verteilersystem (große und kleine Bronchien) führt die Atemluft bis in die Endverzweigungen, die als Lungenbläschen (Alveolen) den Gasaustausch ermöglichen

Die Lunge besteht aus einer großen Anzahl von Alveolen, Bronchien und den Lungenkapillaren. Nach außen sichtbar ist ein symmetrischer Aufbau mit zwei Flügeln und jeweils 10 Segmenten

Kontinuierliche Sauerstoffzufuhr ist zur Aufrechterhaltung aller Körperfunktionen nötig

Kohlensäure stellt als Stoffwechselendprodukt eine Gefahr für den Körper da und muss eliminiert werden

Neben Zu- und Abfuhr von Atemgasen (Transportsystem) besteht die Hauptaufgabe der Lunge im Gasaustausch. Hierzu steht das Lungenparenchym mit seiner großen Atemoberfläche zur Verfügung

Zum Lungenparenchym gehören Alveolen, Kapillaren sowie bestimmte Zellverbände (Schleimbildung, Surfactant-Bildung und Abwehrsystem)

Zusammenfassung II

Entscheidender Ort für den Gasaustausch stellen die Grenzen der Alveolarwand sowie der Kapillarwand dar. Diese Grenzen müssen im Rahmen der Diffusion überwunden werden. Im Normalfall kein Problem, aber bei gewissen Krankheiten kann diese Strecke vergrößert sein

Der Transport der Atemgase bis in die Alveolen wird als „Äußere Atmung“ bezeichnet

Der Austausch der Atemgase mit sämtlichen Zellen wird als „Innere Atmung“ bezeichnet

Jede Unterbrechung der art. Blutzufuhr führt zu Sauerstoffmangel im Gewebe und wird als Ischämie bezeichnet

Gesamtheit der Atemvorgänge hat folgende Teilschritte:

1. Ventilation mit Erzielung des Atemminutenvolumens als Produkt des Atemzugvolumens und der Atemfrequenz
2. Distribution mit Verteilung der Atemgase in die Alveolen
3. Diffusion als Vorgang des Gasaustausches (Membranpassage)
4. Perfusion mit Verteilung der Atemgase auf dem Blutweg