

## Arbeitsblatt PLUS

# Stoffwechsel: Rückblick und Vertiefung

### Aufgaben

#### 1 Vorgänge im Mitochondrium

- 1.1 Beurteilen Sie die folgenden Aussagen begründet und stellen Sie diese ggf. richtig:
- a) „Die bei der Reduktion von NADH und FADH<sub>2</sub> freigesetzte Energie führt dazu, dass ein Protonengradient an der inneren Mitochondrienmembran entsteht.“
  - b) „Im Zwischenmembranraum des Mitochondriums befinden sich mehr Wasserstoff-Ionen pro Raumeinheit als im Matrixraum.“
  - c) „Entscheidend für die Bildung von ATP ist, dass sich im Zwischenmembranraum des Mitochondriums mehr Elektronen befinden als im Matrixraum.“
  - d) „Im Zwischenmembranraum des Mitochondriums befinden sich mehr negative Ladungen als im Matrixraum.“
- 1.2 Begründen Sie, ob an der inneren Mitochondrienmembran eine osmotische bzw. eine elektrostatische Kraft herrscht und – wenn ja – in welche Richtung sie auf Wasserstoff-Ionen wirkt.

#### 2 Energetische Koppelung

Das Prinzip der energetische Koppelung wird vom LehrplanPLUS nicht verlangt, spielt aber in naturwissenschaftlichen Studiengängen eine große Rolle. Es besagt, dass eine endotherme Reaktion dann freiwillig abläuft, wenn sie an eine exotherme Reaktion gekoppelt ist, die mehr Energie freisetzt, als die endotherme Reaktion benötigt. (M 1)

- 2.1 Erklären Sie die energetische Koppelung anhand des mechanischen Modells, wie es in B1-B4 dargestellt ist. Ergänzen Sie bei den Abbildungen B1-B4 die Bezeichnungen: „gekoppelter Prozess“ bzw. „nicht gekoppelter Prozess“.
- 2.2 Das Energiediagramm B5 (nicht maßstäblich) stellt die in B1-B4 gezeigten Situationen dar.
- Ergänzen Sie in B5 die Begriffe „endotherm“ (Prozess unter Energieaufnahme) und „exotherm“ (Prozess unter Energieabgabe) sowie die Kennbuchstaben A-D auf den in B5 eingetragenen Energieniveaus. Kennzeichnen Sie in B5 jeweils die Beträge der auftretenden Energieentwertung („Abwärme“).
- 2.3 Die Phosphorylierung von Glukose zu Glukose-6-Phosphat ist ein endothermer Vorgang, die hydrolytische Abspaltung einer Phosphatgruppe von ATP, wobei ADP entsteht, ist ein exothermer Vorgang. Die Reaktionsenergie erhält bei endothermen Vorgängen ein positives, bei exothermen Vorgängen ein negatives Vorzeichen.
- 2.3.1 Formulieren Sie die Wortgleichungen für die beiden in 2.3 genannten Reaktionen und ordnen Sie ihnen die folgenden Werte der Reaktionsenergie zu:
- $- 31 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  bzw.  $+ 14 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 2.3.2 Formulieren Sie die Wortgleichung für die Koppelung der beiden Reaktionen und berechnen Sie daraus die Reaktionsenergie.
- 2.3.3 Begründen Sie in energetischer Hinsicht, warum ATP in einem gekoppelten Prozess eine Phosphatgruppe auf Glucose übertragen kann.

### 3 Heteroatome und Energieinhalt

Der Begriff Heteroatom taucht im LehrplanPLUS nicht auf. Er leitet sich vom griechischen Wort *heteros* (das andere) ab und bezeichnet alle Atomsorten in organischen Stoffen, die nicht Kohlenstoff oder Wasserstoff sind. Sie spielen eine entscheidende Rolle für den Energieinhalt organischer Stoffe.

- 3.1 Formulieren Sie die Strukturformeln folgender Stoffe (mit allen Elektronenpaaren): Methan, Methanol, Methanal (Formaldehyd), Methansäure (Ameisensäure), Kohlenstoffdioxid.
- 3.2 Bestimmen Sie in allen Stoffen aus Aufgabe 3.1 die Oxidationszahl des Kohlenstoffs.
- 3.3 Die folgenden Zahlenwerte geben die freigesetzte Energie bei vollständiger Oxidation dieser Stoffe (in der Reihenfolge wie in 3.1) in  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  an:

– 820 / – 703 / – 523 / – 285 / 0

Leiten Sie daraus eine Regel ab für die Beziehung zwischen der Anzahl der Bindungen zwischen Heteroatomen und dem Kohlenstoffatom im Molekül, der Oxidationsstufe des Kohlenstoffs und dem Energieinhalt des organischen Edukts.

Werte aus Berg et al.: Stryer Biochemie. Springer Verlag, 8. Auflage, 2018

### 4 Wärmekraftmaschinen

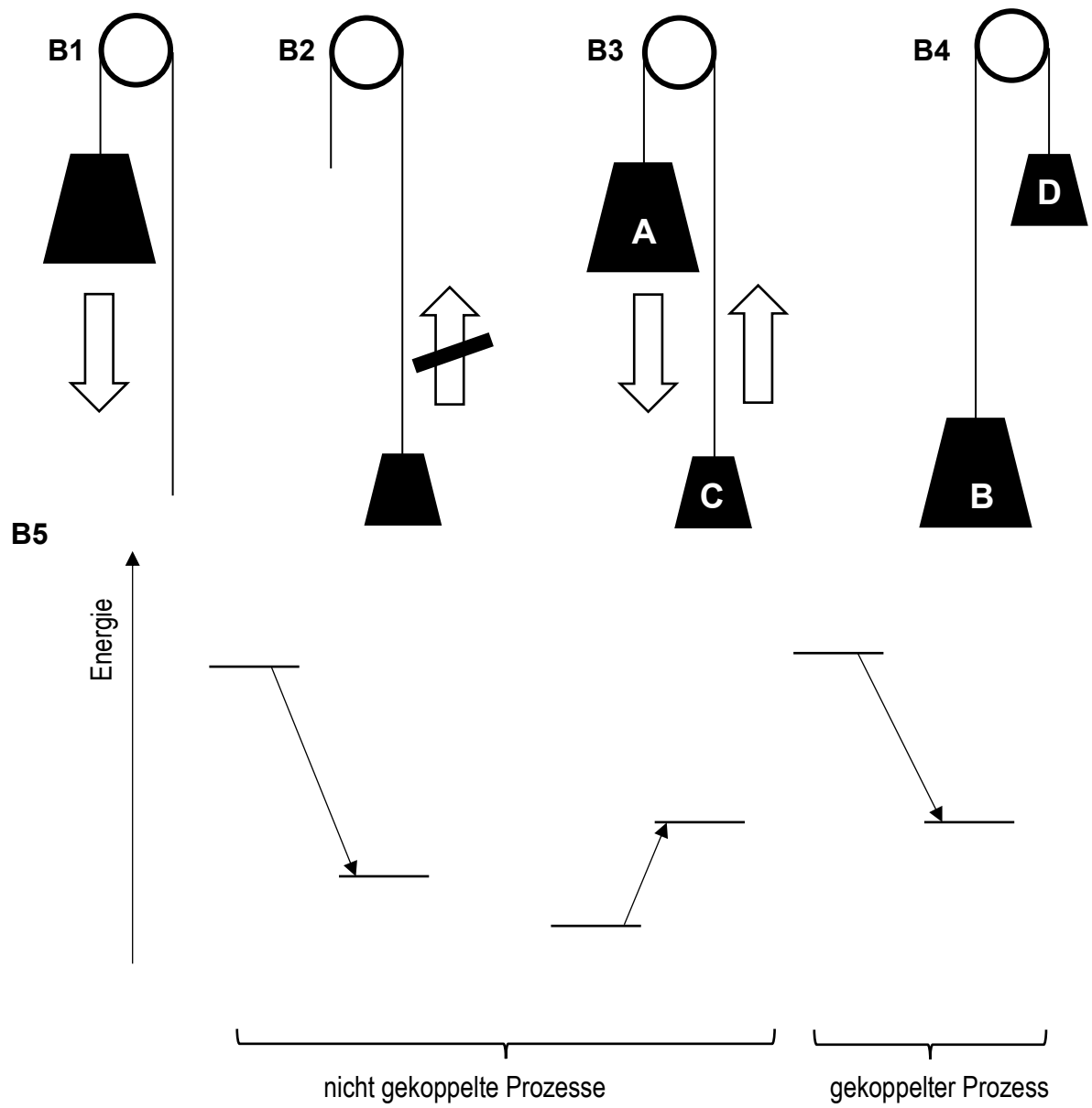
Eine Wärmekraftmaschine wandelt Wärme-Energie in mechanische Energie um. Dabei wird das Phänomen ausgenutzt, dass Regionen mit unterschiedlichen Temperaturen bestrebt sind, dieses Ungleichgewicht auszugleichen. Das Prinzip der Wärmekraftmaschine ist beispielsweise bei einer Dampfturbine sowie allen Verbrennungsmotoren verwirklicht.

- 4.1 Formulieren Sie eine Hypothese zur Frage, ob die Energieumwandlung in Zellen (z. B. in Muskelzellen) nach dem Prinzip einer Wärmekraftmaschine funktioniert.
- 4.2 In einem Kalorimeter werden verschiedene Nahrungsmittel mit reinem Sauerstoff vollständig gebrannt und die dabei freigesetzte Energiemenge gemessen.

Entscheiden Sie begründet, ob diese Energieangaben der Energie entsprechen, die der Zelle nach vollständigem Abbau der Nahrungsmittel in der Zellatmung zur Verfügung steht.

## Materialien

### M1 Energetische Koppelung



## Hinweise für die Lehrkraft:

*Dieses Arbeitsblatt dient dem Rückblick auf verschiedene Aspekte der Stoffwechsel-Biologie und ihrer Vertiefung. Es ergänzt das Arbeitsblatt „Stoffwechsel Rückblick“.*

*Das Arbeitsblatt „Stoffwechsel: Rückblick und Vertiefung“ ist v. a. zur **Begabtenförderung** konzipiert bzw. für interessierte Kursteilnehmer, die in Biologie Abitur ablegen wollen bzw. einen Studiengang aus den Bereichen Biologie, Biochemie, Medizin anstreben. Es wird nicht erwartet, dass die Kursteilnehmer alle Antworten ohne Hilfe selbst finden, sondern dass ggf. bislang nicht gestellte Fragen aufgeworfen werden, die dann z. B. mithilfe des Erwartungshorizonts geklärt werden.*

*Für die Anregungen zu diesem Arbeitsblatt danke ich Philipp Korber, Biomedizinisches Centrum der Ludwig-Maximilians-Universität München.*

### 1.1 Beurteilung von Aussagen zu Vorgängen im Mitochondrium

- a) „Reduktion“ muss durch „Oxidation“ ausgetauscht werden, dann stimmt die Aussage, denn die bei der Oxidation der beiden Energiespeicher freigesetzte Energie treibt die Protonenpumpe an.
- b) korrekte Aussage, das ist der Protonengradient
- c) Diese Aussage ist nicht korrekt. In der Biologie spielen Ladungszustände, die durch Elektronen hervorgerufen werden, keine Rolle. Für die Biologie relevante Ladungszustände werden durch Ionen hervorgerufen.
- d) „Negative“ muss durch „positive“ ersetzt werden, dann stimmt die Aussage, denn im Zwischenmembranraum herrscht ein Überschuss an positiven Teilchen (Protonen).

### 1.2 Kräfte an der inneren Mitochondrienmembran

*Wenn Sie im Unterricht andere Bezeichnungen als osmotische bzw. elektrostatische Kraft verwenden, müssen Sie die Formulierung der Aufgabe entsprechend ändern. (Beide Begriffe sind aus didaktischen Gesichtspunkten von mir formulierte Vorschläge.)*

Der Protonengradient erzeugt eine elektrostatische Kraft an der inneren Mitochondrienmembran, die auf Wasserstoff-Ionen (Protonen) in Richtung Matrixraum wirkt, denn im Zwischenmembranraum befinden sich mehr positive Ladungen als im Matrixraum.

Die Ungleichverteilung der Wasserstoff-Ionen (Protonen) erzeugt auch eine osmotische Kraft, die ebenfalls in Richtung Matrixraum wirkt, also vom Raum der höheren Konzentration zum Raum der niedrigeren Konzentration.

## 2 Energetische Koppelung

*Hinweis: streng genommen müsste hier der Begriff „endotherm“ durch „endergonisch“ und der Begriff „exotherm“ durch „exergonisch“ ersetzt werden, aber diese Begriffe tauchen im LehrplanPLUS nicht auf. Das Suffix -therm bezieht sich nur auf die Änderungen der Wärme-Energie, während das Suffix -ergonisch zusätzlich die Änderungen im Grad der Ordnung bzw. Unordnung (Entropie) mit berücksichtigt.*

### 2.1 mechanisches Modell

B1 zeigt, dass ein großes Gewicht aufgrund der Schwerkraft nach unten fällt und dabei ein Seil, das über eine Spule geführt wird, nachzieht, so dass sich dessen Anteil rechts nach oben bewegen kann: freiwilliger Vorgang, bei dem Energie freigesetzt wird.

B2 zeigt, dass sich ein kleines Gewicht nicht von alleine nach oben bewegen kann.

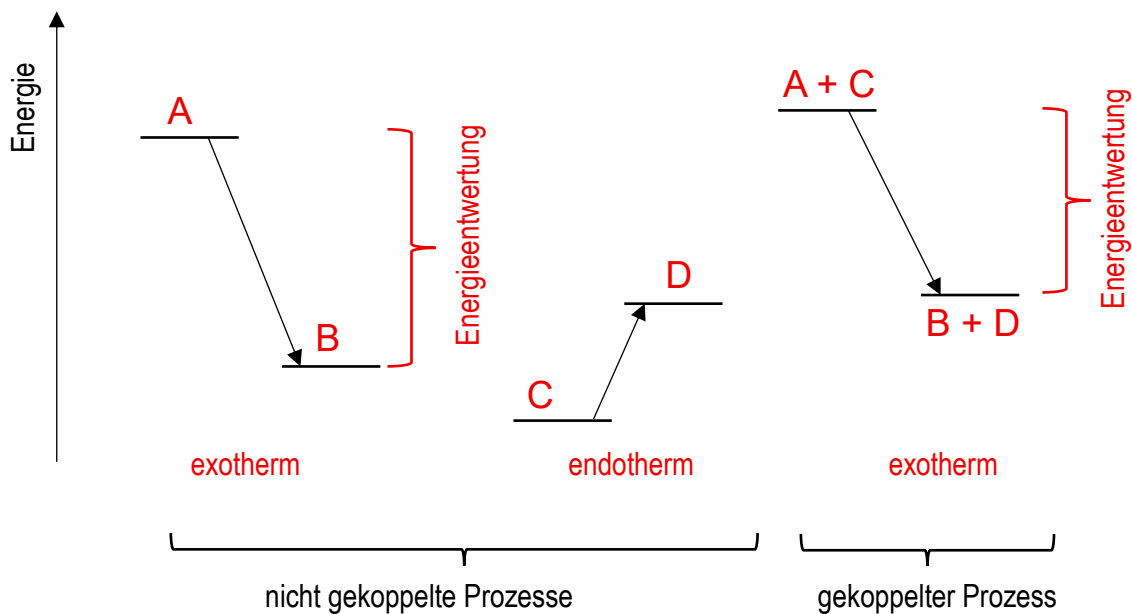
B3 zeigt eine Koppelung beider Gewichte durch ein Seil, das über eine Spule geführt wird.

B4 zeigt die Situation nach der freiwilligen Bewegung. Die Energie, die beim freiwilligen Absinken des großen Gewichts freigesetzt wird, wird teilweise dem kleinen Gewicht zugeführt, das dadurch angehoben wird. Der Rest der freigesetzten Energie entspricht der Energieentwertung.

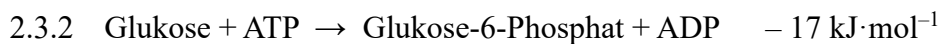
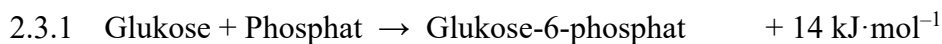
nicht gekoppelter Prozess: B1 und B2

gekoppelter Prozess: B3 und B4

## 2.2 Energiediagramm



## 2.3 Übertragung auf Phosphorylierung von Glucose



2.3.3 Bei der Abspaltung einer Phosphatgruppe von ATP wird mehr Energie freigesetzt, als für die Phosphorylierung von Glukose benötigt wird. Bei einer direkten Übertragung einer Phosphatgruppe von ATP auf Glukose wird ein Teil der bei der ATP-Spaltung freigesetzten Energie in die (endotherme) Phosphorylierung der Glukose gesteckt, der Rest stellt eine Energieentwertung dar.

### **3 Heteroatome und Energieinhalt**

#### **3.2 Oxidationszahl des Kohlenstoffs:**

Methan:  $-IV$

Methanol:  $-II$

Methanal:  $0$

Methansäure:  $+II$

Kohlenstoffdioxid:  $+IV$

#### **3.3 Je mehr Bindungen zwischen Heteroatomen (hier: Sauerstoff-Atomen) und dem Kohlenstoff-Atom im Molekül vorhanden sind, desto höher ist die Oxidationsstufe des Kohlenstoff-Atoms und desto geringer ist der Energieinhalt des Moleküls.**

### **4 Wärmekraftmaschinen**

#### **4.1 In der Zelle werden keine Temperaturunterschiede zwischen zwei Kompartimenten aufgebaut. Deshalb entspricht die Energieumwandlung in Zellen nicht dem Prinzip einer Wärmekraftmaschine.**

#### **4.2 Die Energie, die der Zelle zur Verfügung steht, steckt in den kurzzeitigen Energiespeichern, v. a. in ATP. Im Kalorimeter wird die gesamte freigesetzte Energiemenge gemessen. Weil die Energieentwertung beim vollständigen Abbau von Glukose in der Zelle etwa die gleiche Größenordnung hat wie die Energiespeicherung in Form von ATP, ist die biologisch nutzbare Energie wesentlich kleiner als die im Kalorimeter gemessene Energiemenge.**