

## Materialgebundene Aufgabe bzw. Klausuraufgabe

### Kohlenstoffdioxid – Gleichgewichtsreaktionen im menschlichen Körper

#### Aufgabenstellung

1. **Geben** Sie die drei Reaktionsgleichungen für die Gleichgewichtsreaktionen zur Bildung von Hydrogencarbonat ausgehend von gasförmigen Kohlenstoffdioxid über Kohlensäure **an**. (6 Pkt.)
2. **Erläutern** Sie mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier, warum sich im körperinneren Blut viel Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) bildet, beim Durchströmen der Lunge aber wiederum viel gasförmiges Kohlenstoffdioxid aus dem Blut austritt. (8 Pkt.)
3. **Erklären** Sie die Wirkmechanismen, die im sogenannten Bohr-Effekt zusammengefasst sind. (8 Pkt.)
4. **Erklären** Sie, welche Rolle das Enzym „Carboanhydrase“ in diesem Zusammenhang spielt und **stellen** Sie an diesem Beispiel **dar**, inwiefern Katalysatoren einen Einfluss auf die Einstellung oder die Lage von chemischen Gleichgewichten haben. (6 Pkt.)

#### Fachspezifische Vorgaben

Im Körper entsteht durch die Oxidation von Kohlenhydraten permanent Kohlenstoffdioxid, welches über das Blut in die Lunge transportiert wird und hier den Körper verlässt.

Das Kohlenstoffdioxid reagiert im Körper teilweise zu Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), welches als Ion deutlich besser wasserlöslich als Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) ist. Somit kann es in effizienter Weise über das Blut zu den Lungen abtransportiert werden (s. Abb. 1).

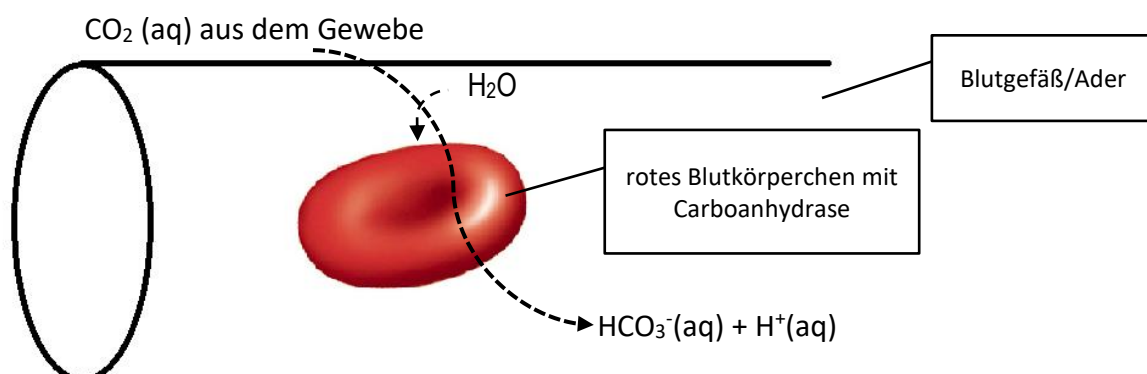


Abb. 1: Stark vereinfachte, schematische Darstellung der Abläufe im Blutgefäß im Muskelgewebe.

In der Lunge läuft die Reaktion umgekehrt ab. Aus Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) und einem Proton ( $\text{H}^+$ ) entsteht wieder Kohlenstoffdioxid, das wir ausatmen (s. Abb. 2).

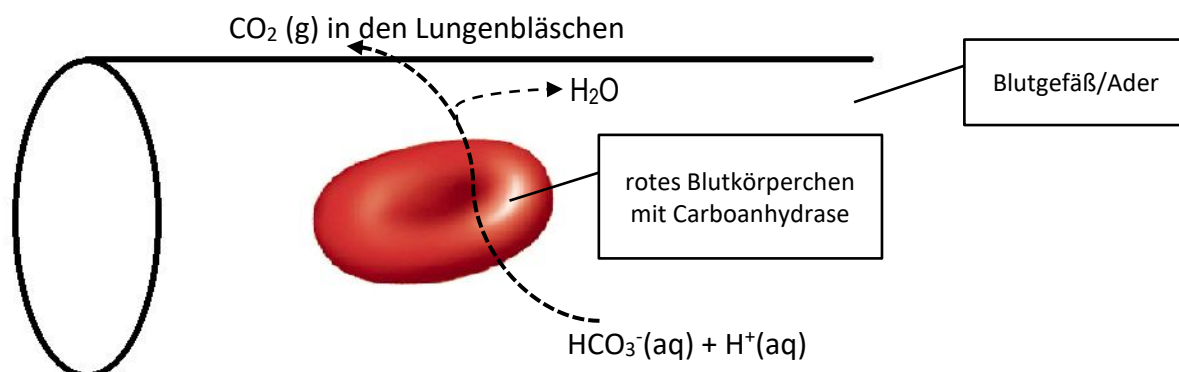


Abb. 2: Stark vereinfachte, schematische Darstellung der Abläufe im Blutgefäß in der Lunge.

Der vollständige Transport wird zum einen durch das Enzym „Carboanhydrase“, welches eines der Enzyme mit der schnellsten Umsatzrate im menschlichen Körper ist, erst möglich. Carboanhydrase

## Materialgebundene Aufgabe bzw. Klausuraufgabe

### Kohlenstoffdioxid – Gleichgewichtsreaktionen im menschlichen Körper

beschleunigt die Reaktion von Kohlendioxid mit Wasser zu Hydrogencarbonat und einem Proton ( $H^+$ ) und umgekehrt um ein Vielfaches. Besonders viel Carboanhydrase findet man in den roten Blutkörperchen (Erythrocyten).

Die Konzentration an  $H^+$ -Ionen ist für sehr viele Abläufe relevant und wird durch verschiedene Systeme im menschlichen Körper nahezu konstant gehalten. Steigt die Konzentration an  $H^+$ -Ionen, sinkt der sogenannte pH-Wert.

Bei höheren Kohlenstoffdioxidkonzentrationen und sinkendem pH-Wert verändert sich interessanterweise die Struktur des Hämoglobins ein wenig. Dadurch sinkt die Bindungsaffinität von Hämoglobin zu Sauerstoff und die Sauerstofffreisetzung wird begünstigt. Bei steigendem pH-Wert wird umgekehrt die Bindungsaffinität begünstigt und somit die  $O_2$ -Aufnahme von Hämoglobin erhöht, so wie es z.B. in der Lunge der Fall ist.

1904 entdeckte Christian Bohr diese Zusammenhänge, die unter seinem Namen zusammengefasst wurden. Der Bohr-Effekt begünstigt sowohl die  $O_2$ -Aufnahme in der Lunge, als auch die  $O_2$ -Abgabe im Gewebe.

#### 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

# Musterlösung zur Aufgabe

## Kohlenstoffdioxid – Gleichgewichtsreaktionen im menschlichen Körper

Name		
<b>Aufgabe 1</b>		
Teil	Der Prüfling ...	err/max
1.1	<p><b>Gibt drei Reaktionsgleichungen für die Gleichgewichtsreaktionen zur Bildung von Hydrogencarbonat ausgehend von gasförmigen Kohlenstoffdioxid über Kohlensäure an:</b></p> <p>Hinweis: Das gekoppelte Gleichgewicht wurde in Zusammenhang mit Mineralwasser erarbeitet.</p> <p>(1) <math>CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CO_{2(aq)}</math></p> <p>(2) <math>CO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)}</math></p> <p>(3) <math>H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H_{(aq)}^+ + HCO_{3(aq)}^-</math></p>	/6 (AFB I)
1.2	<p><b>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:</b></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><b>Erklärt die Wirkmechanismen, die im sogenannten Bohr-Effekt zusammengefasst sind:</b></p> <p>In den Blutgefäßen (Kapillaren) von stoffwechselaktiven Geweben liegen höhere Konzentrationen an <math>CO_2</math> und damit gemäß der Gleichungen (1) - (3) höhere Konzentrationen an Protonen vor. Der damit verbundene, vergleichsweise niedrigere pH-Wert des Blutes sorgt für eine veränderte Struktur des Hämoglobins. Dadurch sinkt die Bindungsaffinität von Hämoglobin zu Sauerstoff und Sauerstoff wird an der richtigen Stelle freigesetzt.</p> <p>In der Lunge wird durch das vermehrte Abatmen von Kohlenstoffdioxid dessen Konzentration gesenkt und der pH-Wert erhöht. Dadurch nimmt die Sauerstoff-Affinität des Hämoglobins zu und es wird vermehrt Sauerstoff an das Hämoglobin gebunden und wegtransportiert.</p>	8 (AFB II/III)
1.4	<p><b>Erklärt, welche Rolle das Enzym „Carboanhydrase“ in diesem Zusammenhang spielt und stellt an diesem Beispiel dar, inwiefern Katalysatoren einen Einfluss auf die Einstellung oder die Lage von chemischen Gleichgewichten haben:</b></p> <p>Die Carboanhydrase ist ein Enzym, welches für eine schnelle Einstellung des Gleichgewichtes sorgt.</p> <p>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.</p> <p>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)
	Weitere aufgabenbezogene Kriterien	/3

Punkteverteilung: AFB I/II/III 6/18/4