

Materialgebundene Aufgabe bzw. Klausuraufgabe

Kohlenstoffdioxid – Gleichgewichtsreaktionen im menschlichen Körper

Aufgabenstellung

1. **Geben** Sie die gekoppelten Gleichgewichtsreaktionen, die zur Bildung von Hydrogencarbonat führen, ausgehend von gasförmigen Kohlenstoffdioxid über Kohlensäure in Reaktionsgleichungen **an**. (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 an diesem Beispiel allgemein **dar**, inwiefern Katalysatoren einen Einfluss auf die Einstellung oder die Lage von 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 bzw. beeinflussen. (8 Pkt.)

Fachspezifische Vorgaben

Im Körper entsteht durch die Reaktion von Kohlenhydraten mit Sauerstoff (O_2) permanent Kohlenstoffdioxid (CO_2), welches über das Blut in die Lunge transportiert wird.

Das Kohlenstoffdioxid reagiert dabei im Körper teilweise zu Hydrogencarbonat (HCO_3^-). Dieses ist aufgrund seiner Ladung deutlich besser wasserlöslich als Kohlenstoffdioxid. Es kann somit in effizienter Weise über das Blut zu den Lungen abtransportiert werden (s. Abb. 1).

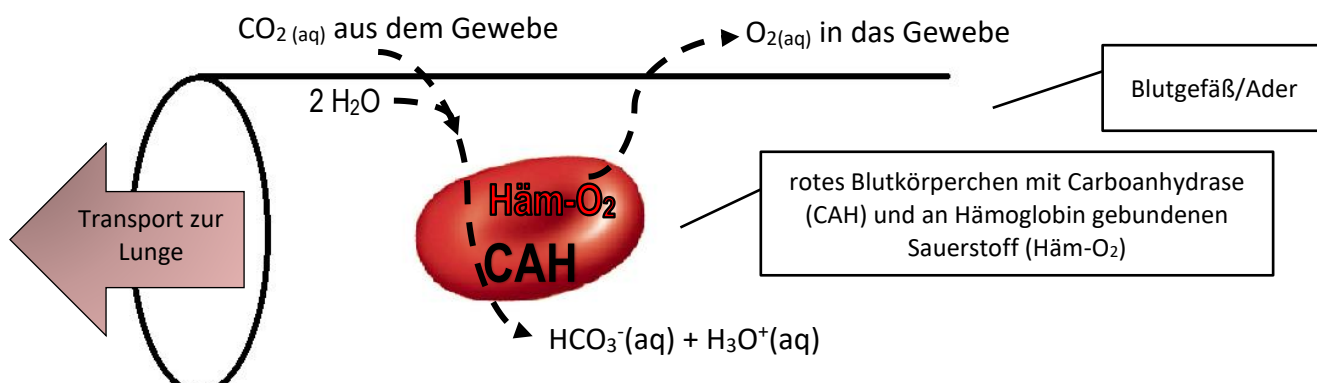


Abb. 1: Stark vereinfachte, schematische Darstellung der Abläufe im Blutgefäß im Muskelgewebe.

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

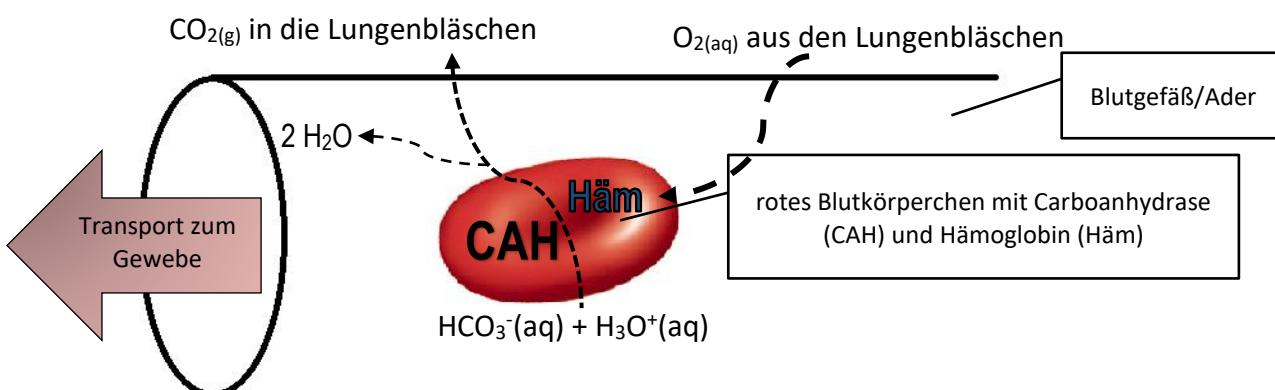


Abb. 2: Stark vereinfachte, schematische Darstellung der Abläufe im Blutgefäß in der Lunge.

Materialgebundene Aufgabe bzw. Klausuraufgabe

Kohlenstoffdioxid – Gleichgewichtsreaktionen im menschlichen Körper

Sowohl der zügige Abtransport als auch das rechtzeitige Ausgasen zum Abatmen von Kohlenstoffdioxid wird erst durch das Enzym „Carboanhydrase“ möglich, von dem man besonders viel in roten Blutkörperchen findet. Carboanhydrase beschleunigt die Hinreaktion (Bildung von Hydrogencarbonat) und die Rückreaktion (Bildung von gasförmigem Kohlenstoffdioxid) um ein Vielfaches.

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 deutlich größer als im Blut und in den Muskelzellen deutlich geringer. 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

Name		
Aufgabe 1		
Teil	Der Prüfling ...	err/max
1.1	<p>Gibt drei Reaktionsgleichungen für die Gleichgewichtsreaktionen zur Bildung von Hydrogencarbonat ausgehend von gasförmigen Kohlenstoffdioxid über Kohlensäure an:</p> <p>Hinweis: Das gekoppelte Gleichgewicht wurde in Zusammenhang mit Mineralwasser erarbeitet.</p> <p>(1) $CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CO_{2(aq)}$ (2) $CO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)}$ (3) $H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HCO_3^-_{(aq)}$</p>	/6 (AFB I)
1.2	<p>Erläutert mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier, warum sich im körperinneren Blut viel Hydrogencarbonat bildet, beim Durchströmen der Lunge aber wiederum viel gasförmiges Kohlenstoffdioxid aus dem Blut austritt:</p> <p>Im Körperinneren entsteht durch den Umsatz der Kohlenhydrate viel gasförmiges Kohlenstoffdioxid. Damit erhöht sich die Konzentration der Edukte in Gleichgewicht (1). Das System reagiert auf die veränderte Gleichgewichtslage nach Le Chatelier, indem vermehrt Produkte entstehen. Dies führt demzufolge auch zu einer Verschiebung von Gleichgewicht (2) und letztlich zu einer vermehrten Bildung von Hydrogencarbonat (3). 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.</p>	/8 (AFB II)
1.3	<p>Erklärt, was passieren würde, wenn keine „Carboanhydrase“ im Körper vorhanden wäre. Und stellt Sie an diesem Beispiel allgemein dar, inwiefern Katalysatoren einen Einfluss auf die Einstellung oder die Lage von chemischen Gleichgewichten haben.</p> <p>Die Carboanhydrase ist ein Enzym, welches für eine schnelle Einstellung des Gleichgewichtes sorgt. Ohne die Carboanhydrase würde das Kohlenstoffdioxid nicht schnell genug in Hydrogencarbonat umgewandelt und umgekehrt. Beim Durchströmen des Blutes durch die Lunge käme es also in der Kürze der Zeit gar nicht zu einer Rückreaktion und somit könnte das Kohlenstoffdioxid den Körper nicht verlassen. Katalysatoren wie Carboanhydrase beschleunigen stets die Einstellung eines Gleichgewichtes. Auf die Lage des Gleichgewichtes hat das Enzym wie alle Katalysatoren aber keinen Einfluss, da es gleichermaßen Hin- wie Rückreaktion beschleunigt.</p>	6 (AFB II/III)
1.4	<p>Erklärt die Wirkmechanismen, die im sogenannten Bohr-Effekt zusammengefasst sind:</p> <p>In der Lunge wird durch das vermehrte Abatmen von Kohlenstoffdioxid dessen Konzentration gesenkt. Gemäß der Gleichungen (1) - (3) verringert sich die Konzentration an Oxonium-Ionen. Dadurch nimmt die Sauerstoff-Affinität des Hämoglobins zu und es wird vermehrt Sauerstoff an das Hämoglobin gebunden und wegtransportiert. In den Blutgefäßen (Kapillaren) von stoffwechselaktiven Geweben liegen aber höhere Konzentrationen an CO₂ und damit gemäß der Gleichungen (1) - (3) 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.</p>	8 (AFB II/III)
	Weitere aufgabenbezogene Kriterien	/3

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