Atmung II

Atemgastransport im Blut
Atemregulation

Lernziele Atemphysiologie II

Die Studierenden sollen fähig sein:

-Faktoren zu beschreiben, die die O_2-Bindung an das und die O_2-Freisetzung aus dem Hämoglobin in den Lungenkapillaren bzw. den Kapillaren des Körperkreislaufs regulieren.

-den Transport des durch Zellatmung gebildeten CO_2 vom Gewebe in die Lungenkapillaren zu beschreiben.

-die Atemregulation über periphere und zentrale Chemorezeptoren zu erklären und die Atem-“Rhythmogenese“ im zentralen „Atemzentrum“ zu skizzieren.

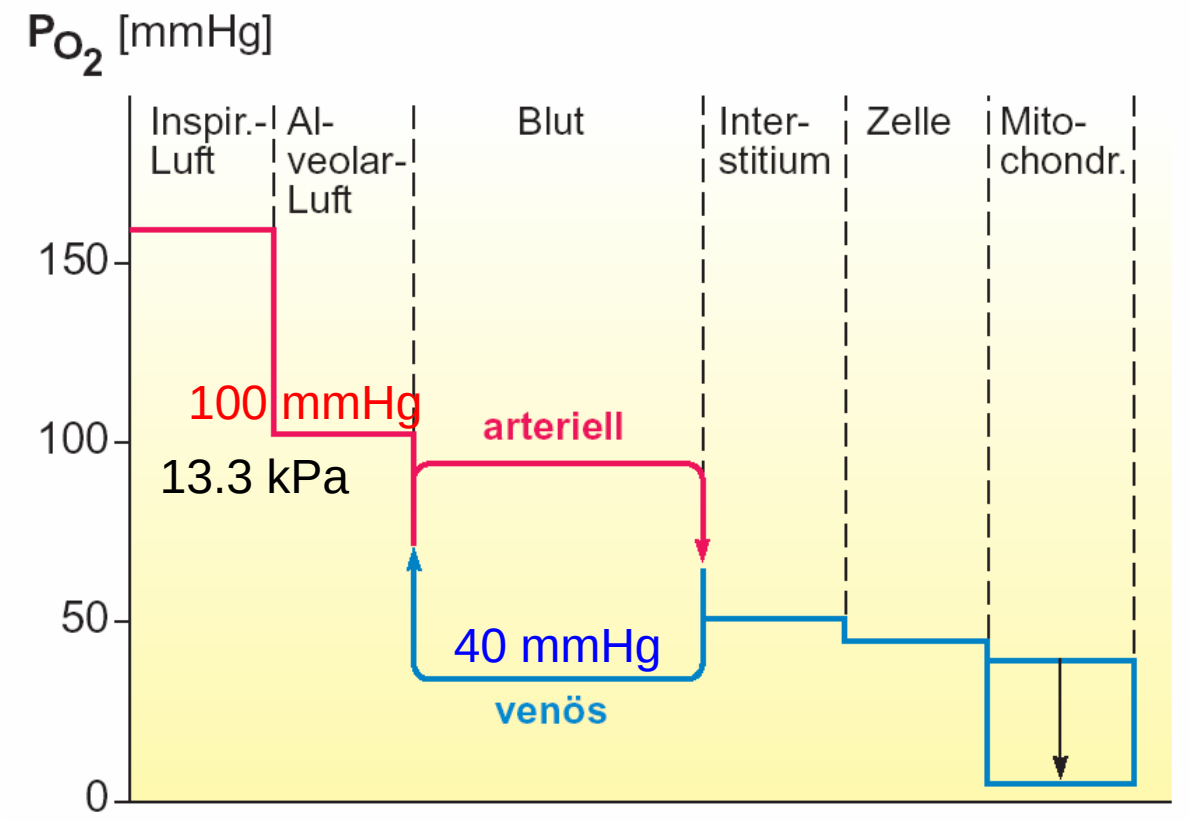
-Atemreflexe zu benennen und deren Funktionen zu erläutern

Atemgastransport im Blut

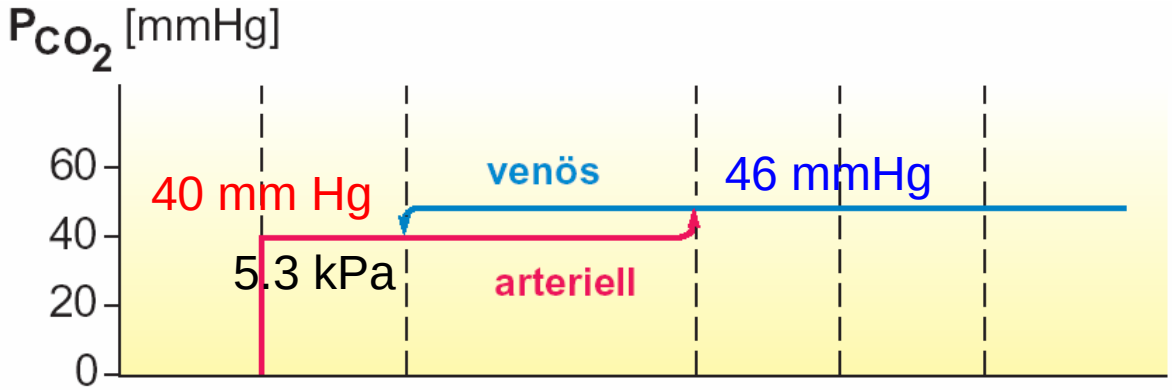
Hämoglobin
Tauchen
Atmung in großen Höhen
Erythropoese und Doping
CO_2-Transport

Atemregulation

Gas-Partialdrücke



Gesättigter Wasserdampf
47 mmHg



Quelle: Deetjen/Speckmann,
Physiologie, Urban-Fischer-Verlag, 1999

Gaspartialdrücke im Blut

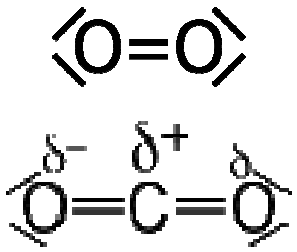
Physikalische Löslichkeit von O_2 reicht nicht aus, um den O_2-Bedarf zu decken

Löslichkeitkoeffizient α

$C_G = P_G \times \alpha_G$

αO_2 = 0,024 ml/ml (STPD)

αCO_2 = 0,57 ml/ml (STPD)



αO_2 = 3 ml/l (arteriellen P_{O_2})

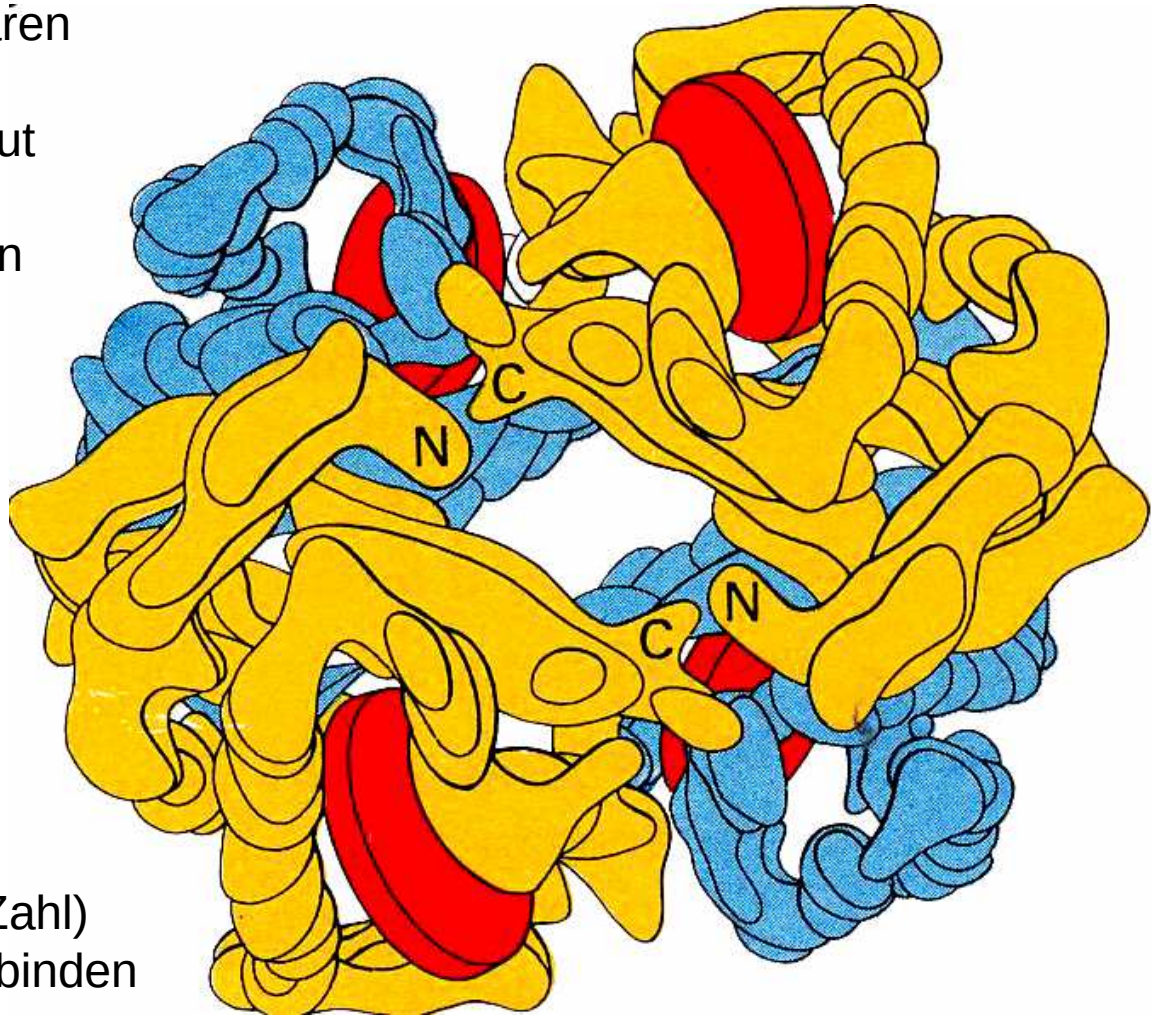
αCO_2 = 30 ml/l (arteriellen P_{CO_2})

300 ml O_2-Verbrauch / min $\leftrightarrow$ 15 ml / 5 l Herzminutenvolumen
physikalisch gelöstes O_2

Hämoglobin

Hämoglobin (Hb)

- α2/β2 Tetramer, 64,5 kDa
- 4 Hämgruppen
- Oxygenation in den Lungenkapillaren
- Deoxygenation im Gewebe
- 98 % des O_2 im arterialisiertem Blut an Hb gebunden
- Pufferung des pHs im Erythrozyten
- CO_2-Transport

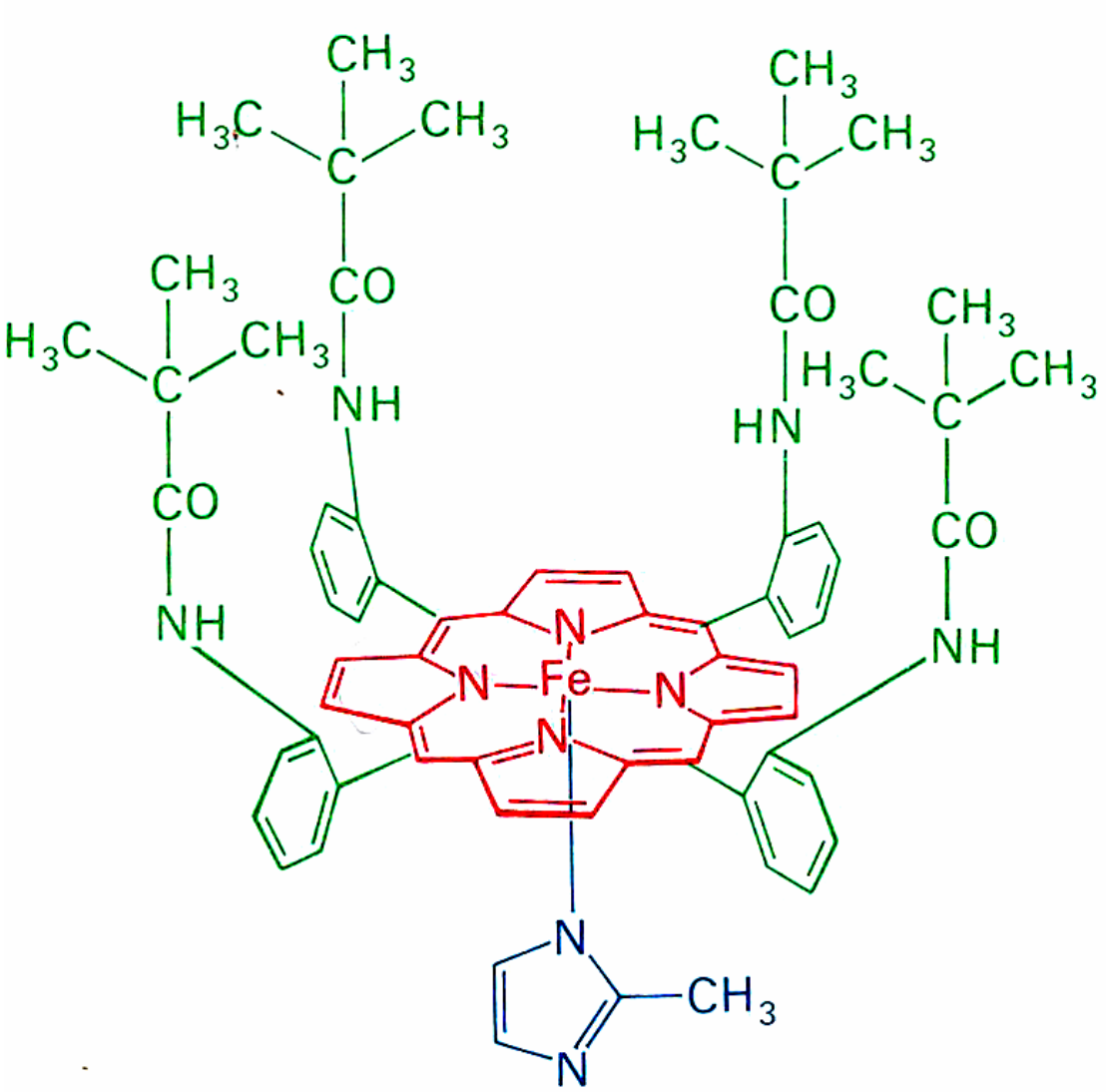


O_2-Kapazität des Blutes

- 1g Hb bindet 1,34 ml O_2 (Hüfner-Zahl)
- 150 g Hb / l können 214 ml O_2 / l binden

Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

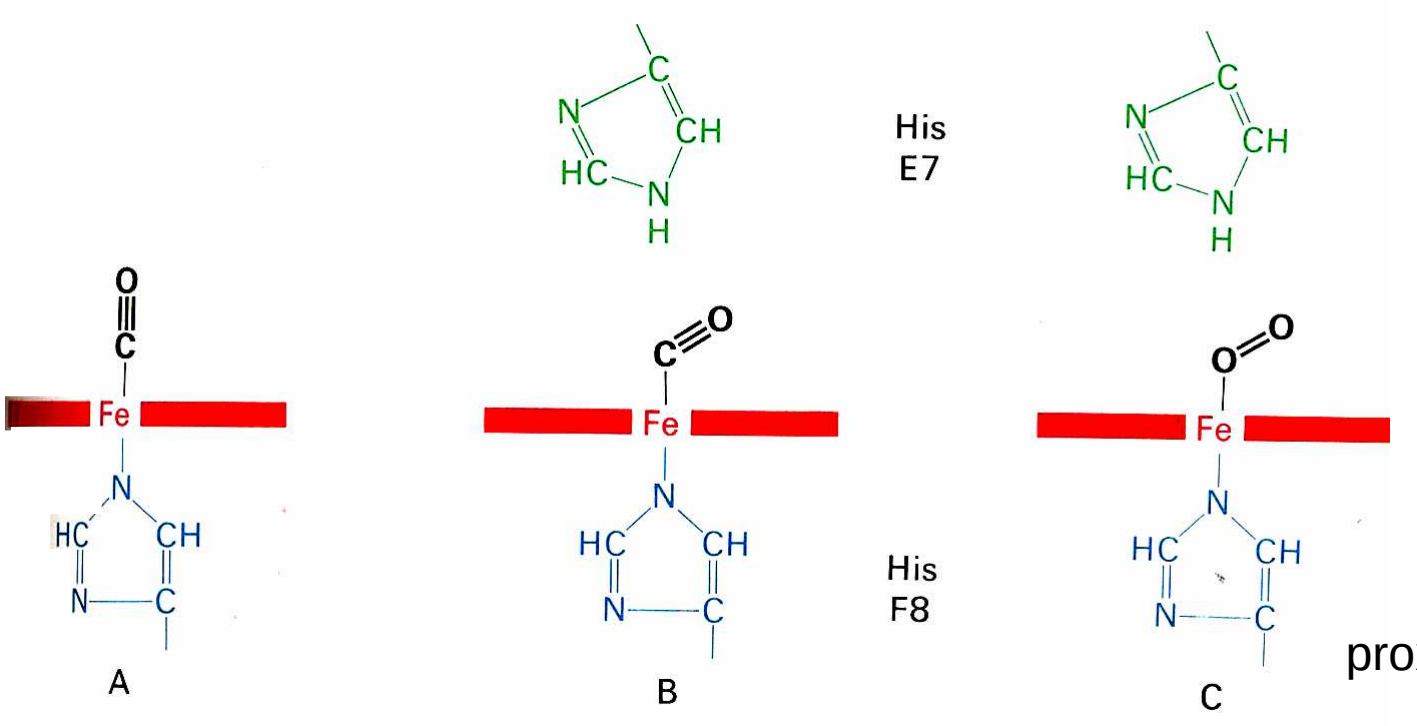
Häm: Porphyrinring mit Fe^{2+} als Zentralatom



Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

CO und O_2

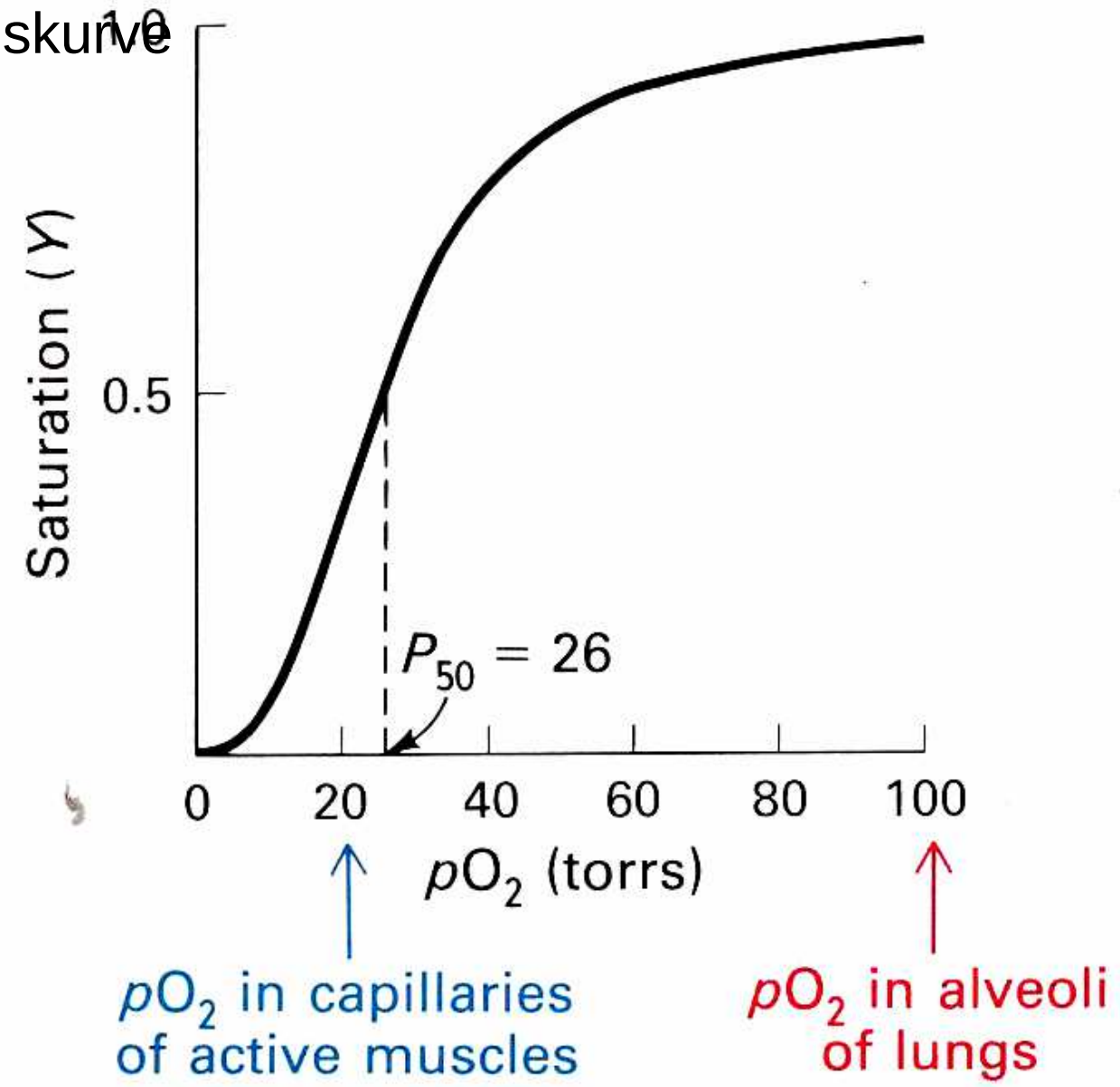
- freies Häm bindet CO 25000-fach fester als O_2
- im Hämoglobin nur 200-fach besser



proximales Histidin

Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

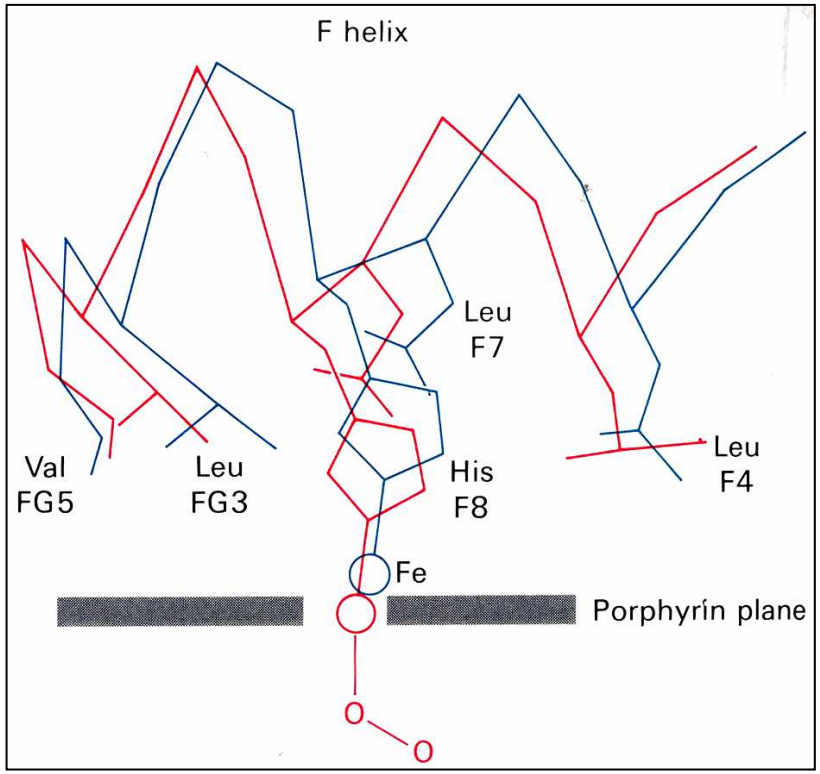
O_2-Sättigungskurve

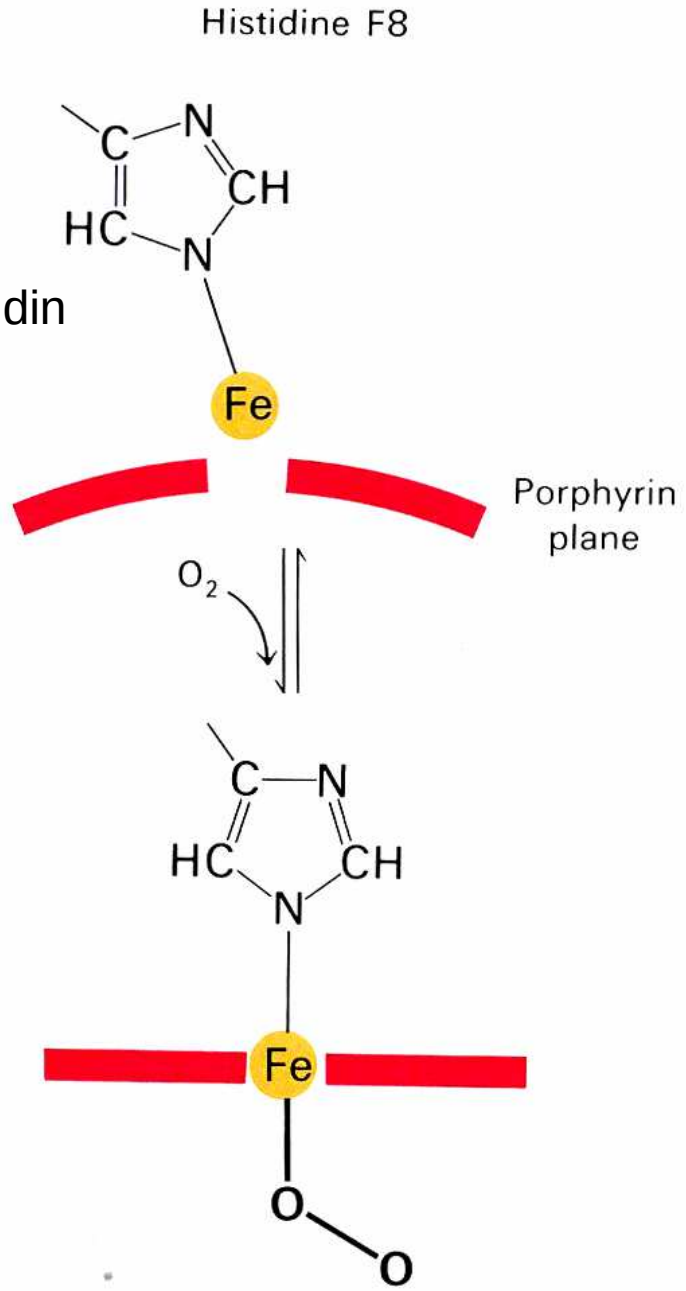


Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

Oxygenierung zieht das Fe^{2+} in die Porphyrinringebene hinein

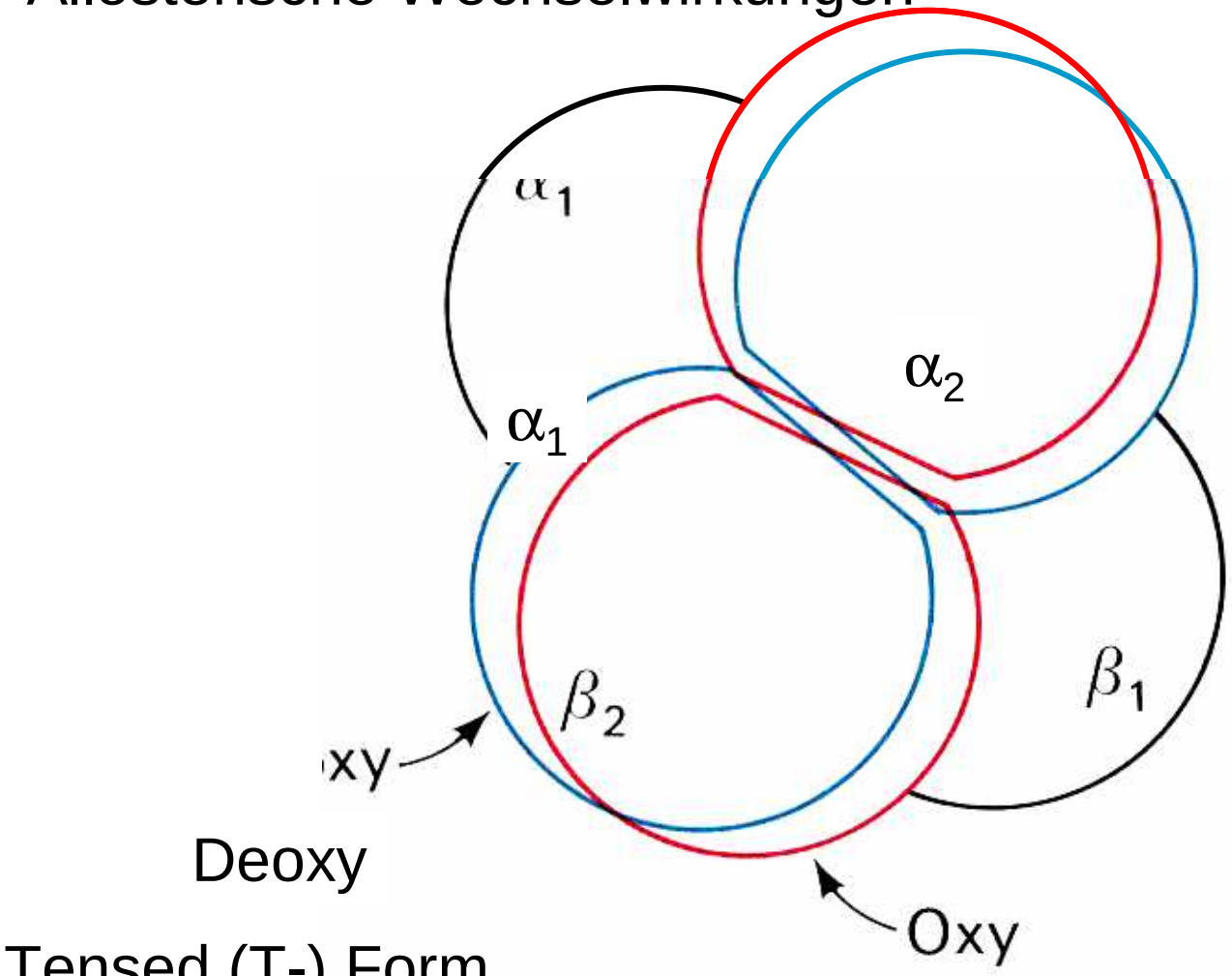
proximales Histidin





Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

Allosterische Wechselwirkungen



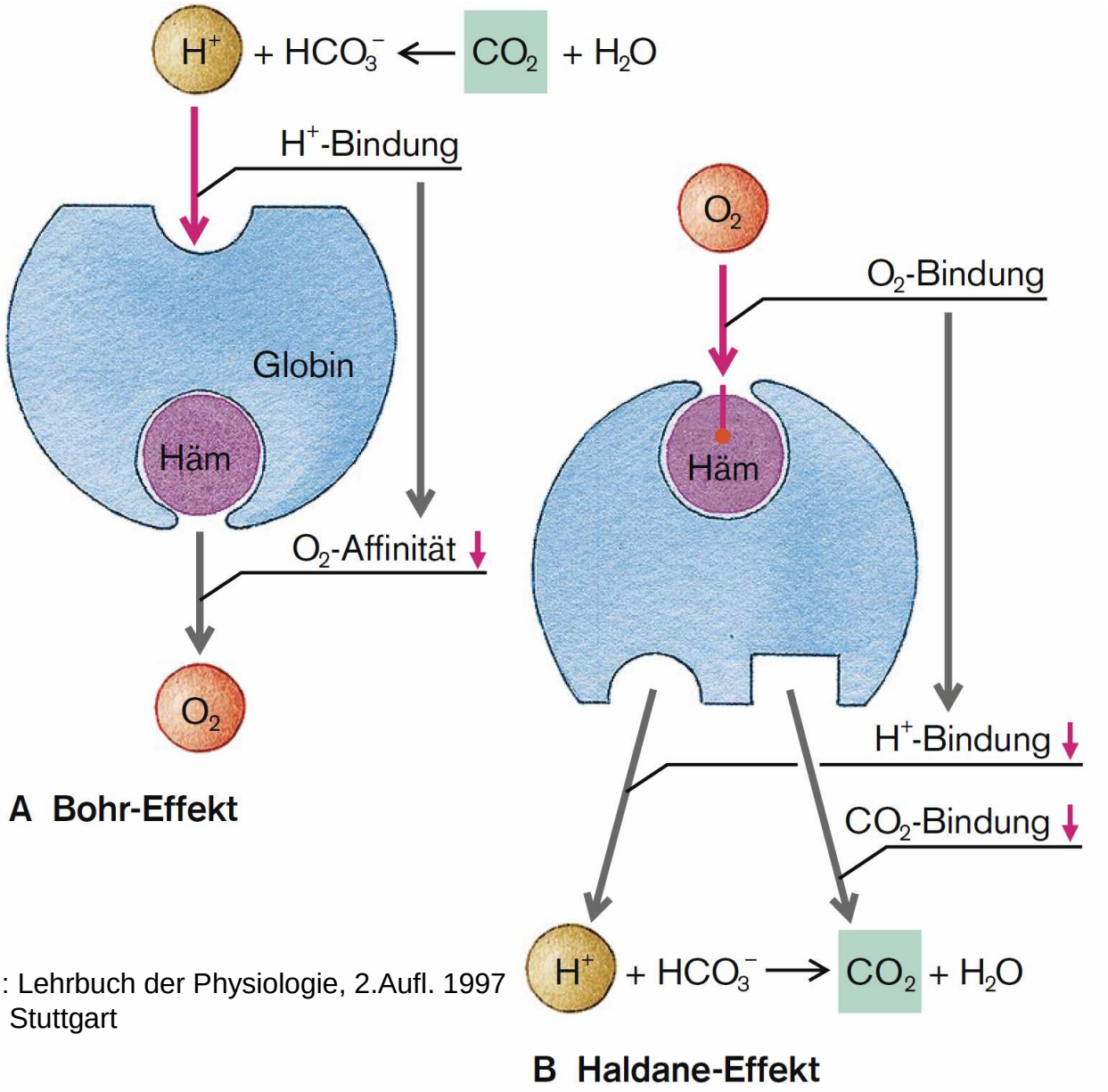
Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

Kooperativität



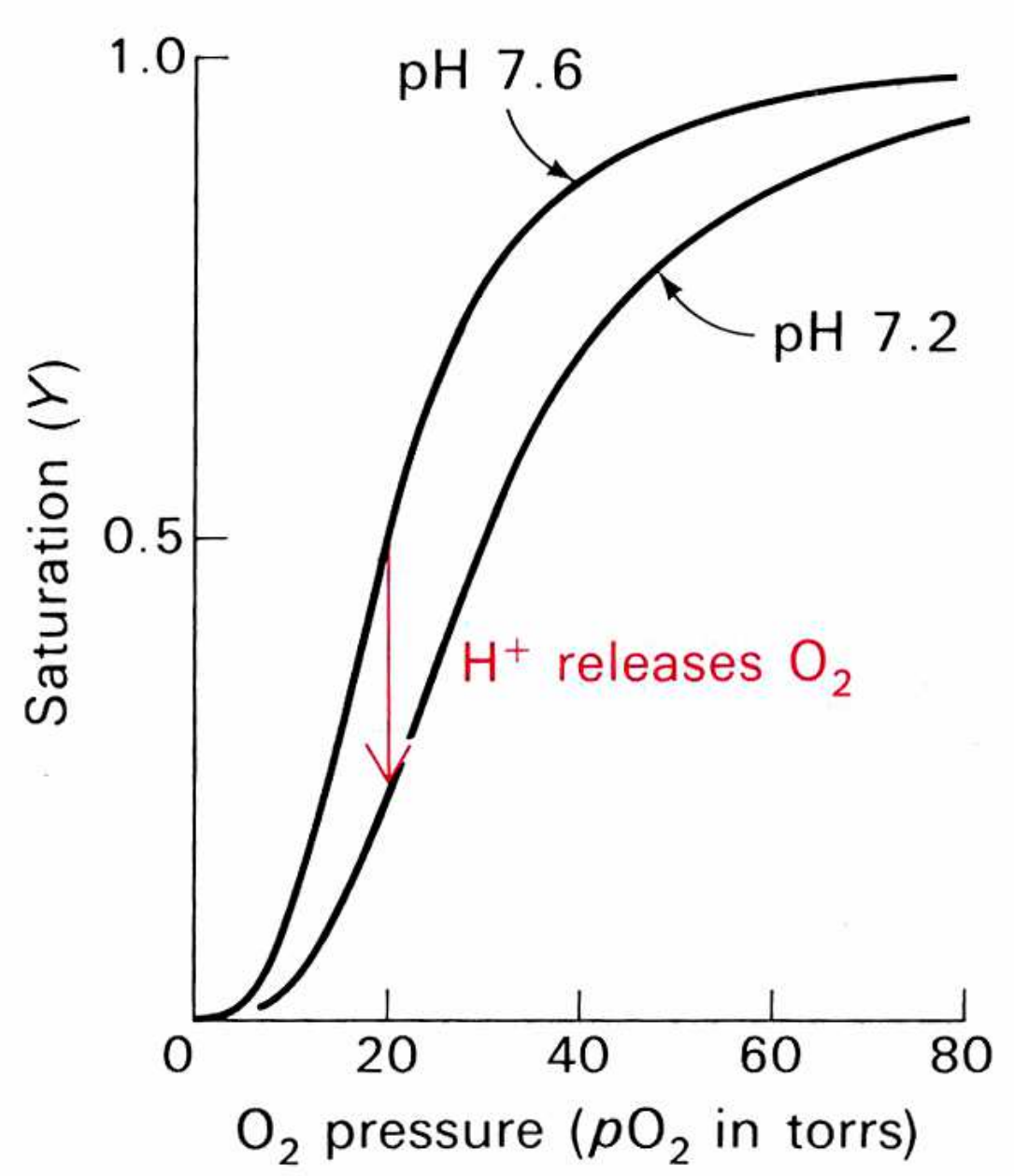
Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

Zusammenspiel von Haldane- und Bohreffekt



Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997
© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

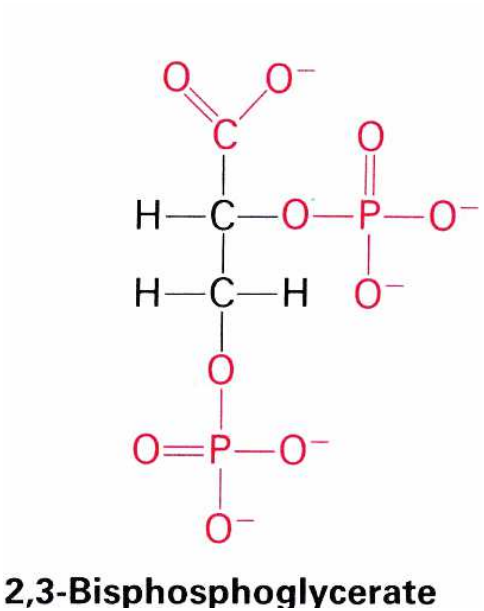
Der Bohr-Effekt

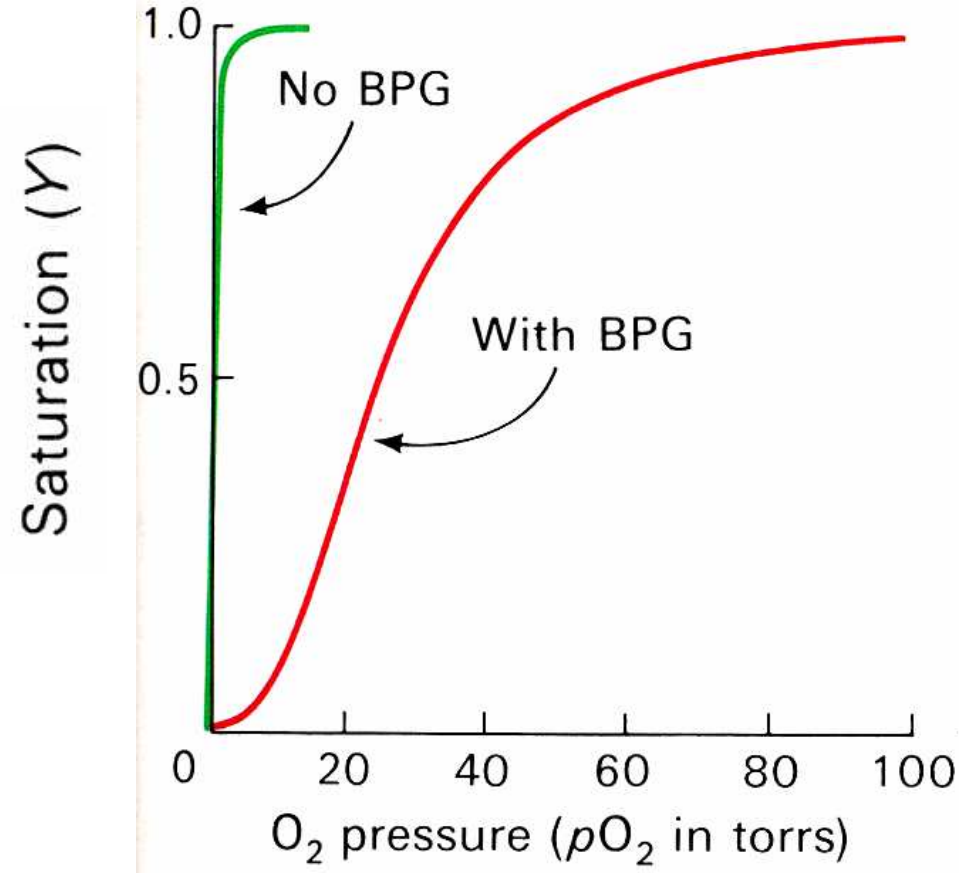


Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

2,3-Bisphosphoglyzerat

- fixiert T-Form
- Bildung Nebenweg Glykolyse
- Phosphofruktokinase pH-abhängig: Alkalose (Aufenthalt in Höhen) fördert Bildung

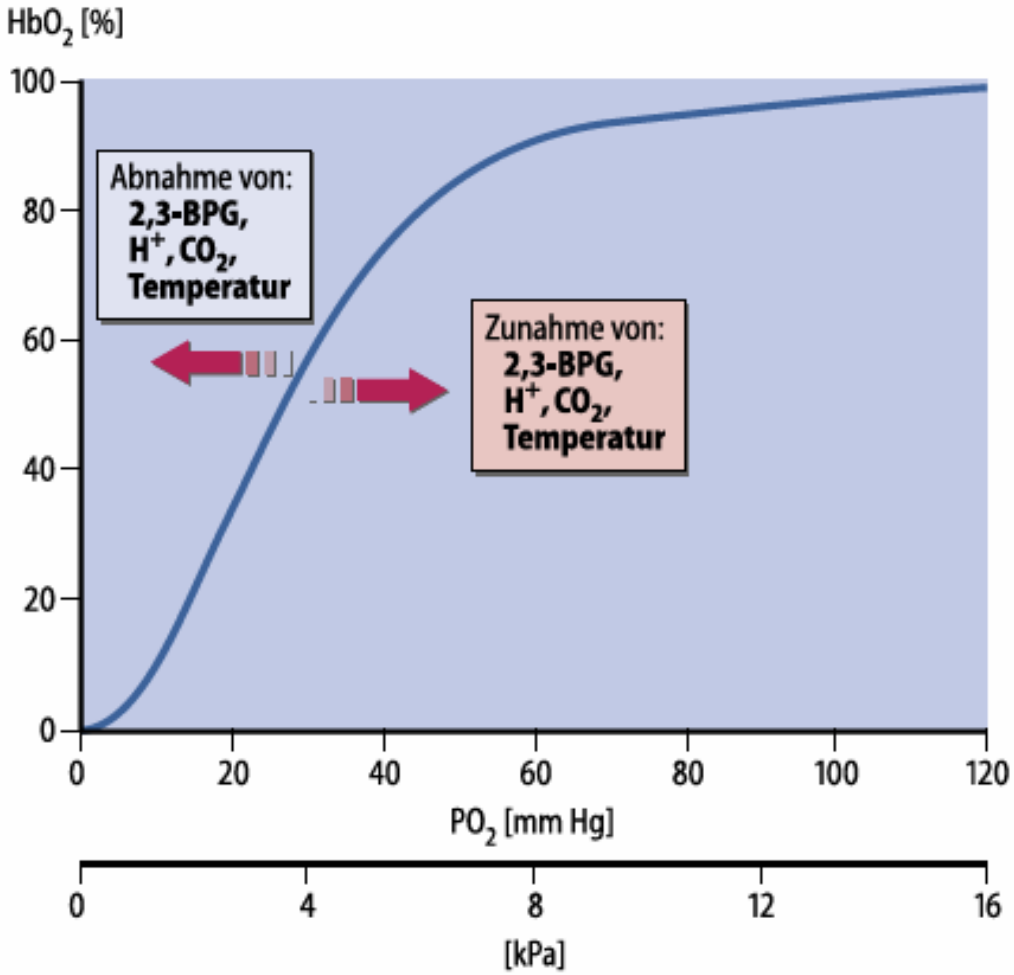




Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

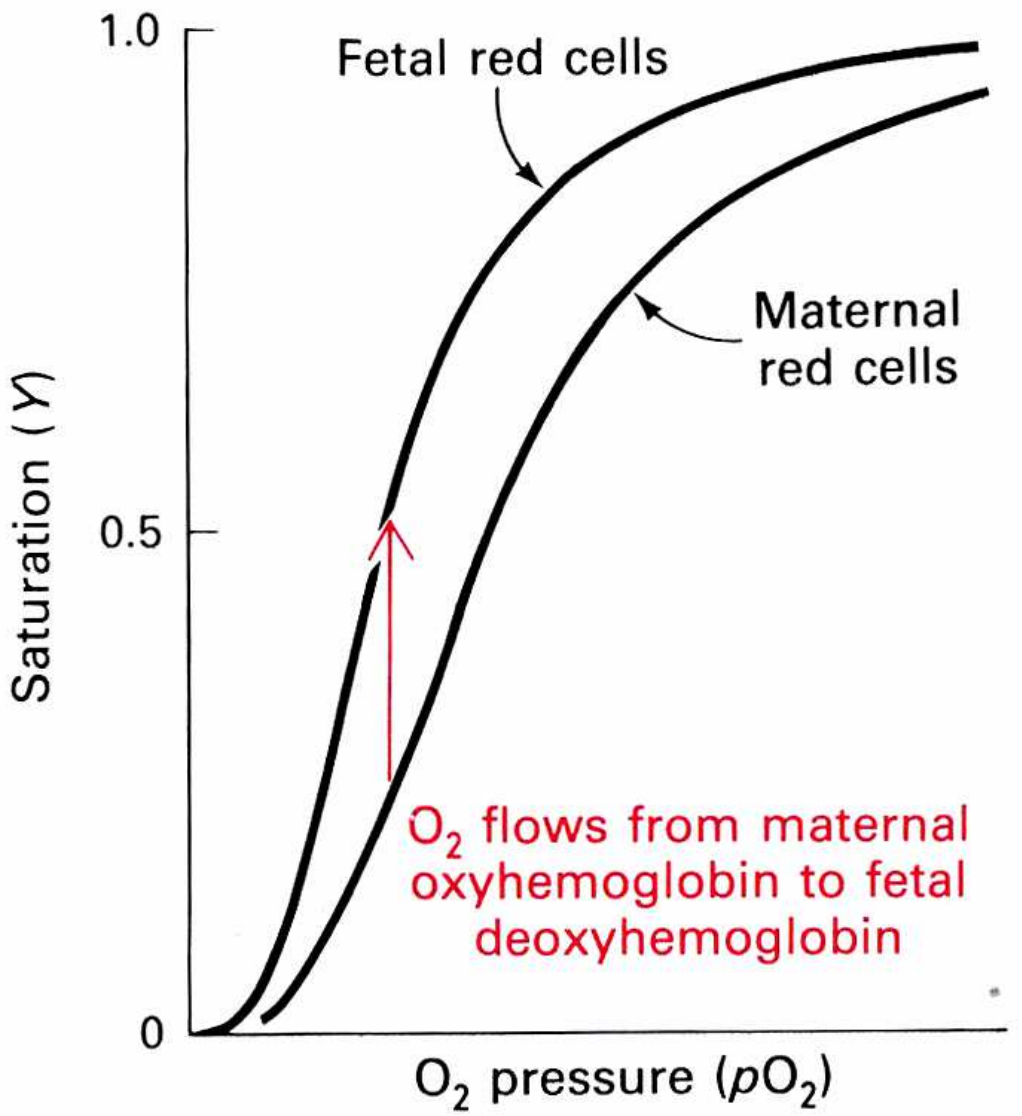
Synopsis: Modifikation der O_2-Affinität des Hb

- Linksverschiebung der O_2-Bindungskurve: Affinitätssteigerung
- Rechtsverschiebung der O_2-Bindungskurve: Affinitätsverminderung



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Fötales Hämoglobin



Quelle: Lubert Stryer, Biochemistry, Third Edition, Freeman/New York

Atemgastransport im Blut

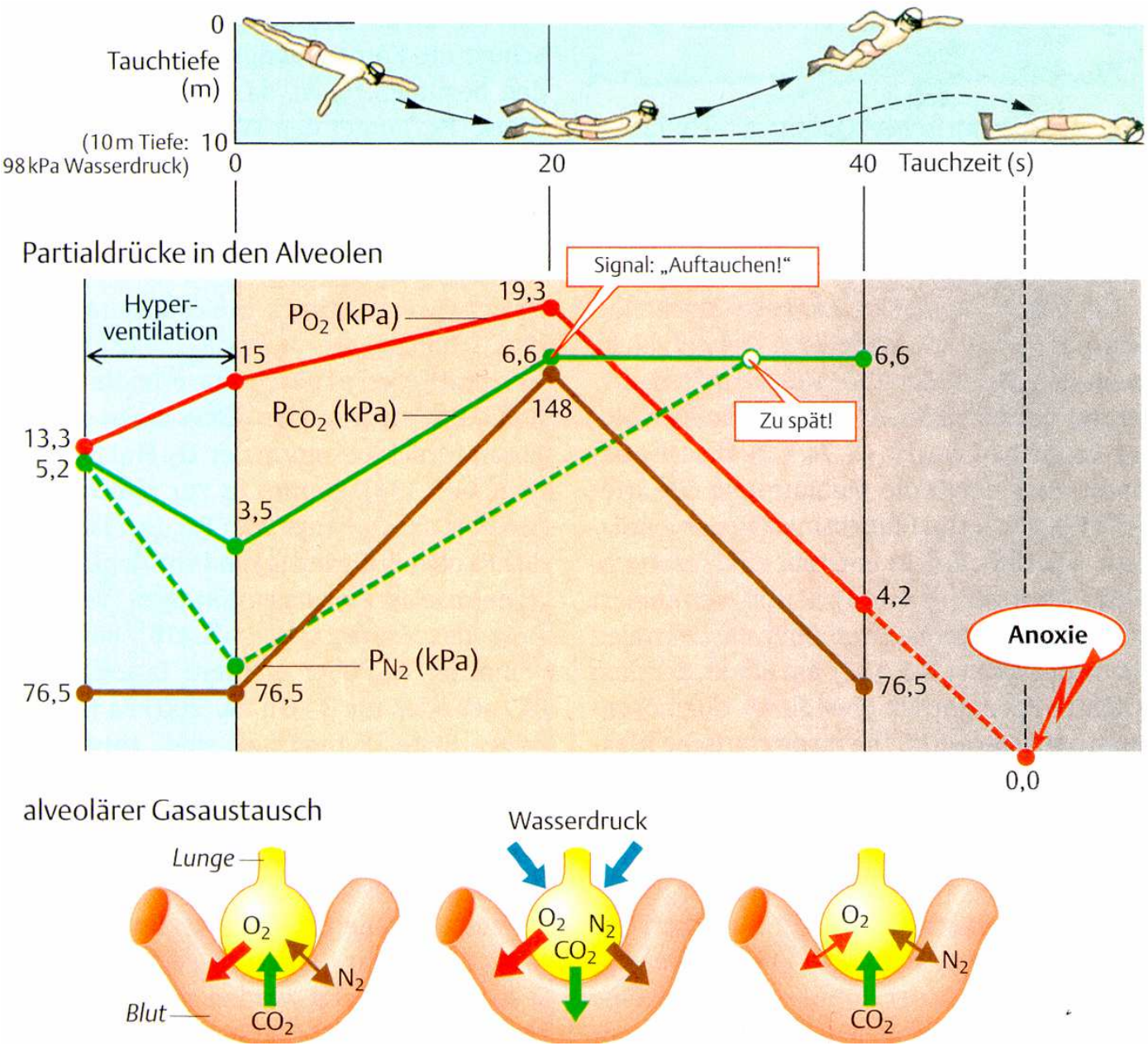
Hämoglobin
Tauchen
Atmung in großen Höhen
Erythropoese und Doping
CO_2-Transport

Atemregulation

Apnoetauchen

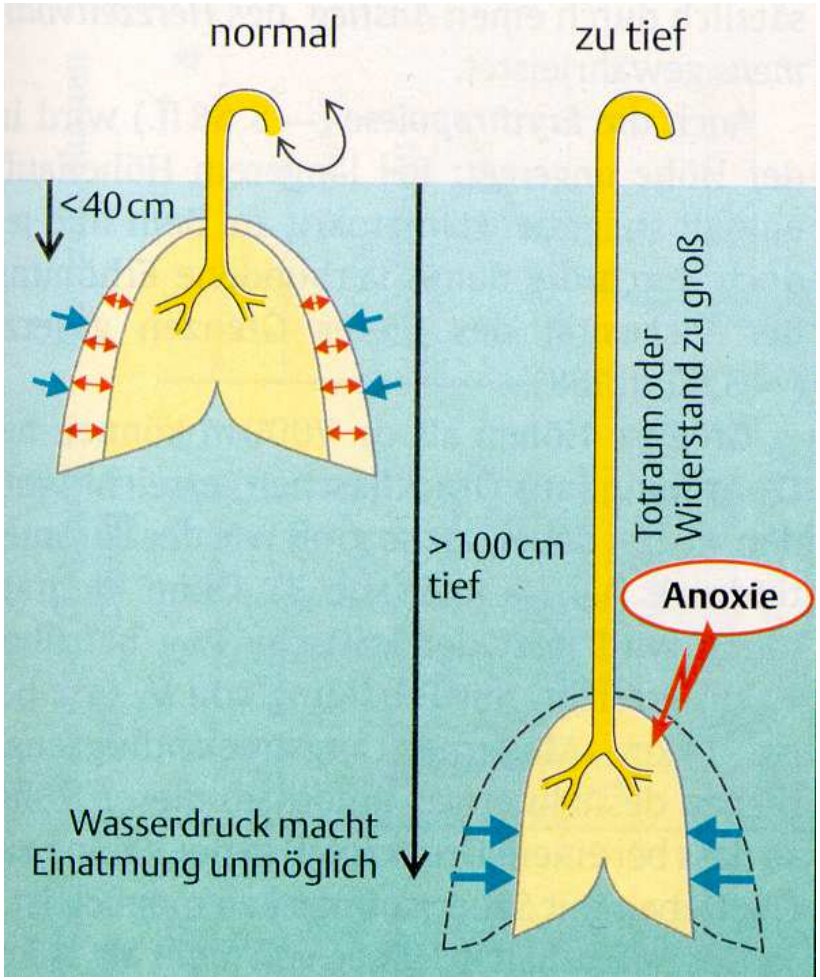


Herbert Nietsch -214 m
Stéphane Mifsud 11:35 min



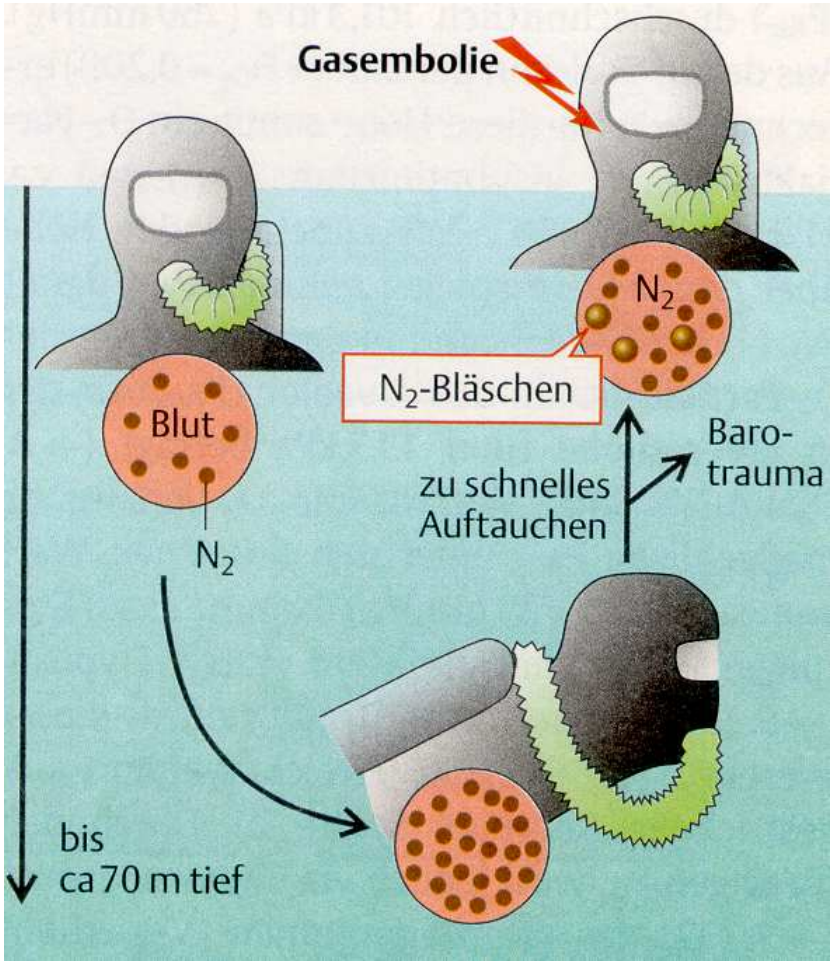
Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas der Pathophysiologie. Georg Thieme Verlag 1998

Schnorcheltauchen



Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas der Pathophysiologie.
Georg Thieme Verlag 1998

Gerätetauchen



- Barotrauma (Gasembolien, Pneumothorax)
- N_2-Tiefenrausch (>35 m)
- O_2-Toxizität (>75 m)

Atemgastransport im Blut

Hämoglobin
Tauchen
Atmung in großen Höhen
Erythropoese und Doping
CO_2-Transport

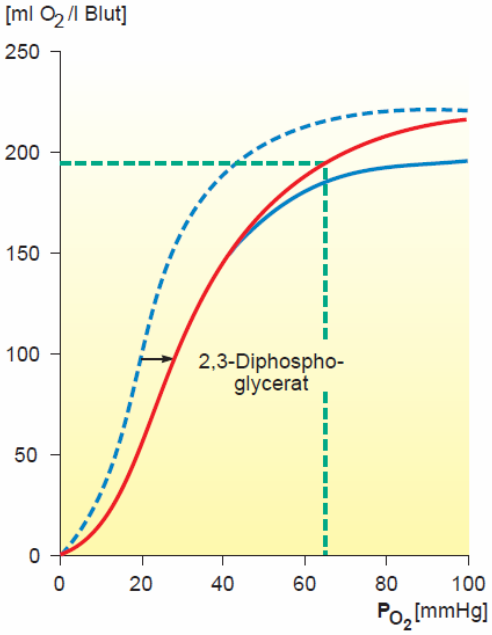
Atemregulation

Atmen in großen Höhen: Anpassungsmechanismen

- kritischer O_2-Partialdruck 35 mm Hg ca. 4000 m über Meereshöhe
- Störungen der Hirnfunktion durch Hypoxie

<u>mittel- und langfristige Anpassungen</u>:

- $PO_2\downarrow \rightarrow$ Mehratmung $\rightarrow$ $PCO_2 \downarrow \rightarrow$ respiratorische Alkalose $\rightarrow$ renale Kompensation durch vermehrtes Ausscheiden von HCO_3^-
- Hypoxämie $\rightarrow$ Erythropoese $\rightarrow$ Hämatokrit $\uparrow$
- $PCO_2 \downarrow \rightarrow$ Linksverschiebung der Hämoglobin-O_2-Sättigungskurve $\rightarrow$ Bildung von 2,3-Biphosphorglyzerat $\rightarrow$ leichtere O_2-Abgabe im Gewebe



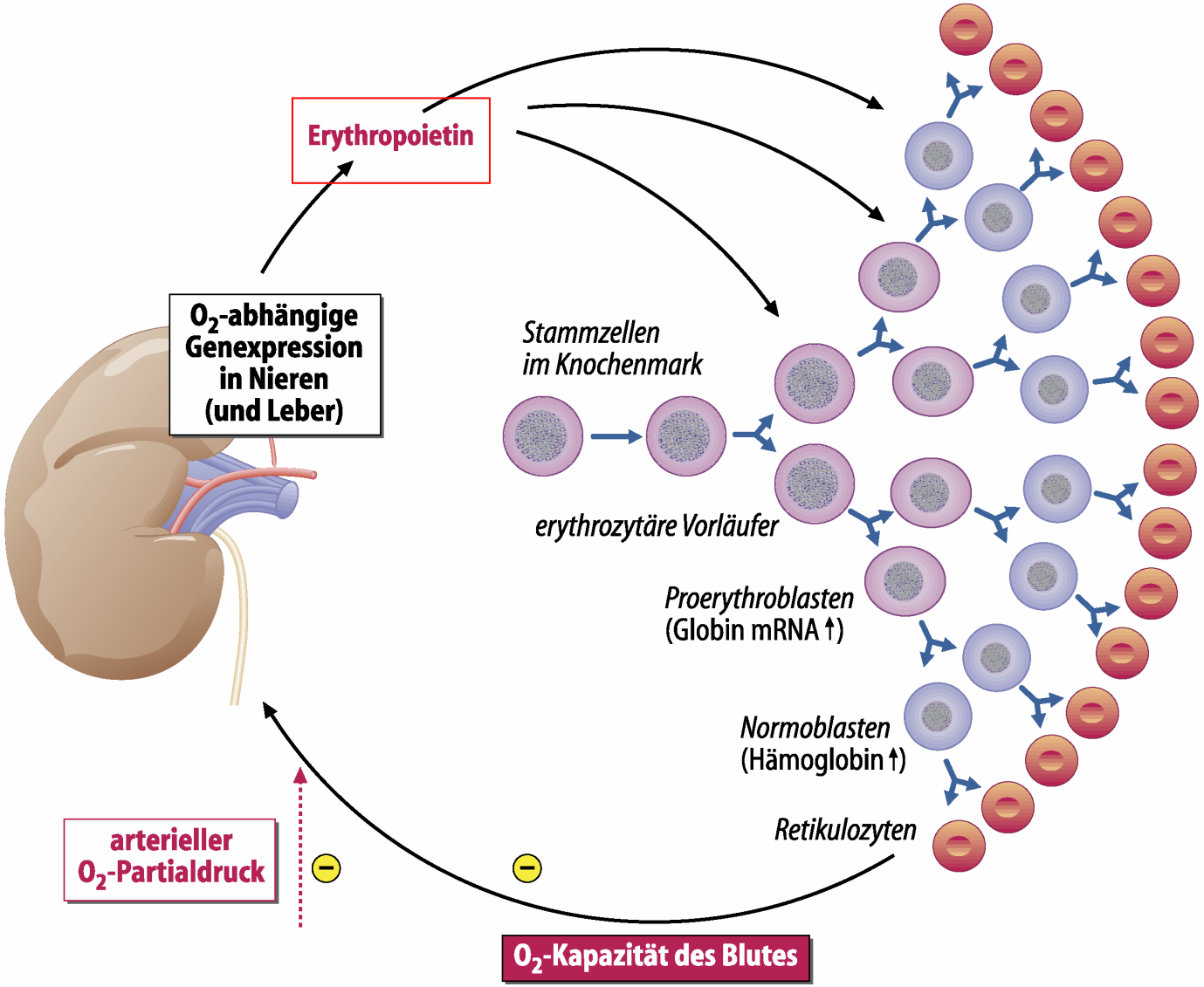
Quelle: Deetjen/Speckmann, Physiologie, Urban-Fischer-Verlag, 1999

Atemgastransport im Blut

Hämoglobin
Tauchen
Atmung in großen Höhen
Erythropoese und Doping
CO_2-Transport

Atemregulation

Erythropo(i)ese



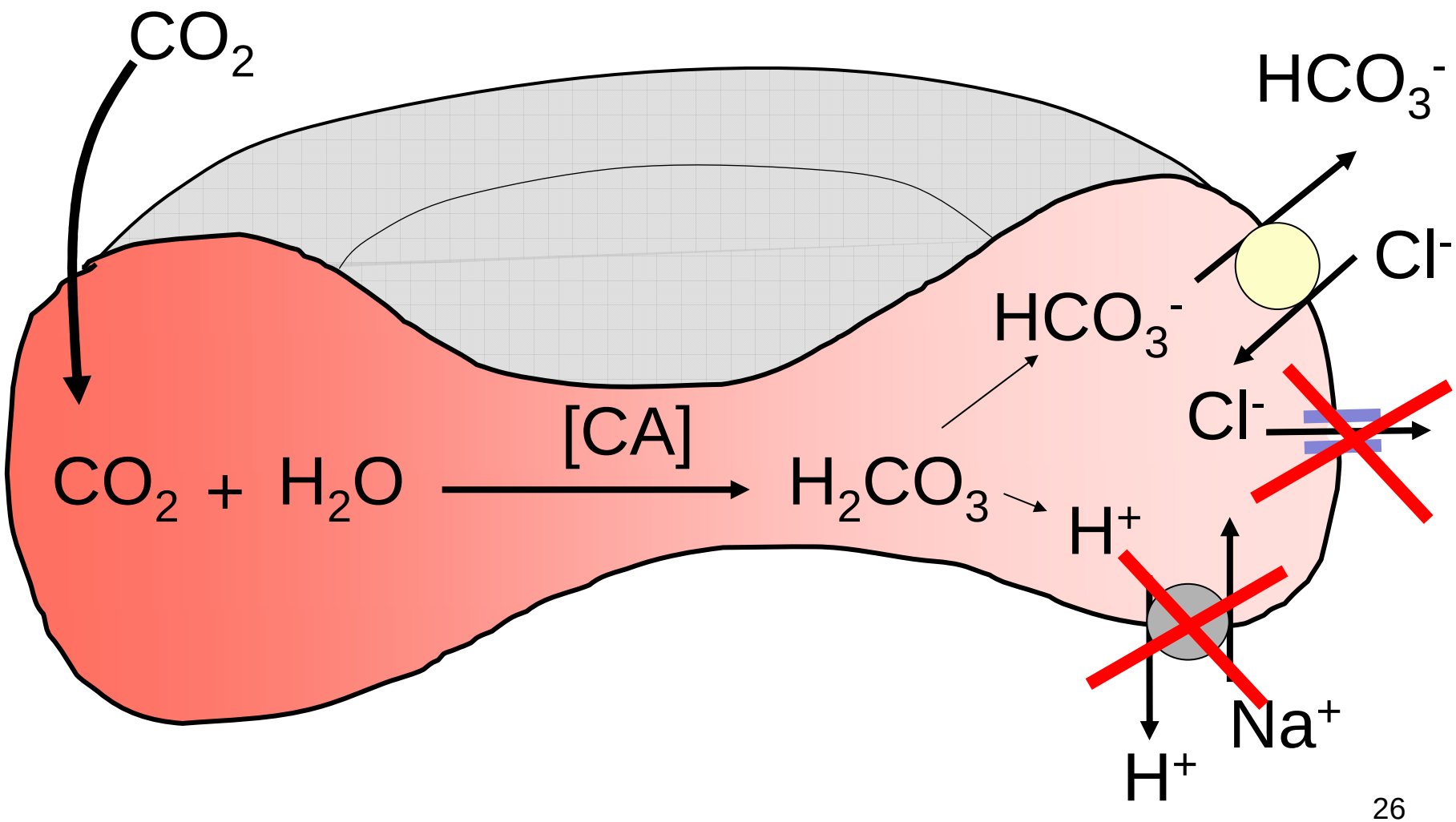
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Atemgastransport im Blut

Hämoglobin
Tauchen
Atmung in großen Höhen
Erythropoese und Doping
CO_2-Transport

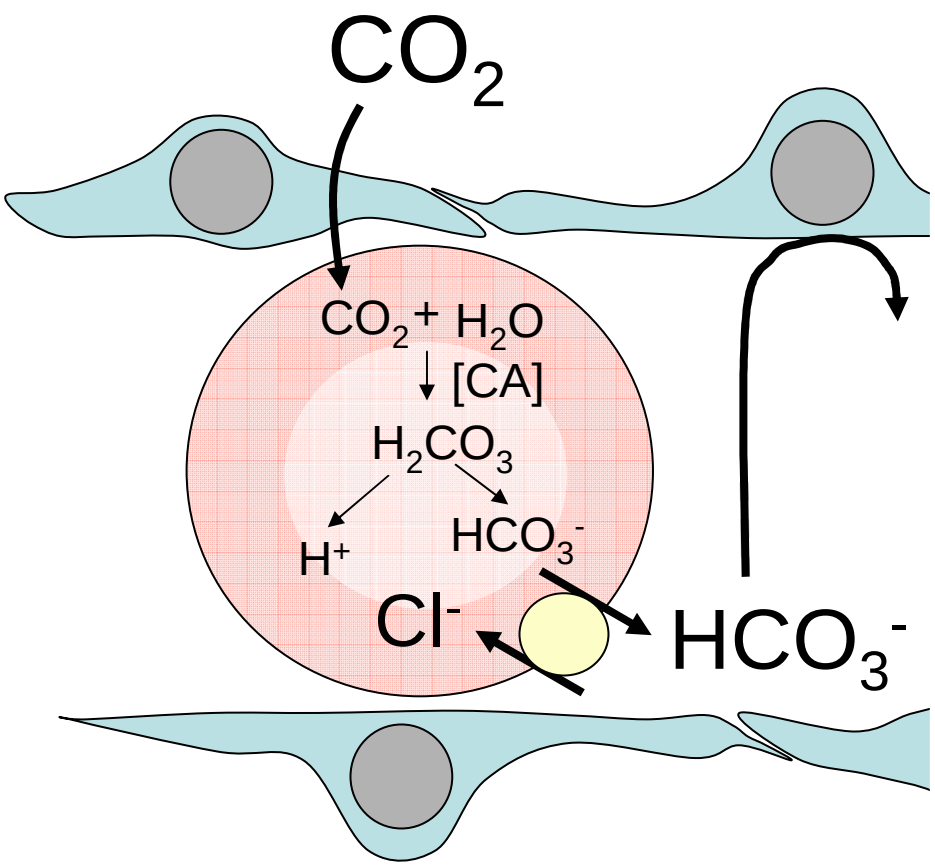
Atemregulation

CO_2-Transport

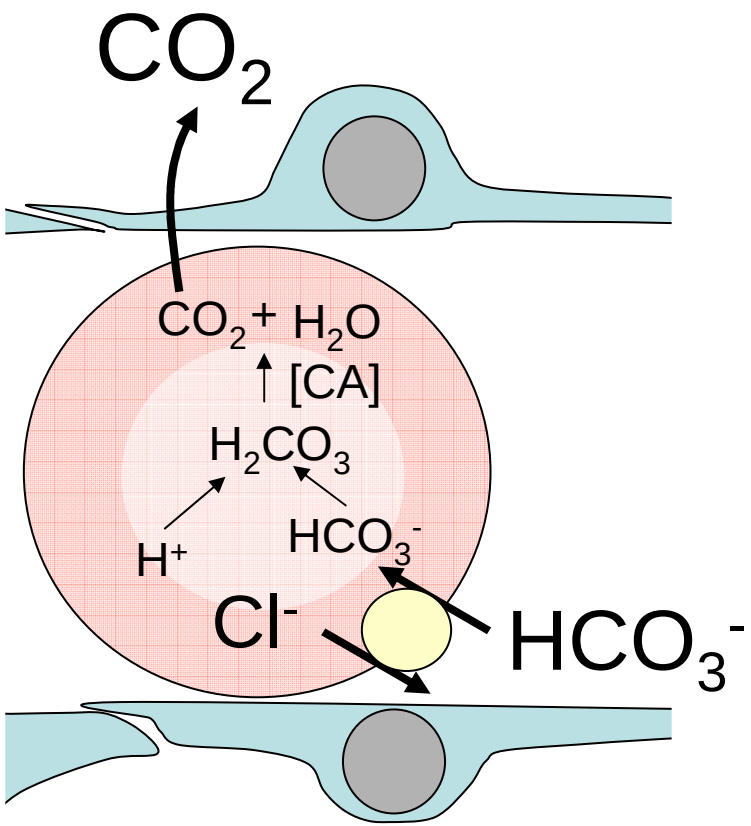


HCO_3^- -Bildung

Gewebe



Lungenkapillaren



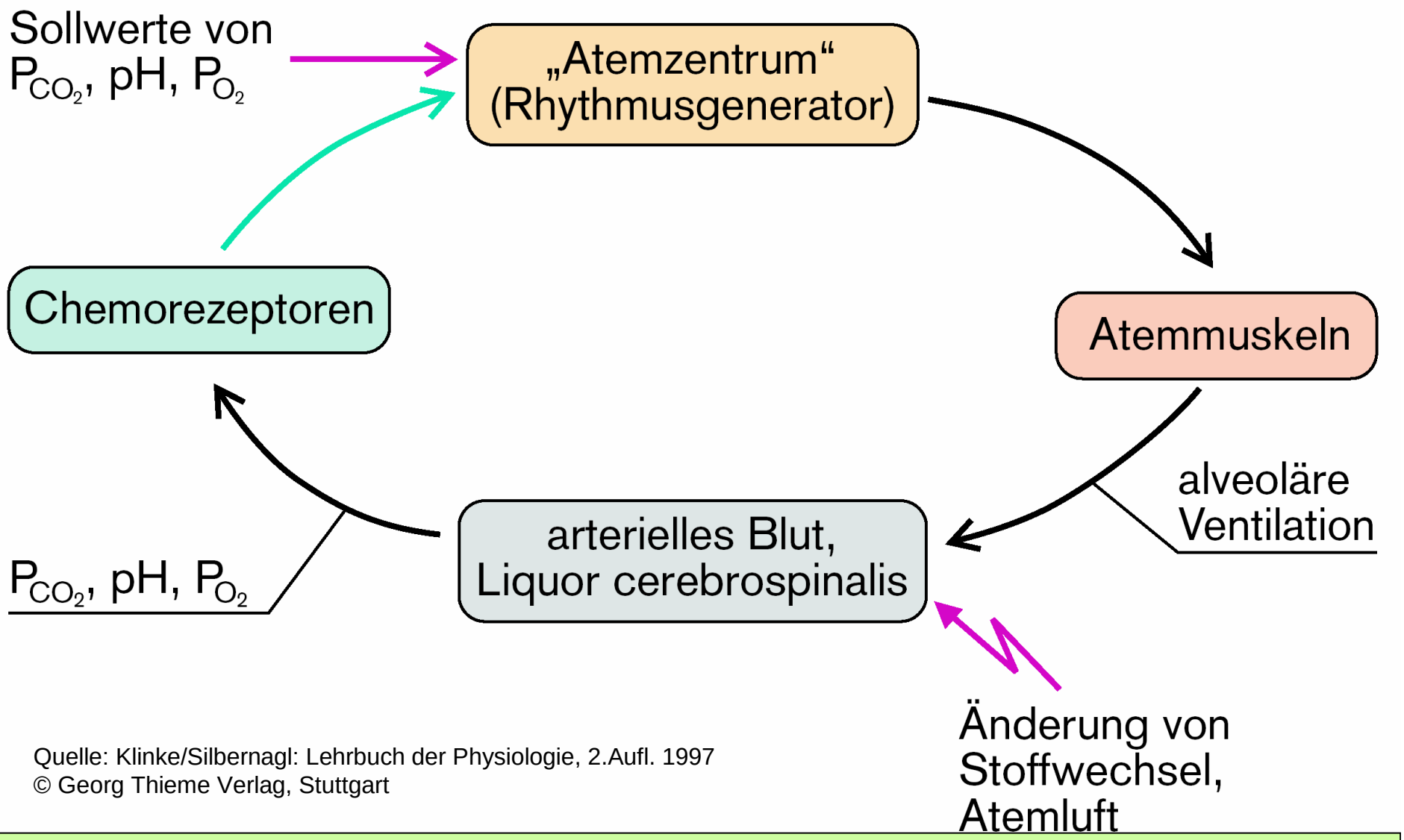
- Hamburger-Shift
- Haldane -Effekt

Atemgastransport im Blut

Atemregulation

Atemzentrum und Rhythmogenese
Atemreflexe
Sensorik

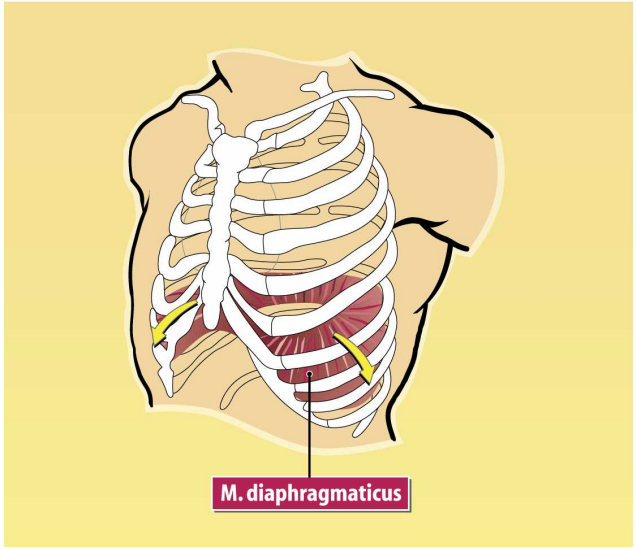
Regulation der Ventilation

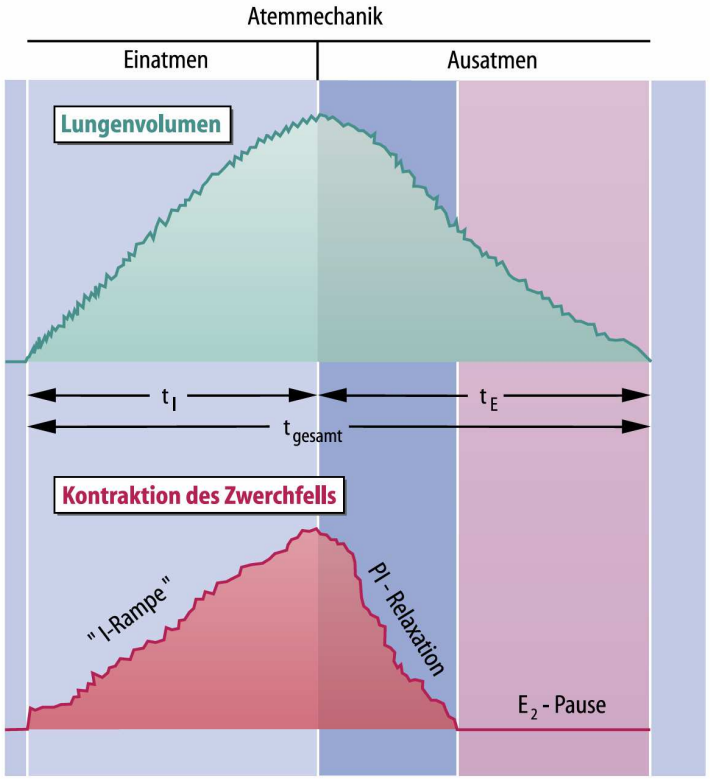


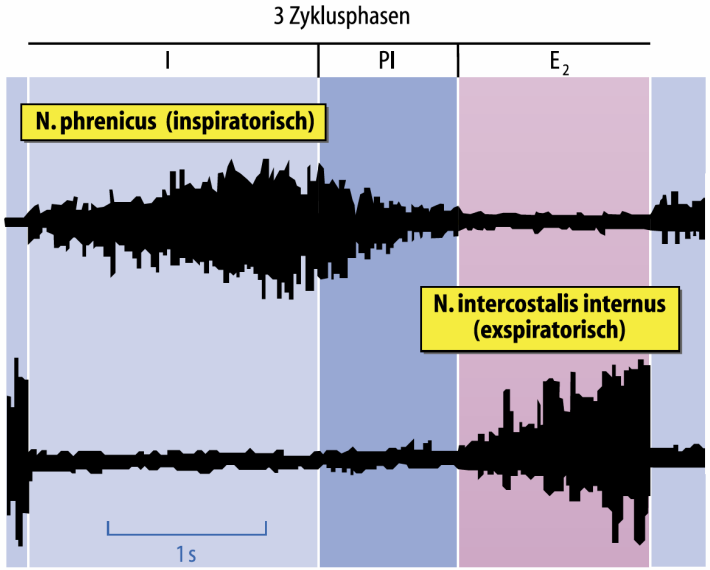
Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997
© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Der Atemrhythmus

- Inspiration (I-) Phase
- Passive Exspiration (E_1-) bzw.
  Post-Inspirations (PI-) Phase
- Aktive Exspirations (E_2-) Phase







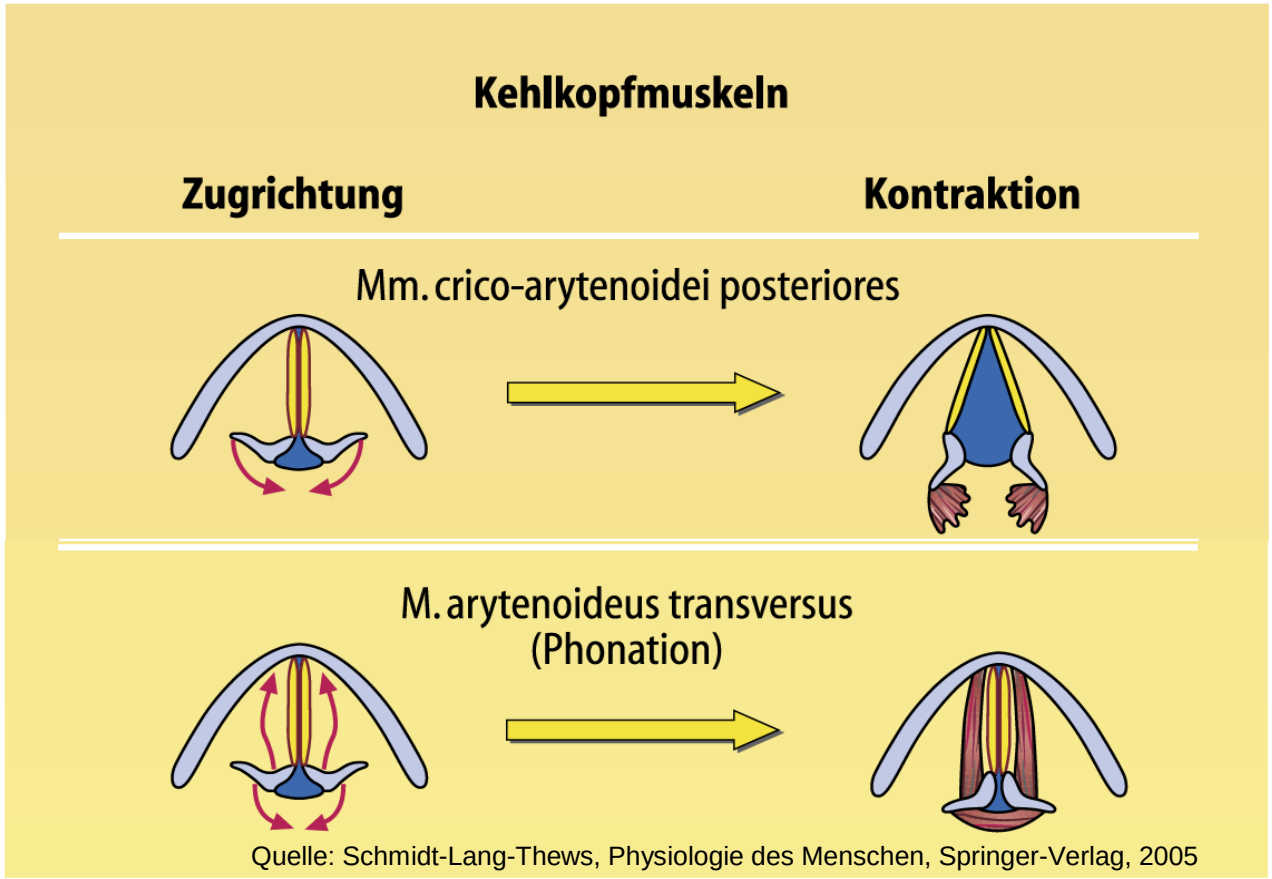
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Die PI-Phase

- stabilisiert Atemrhythmus
- beeinflusst motorische Verhaltensweisen durch Hemmung der Formatio reticularis
- Atemanhalten bei Erwartungs-, Schreckhaltung, emotionalen Reaktionen
- Verbesserung feinmotorischer Arbeiten
- Phonation

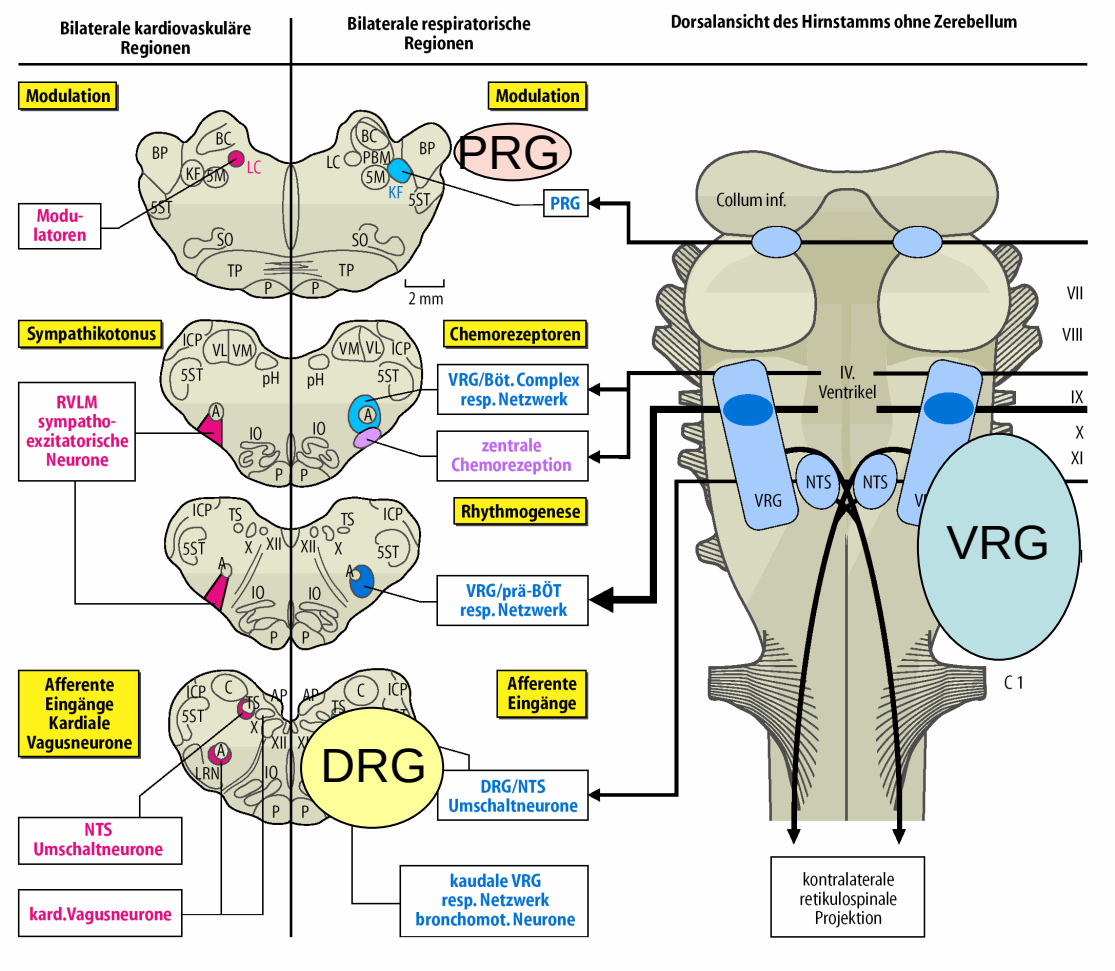
Inspiration

Post-Inspiration



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Das Atemzentrum (Medulla oblongata)

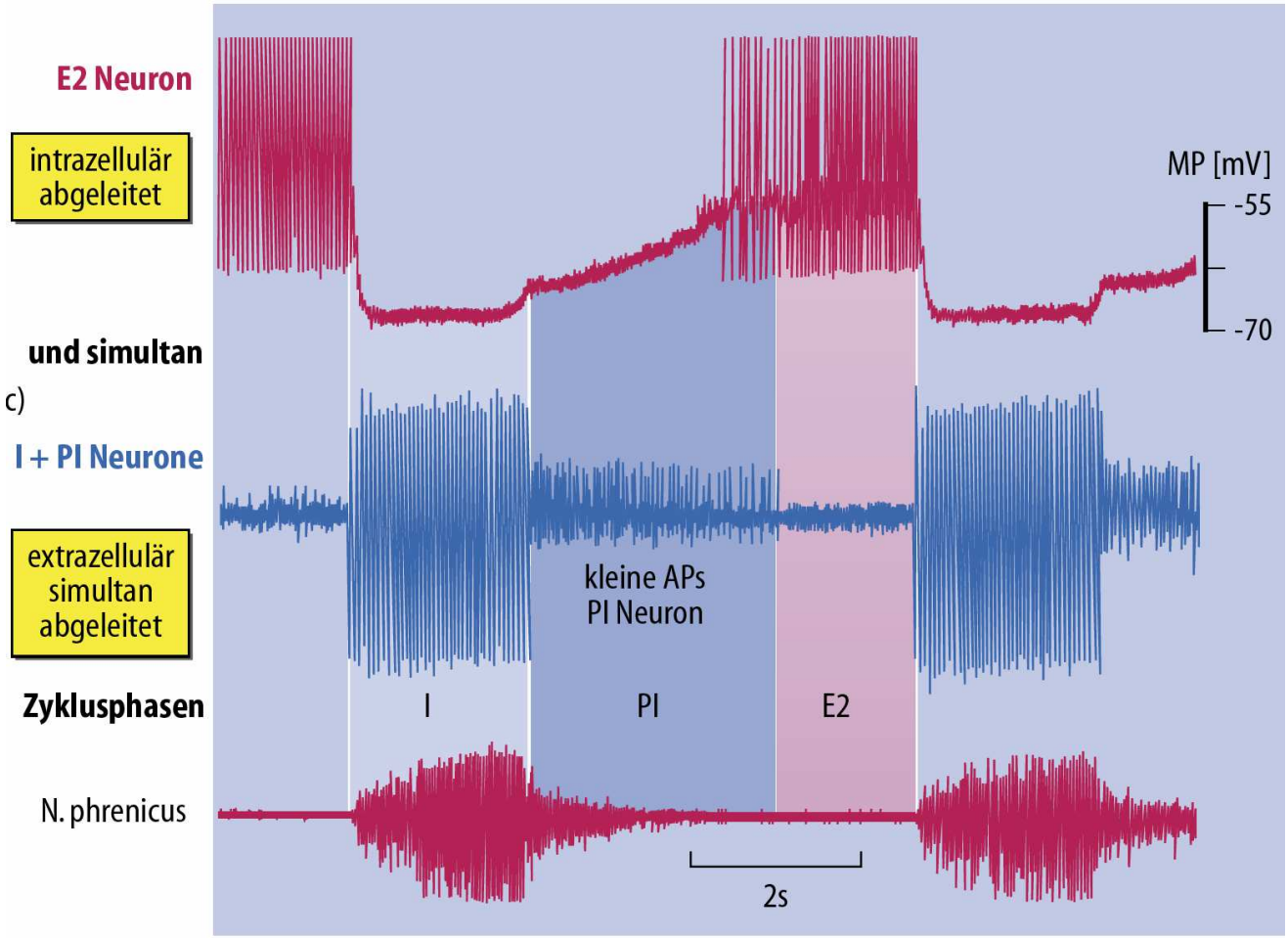


Dorsale Respiratorische Gruppe (DRG) - Sensorische Eingänge
Ventrale Respiratorische Gruppe (VRG) - Rhythmogenese
Pontine Respiratorische Gruppe (PRG) - Modulation

Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Neuronenklassen in der VRG

- inspiratorische (I-) Neurone
  - prä-I Neurone
  - Rampen-I Neurone
  - früh-I Neurone
  - spät-I-Neurone
- post-inspiratorische (PI-) Neurone
- expiratorische (E_2-) Neurone



oszillierende Aktivität von I-, PI- und E_2-Neuronen

Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Atemgastransport im Blut

Atemregulation

Atemzentrum und Rhythmogenese
Atemreflexe
Sensorik

Schutzreflexe (N. vagus)

Lungendehnungsreflex (Hering-Breuer-Reflex)

Dehnungsrezeptoren (Bronchialbaum) begrenzen bei Inspiration die Amplitude der Atemexkursionen – Aktivierung von PI (und E) Neurone

Laryngeale und tracheale Reflexe (Husten)

Chemische oder mechanische Reizung subepithelialer freier Nervenendigungen aktiviert I, PI, E_2-Neurone

Deflationsreflex (Head-Reflex)

beendet forcierte Exspiration.

J(uxtakapillärer) Reflex

Bradykardie und Hemmung der Inspiration und Motorik durch Zunahme des interstitiellen Volumen über pulmonale C-Faser-Reflexe (Ödeme, Linksherzinsuffizienz, Limitation Arbeitsbelastung)

Sudden Infant Death Syndrome (SIDS)

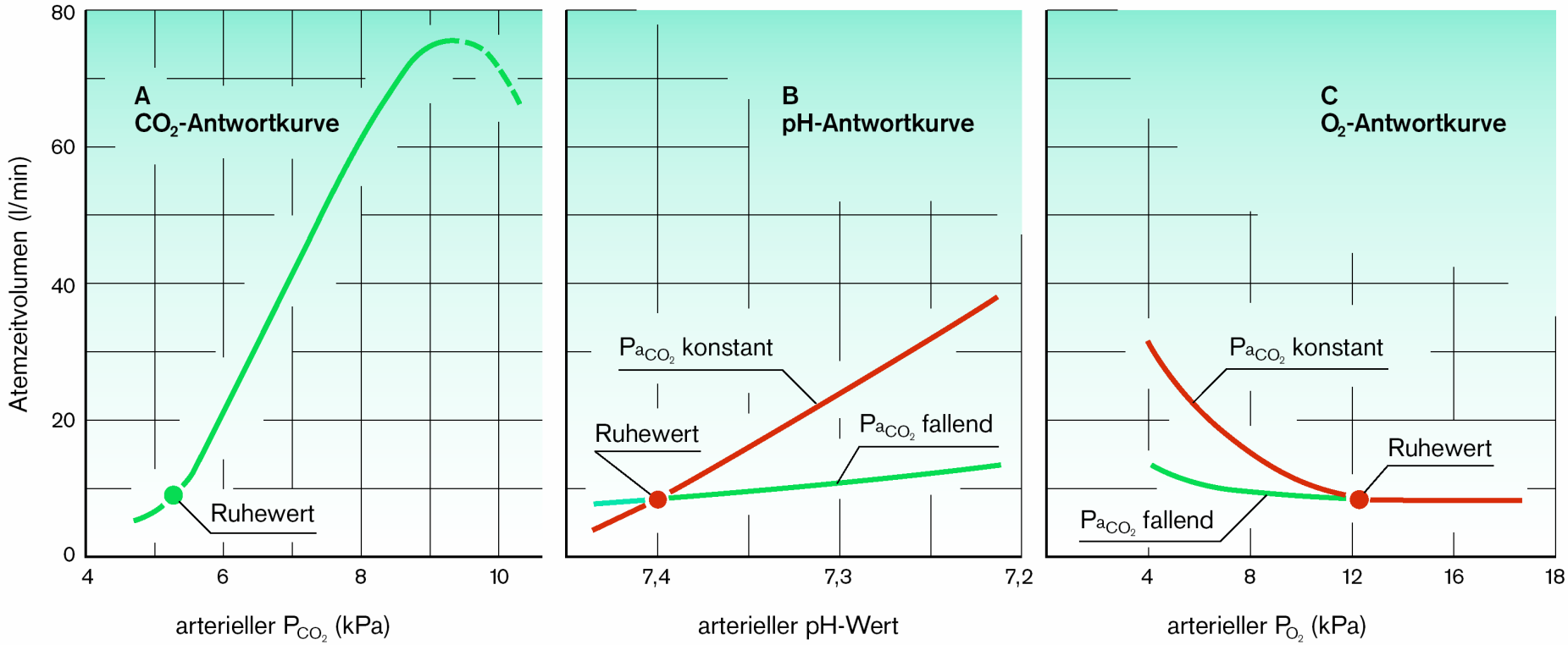
„Tauchreflex“ bei Bauchlage und Kondenswasserbildung im Gesicht

Atemgastransport im Blut

Atemregulation

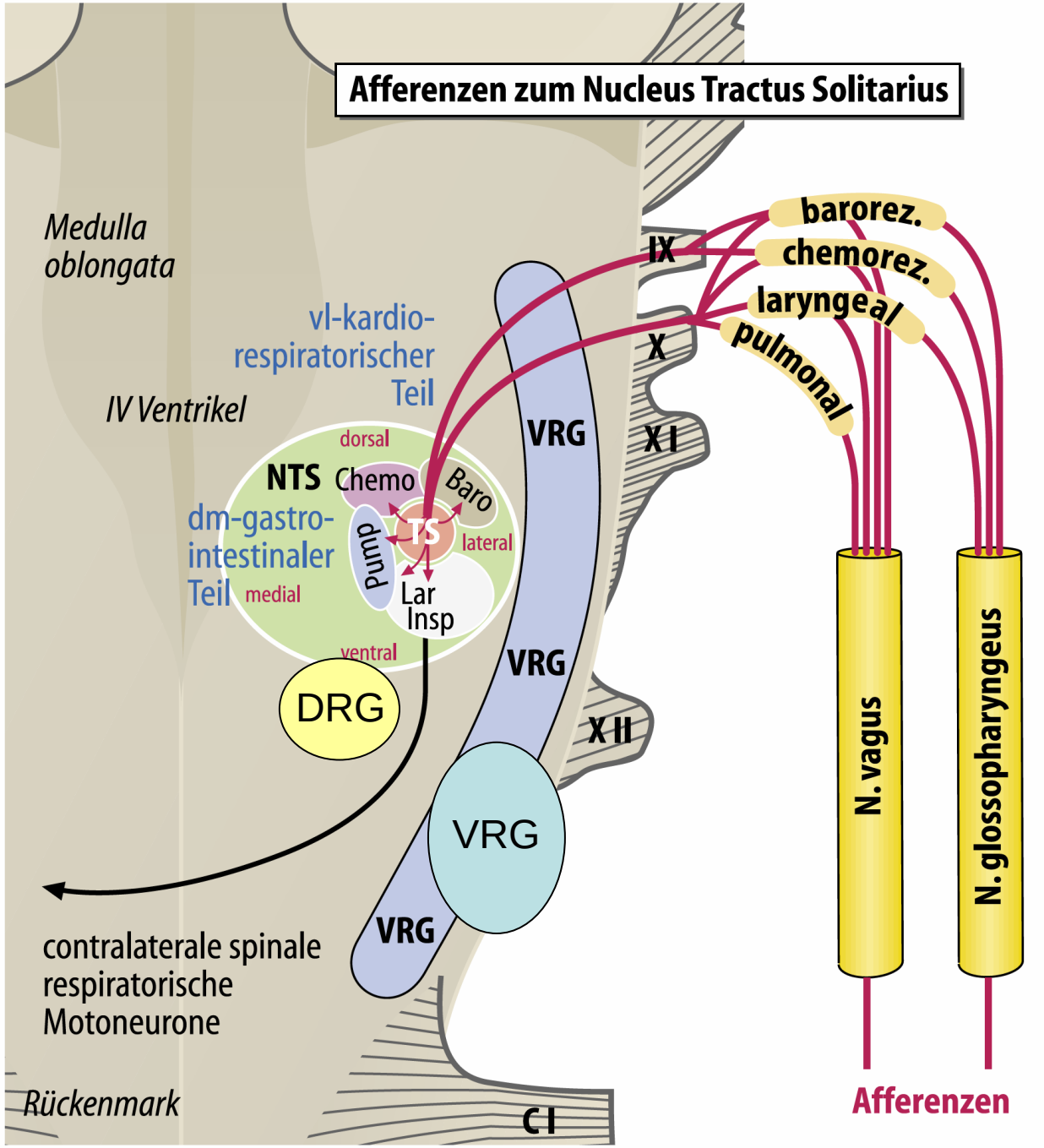
Atemzentrum und Rhythmogenese
Atemreflexe
Sensorik

Blutgasantwortkurven



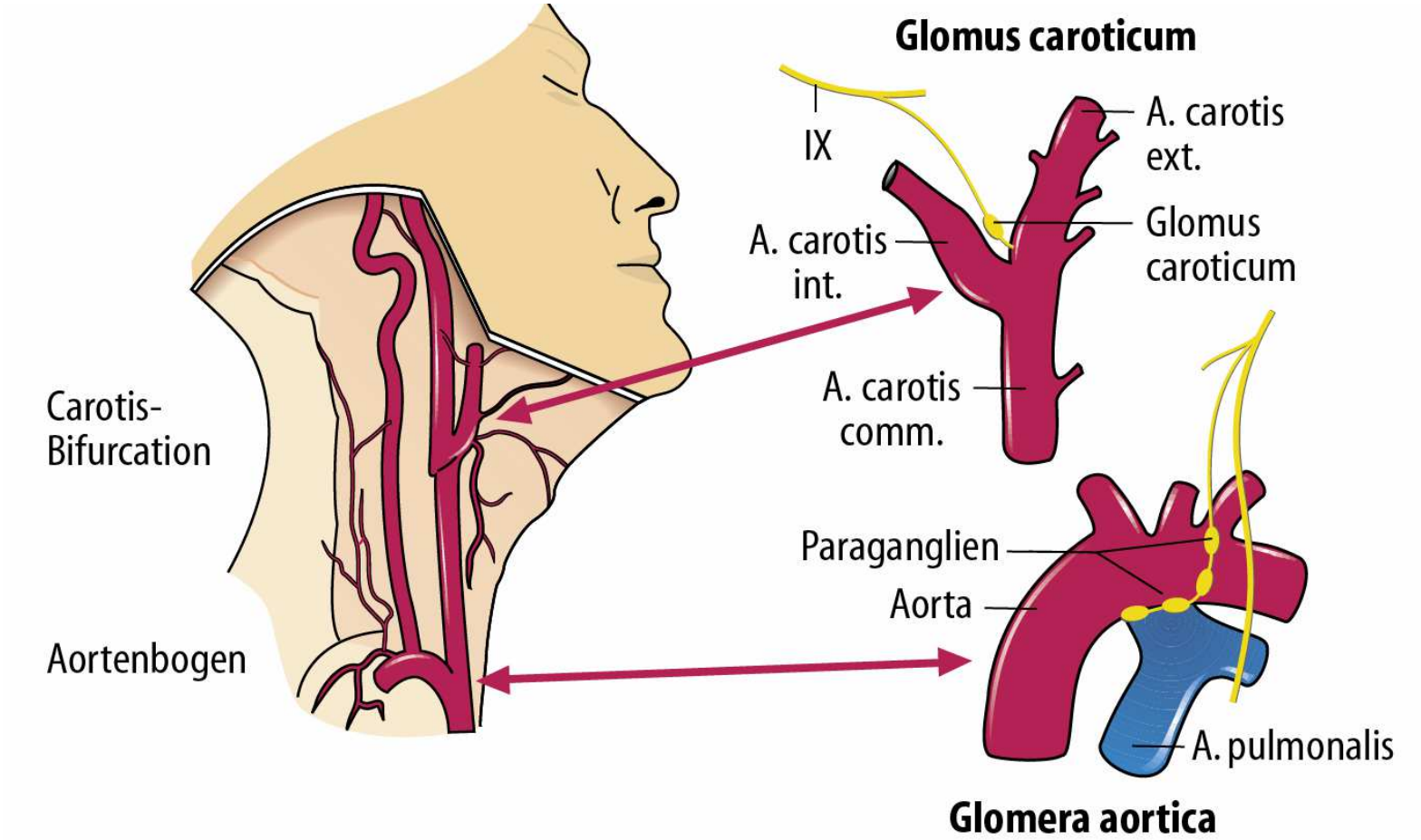
Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997
© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Sensorische Eingänge



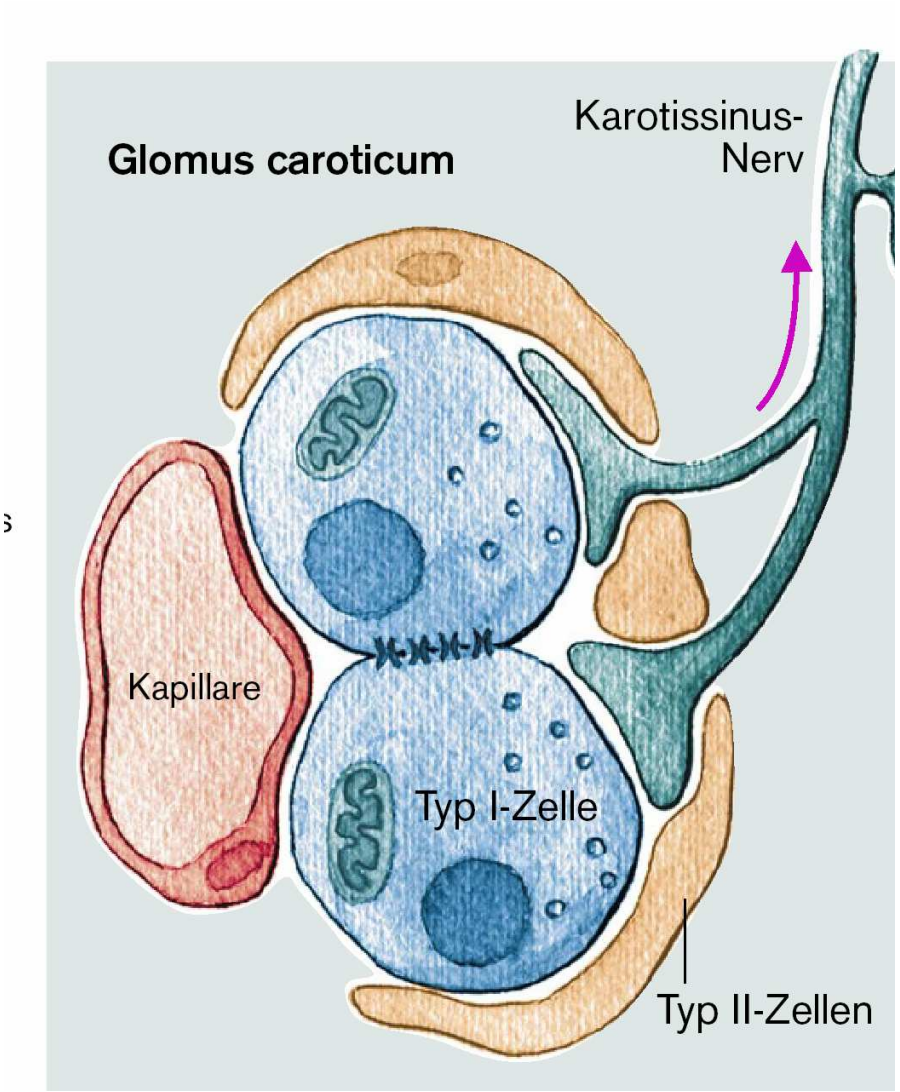
Quelle: Schmidt-Lang-Thews,
Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Periphere Chemorezeptoren



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Glomuszellen messen den arteriellen Po_2 , Pco_2 und pH



Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997

© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Schnarchen

kompensiertes Schnarchen
60 % der Männer, 40 % der Frauen,
10 % der Kinder

obstruktives Schnarchen

upper airway resistance syndrom
obstruktiven Schlafapnoesyndrom

Hypoxie (Sauerstoffmangel)
Arousals (Aufweckreaktionen) mit Tagesmüdigkeit und
Konzentrationsstörungen
Bluthochdruck, Schlaganfall und Herzinfarkt

Welche Behauptung ist richtig ?

Der stärkste Atemantrieb (steilste Blutgasantwortkurve) wird ausgelöst durch:

a) Erhöhung des Blut pH-Wertes
b) Erniedriegung des alveolären O_2-Partialdruckes
c) Erhöhung des alveolären CO_2-Partialdruckes
d) gleichzeitige Erniedriegung des Blut pH-Wertes und des alveolären CO_2-Partialdruckes
e) Hyperpolarisation des Glomuszell-Membranpotenzials

Eine Lungenüberdehnung wird beim Einatmen verhindert durch den:

a) Tauchreflex
b) Laryngealen und trachealen Husten-Reflexe
c) Deflationsreflex
d) Juxtakapillären Reflex
e) Hering-Breuer Dehnungsreflex