Materialgebundene Aufgabe bzw. Klausuraufgabe

Kohlenstoffdioxid – Gleichgewichtsreaktionen im menschlichen Körper

Aufgabenstellung

1. **Geben** Sie ausgehend von gasförmigen Kohlenstoffdioxid über Kohlensäure hin zu Hydrogencarbonat **in mehreren Reaktionsgleichungen** die Gleichgewichte **an**, die sich im Blut auf dem Weg zur Lunge nach Abb. 1 einstellen. *(6 Pkt.)*
2. **Erläutern** Sie mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier, warum sich im körperinneren Blut viel Hydrogencarbonat (HCO_3^-) bildet, beim Durchströmen der Lunge aber wiederum viel gasförmiges Kohlenstoffdioxid aus dem Blut austritt. *(8 Pkt.)*
3. **Erklären** Sie, was passieren würde, wenn keine „Carboanhydrase“ im Körper vorhanden wäre. **Stellen** Sie allgemein **dar**, ob Katalysatoren einen Einfluss auf die Einstellung von Gleichgewichten oder die Konzentrationsverhältnisse in chemischen Gleichgewichten haben. *(6 Pkt.)*
4. **Erläutern** Sie, inwiefern die Entstehung von Kohlenstoffdioxid im Muskel und die Abgabe in der Lunge zugleich jeweils die Aufnahme und Abgabe von Sauerstoff aus der Lunge ins Blut bzw. vom Blut ins Muskelgewebe beeinflussen. *(8 Pkt.)*

Fachspezifische Vorgaben

Im Körper entsteht u. a. im Muskelgewebe durch die Reaktion von Kohlenhydraten mit Sauerstoff (O_2) in vielen Reaktionsschritten permanent Kohlenstoffdioxid (CO_2), welches in das Blut übertritt, mit ihm in die Lunge transportiert wird und dort den Körper verlässt.
Im Blut bildet sich aus Kohlenstoffdioxid in einer Gleichgewichtsreaktion Hydrogencarbonat (HCO_3^-). Dieses ist aufgrund seiner Ladung deutlich besser wasserlöslich als Kohlenstoffdioxid und wird gelöst zu den Lungen abtransportiert (s. Abb. 1).

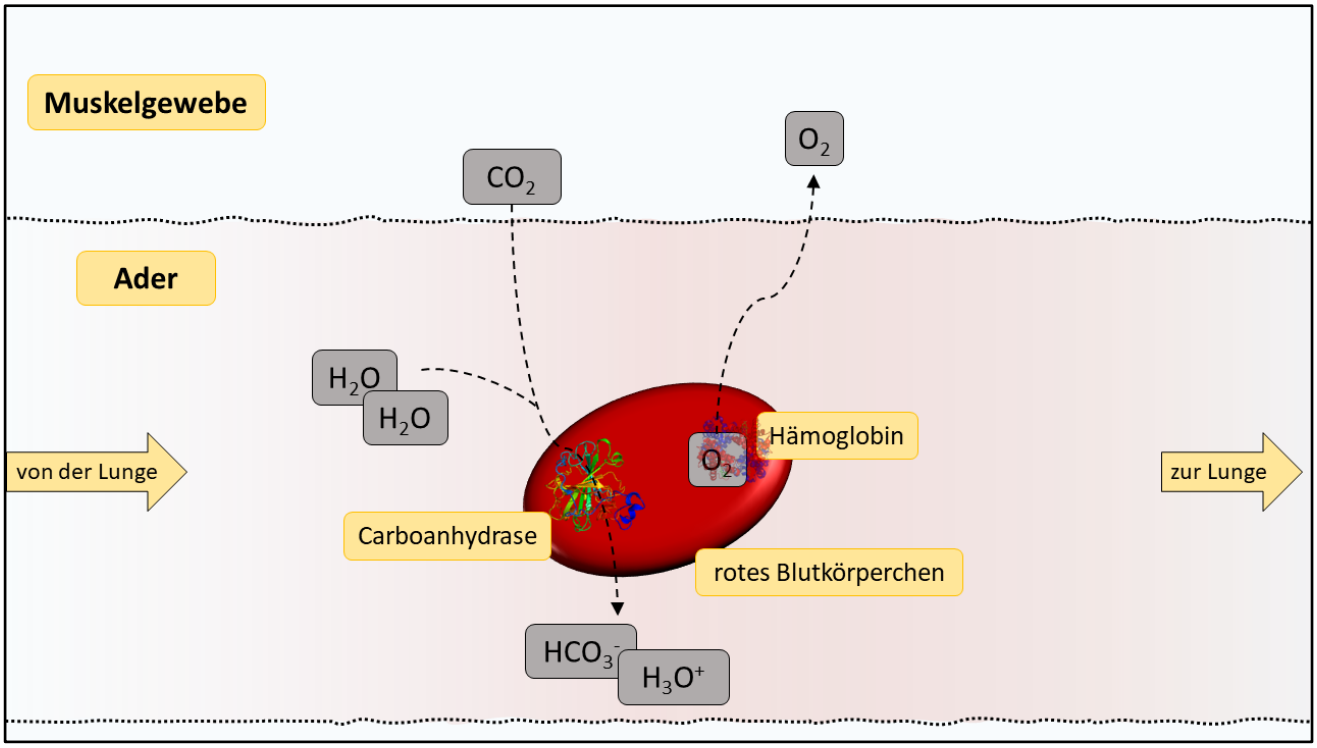


Abb. 1: stark vereinfachte, schematische Darstellung der Abläufe beim Gasaustausch im Blutgefäß im Muskelgewebe

In der Lunge wird das Gleichgewicht erneut gestört und die Reaktion läuft vornehmlich umgekehrt ab. Aus Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und einem Oxonium-Ion (H_3O^+) entsteht wieder vermehrt gasförmiges Kohlenstoffdioxid, das wir ausatmen (s. Abb. 2).

G. von Borstel 2021 nach früheren einer Version im Team LNCU. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.
Abb. der Carboanhydrase https://snl.no/enzymer unter public domain, Abb. des Hämoglobins von Christian Toscan, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Der Prozess der Gleichgewichtseinstellung nach einer Störung findet überwiegend am Enzym „Carboanhydrase“ in den roten Blutkörperchen statt. Carboanhydrase vergrößert die Reaktionsrate von Hin- und Rückreaktion also zwischen gelöstem Hydrogencarbonat und gasförmigem Kohlenstoffdioxid ca. um das

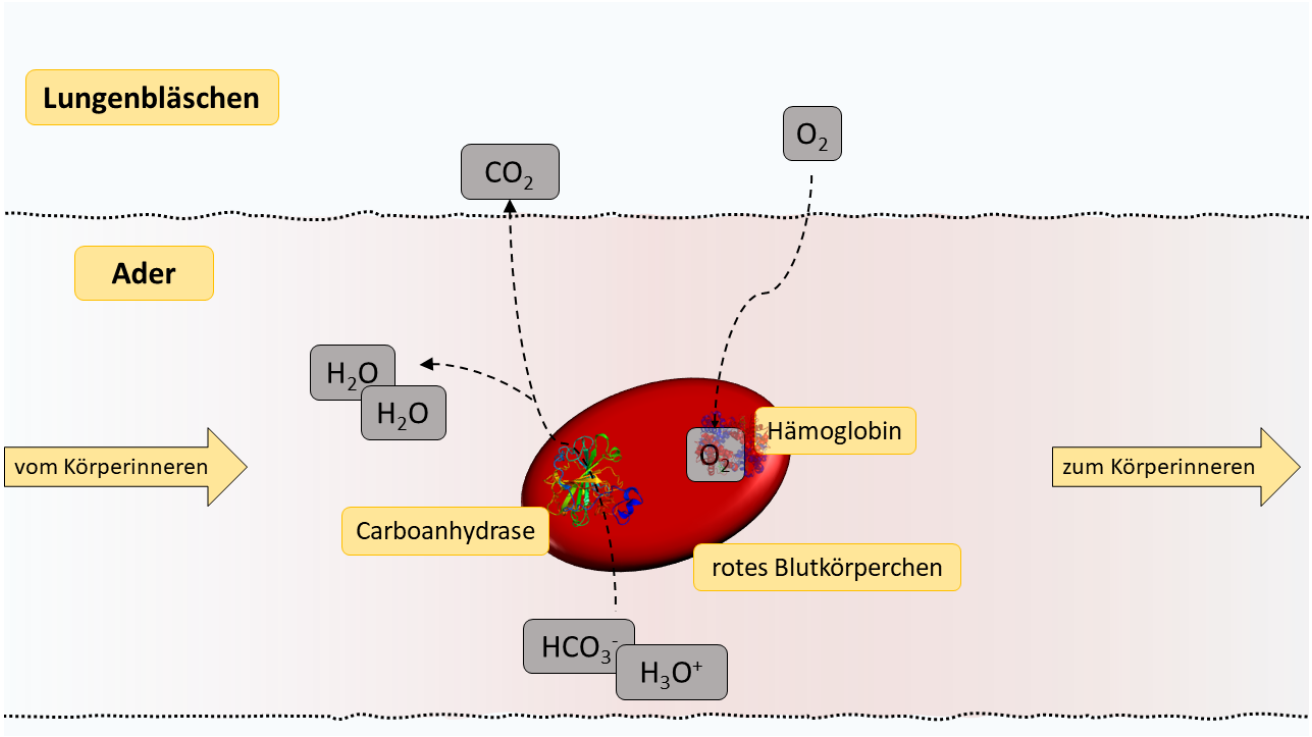


Abb. 2: stark vereinfachte, schematische Darstellung der Abläufe beim Gasaustausch im Blutgefäß im Lungengewebe

Zehnmillionenfache.
Der beim Einatmen aufgenommene Sauerstoff ist mit 40g/L bei Normalbedingungen sehr schlecht wasserlöslich. Er bindet sich aber gut an den Farbstoff „Hämoglobin“ in den roten Blutkörperchen und wird so durch den Körper transportiert. Die Aufnahme von Sauerstoff in der Lunge und die Abgabe im Gewebe ist durch Gleichgewichtsstörungen begründet.
Zum einen ist in den Lungenbläschen der Partialdruck des Sauerstoffs deutlich größer als im Blut. In den Muskelzellen ist er hingegen deutlich geringer als im Blut. Daneben ist aber auch die lokale Konzentration an H_3O^+-Ionen für die Versorgung des Körpers mit Sauerstoff bedeutsam. Bei vergleichsweise niedrigen Konzentrationen an H_3O^+-Ionen hat das Hämoglobin im Blut eine etwas andere Struktur als bei höheren Konzentrationen. Bei den niedrigeren Konzentrationen an H_3O^+-Ionen steigt dadurch das Bindungsbestreben von Hämoglobin zu Sauerstoff („Bindungsaffinität“) und die Sauerstoff-Aufnahme im Blut ist erhöht. Bei höheren H_3O^+-Ionen Konzentrationen hingegen sinkt die Bindungsaffinität. 1904 entdeckte Christian Bohr diesen Effekt, der heute nach ihm benannt ist.

Zusatzinformationen

Operator (AFB)	Beschreibung der erwarteten Leistung
angeben (I-II)	Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten ohne nähere Erläuterungen aufzählen
darstellen (I-II)	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden und Bezüge in angemessenen Kommunikationsformen strukturiert wiedergeben
erklären (I-III)	Einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich zum Ausdruck bringen
erläutern (I-III)	Einen Sachverhalt durch zusätzliche Informationen (chemische Formeln und Gleichungen) veranschaulichen und verständlich machen

G. von Borstel 2021 nach früheren einer Version im Team LNCU. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.
Abb. der Carboanhydrase https://snl.no/enzymer unter public domain, Abb. des Hämoglobins von Christian Toscan, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Name		
Teil	**Der Prüfling …**	**err/max**
1.1	***Gibt drei Reaktionsgleichungen für die Gleichgewichtsreaktionen zur Bildung von Hydrogencarbonat ausgehend von gasförmigen Kohlenstoffdioxid über Kohlensäure an:*** *Hinweis: Das gekoppelte Gleichgewicht wurde in Zusammenhang mit Mineralwasser erarbeitet.* (1) $CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(aq)$ (2) $CO_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$ (3) $H_2CO_3(aq) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + HCO_3^-(aq)$	/6 (AFB I)
1.2	***Erläutert mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier, warum sich … viel Hydrogencarbonat bildet, … wiederum viel gasförmiges Kohlenstoffdioxid aus dem Blut austritt:*** Im Körperinneren entsteht durch den Umsatz der Kohlenhydrate viel gasförmiges Kohlenstoffdioxid. Beim Übertritt ins Blut erhöht sich dort die Konzentration der Edukte in Gleichgewicht (1). Auf die Störung des Gleichgewichts folgt nach Le Chatelier ein Prozess, in dem vermehrt Produkte entstehen $CO_2\ (g) \rightleftarrows CO_2(aq)$ $CO_2(aq) + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$ $H_2CO_3 + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + HCO_3^-(aq)$ Dies führt zu einer Wiedereinstellung der Gleichgewichte (1) – (3) mit einer erhöhten Konzentration an Hydrogencarbonat. In der Lunge wird permanent Kohlenstoffdioxid in großer Konzentration abgeatmet und Luft mit Kohlenstoffdioxid in niedriger Konzentration eingeatmet. Damit haben wir eine Umkehrung des oben beschriebenen Sachverhaltes (⇄).	/8 (AFB II)
1.3	***Erklärt … keine „Carboanhydrase" im Körper vorhanden wäre. … stellt … allgemein dar, … Katalysatoren einen Einfluss … haben.*** Die Carboanhydrase ist ein Enzym, welches für eine schnelle Einstellung des Gleichgewichtes sorgt. Ohne die Carboanhydrase würde Kohlenstoffdioxid nicht schnell genug in Hydrogencarbonat umgewandelt und umgekehrt. Beim Durchströmen des Blutes durch die Lunge käme es ohne Carboanhydrase aufgrund der geringen Reaktionsraten in der Kürze der Zeit trotz der Störung des Gleichgewichts möglicherweise nicht zu der oben beschriebenen Wiedereinstellung und somit könnte nicht genügend gasförmiges Kohlenstoffdioxid den Körper verlassen. Katalysatoren wie Carboanhydrase bewirken keine Störungen von bestehenden Gleichgewichten, da ihre Gegenwart weder K noch Q im Massenwirkungsgesetz beeinflusst. Sie beschleunigen lediglich die Reaktionsraten im Prozess der Einstellung eines Gleichgewichtes und folglich die Einstellung von Gleichgewichten um ein Vielfaches. Auf die Konzentrationen der Stoffe im Gleichgewicht hat kein Katalysator einen Einfluss, da er die Aktivierungsenergie für die Hin- und die Rückreaktion gleichermaßen herabsetzt.	8 (AFB II/III)
1.4	***Erklärt die Wirkmechanismen, die im sogenannten Bohr-Effekt zusammengefasst sind:*** In der Lunge wird durch das vermehrte Abatmen von Kohlenstoffdioxid dessen Konzentration gesenkt. Gemäß der Erläuterungen in A 1.2 verringert sich dabei auch die Konzentration an Oxonium-Ionen. Dadurch nimmt die Sauerstoff-Affinität des Hämoglobins zu und es wird vermehrt Sauerstoff an das Hämoglobin gebunden und mit dem Blut in den Körper transportiert. In den Blutgefäßen (Kapillaren) von stoffwechselaktiven Geweben liegen aber höhere Konzentrationen an CO_2 und damit gemäß des oben genannten eine höhere Konzentration an Oxonium-Ionen vor. Dies sorgt für eine veränderte Struktur des Hämoglobins. Dadurch sinkt die Bindungsaffinität von Hämoglobin zu Sauerstoff und Sauerstoff wird an der richtigen Stelle (im Körper) freigesetzt.	6 (AFB II/III)
	Weitere aufgabenbezogene Kriterien	/3

Punkteverteilung: AFB I/II/III 6/14/8

G. von Borstel 2021 nach früheren einer Version im Team LNCU. Alle Materialien und Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, unter CC-BY-SA 4.0.
Abb. der Carboanhydrase https://snl.no/enzymer unter public domain, Abb. des Hämoglobins von Christian Toscan, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons