Theoretische Betrachtung der Gärung

Woher stammt die Energie?

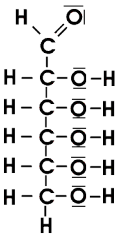
Aufgabenstellung

1. **Beschreibe** vergleichend den aeroben und den anaeroben Abbau von Glucose mit eigenen Worten.
2. **Erkläre**, warum Hefepilze in der Lage sein müssen, Zucker anaerob abzubauen.
3. **Erläutere** mit Hilfe geeigneter Strukturformeln und unter Verwendung der fettgedruckten Fachbegriffe aus Infokasten 3, warum beim Abbau von Glucose mit Sauerstoff mehr Energie frei wird als beim Abbau ohne Sauerstoff.

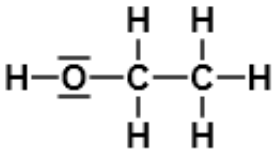
Material

Alkohol entsteht durch chemische Reaktionen in Lebewesen, die man „alkoholische Gärung" nennt. Die alkoholische Gärung ist ein mehrstufiger Prozess. Vereinfacht wird dabei Zucker (z. B. Glucose, Summenformel $C_6H_{12}O_6$) ohne Mitwirkung von Sauerstoff von kleinen Organismen wie Hefepilzen zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid abgebaut: $1\ C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$

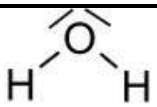
Strukturformeln ausgewählter Moleküle



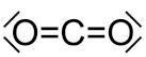
Glucose



Ethanol



Wasser



Kohlenstoffdioxid

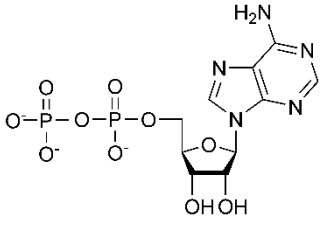
Reichert sich der Alkohol in der Umgebung an, sterben die Hefezellen an der „Überdosis" des starken Zellgiftes. Warum tun Hefen das trotzdem? Die einfach Antwort: alle Organismen benötigten Energie zum Überleben!

Durch den Abbau von Zucker setzen Lebewesen Energie frei, die sie u. a. in einem Molekül namens **A**denosin**t**ri**p**hosphat speichern und bei Bedarf daraus wieder gewinnen.

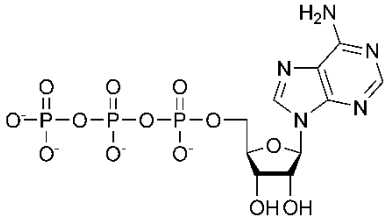
ATP und ADP – Der Energiespeicher aller Lebewesen!

Adenosin**t**ri**p**hosphat (mit **ATP** abgekürzt, was etwas über die im Molekül verbundenen Teilgruppen aussagt) ist ein relativ großes Molekül. Es ist ein „Energiespeicher der Zellen". ATP wird aus **A**denosin**di**phosphat (**ADP**) und einem **Phosphat-Ion** (PO_4^{3-}) hergestellt und an anderer Stelle wieder zerlegt, um die darin gespeicherte Energie dann zu nutzen.

Adenosintriphosphat (ATP) enthält drei Phosphatreste. Da alle drei Phosphatgruppen in biologischen Systemen negativ geladen sind und dicht beieinander gedrängt liegen, stoßen sie sich ab, vergleichbar einer gespannten Feder. Zur Herstellung von ATP wird also Energie benötigt, die bei der Spaltung in ADP und einen Phosphatrest wieder frei wird.



„ADP"



„ATP"

Wenn Glucose **mit Sauerstoff** reagiert, also beim **"aeroben"** Abbau, entstehen pro Molekül 38 Moleküle ATP, vereinfacht dargestellt:

$1\ C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$ | freiwerdende Energie reicht aus, 38 Moleküle ATP aufzubauen

Theoretische Betrachtung der Gärung

Woher stammt die Energie?

Hefezellen müssen aber auch schon mal längere Zeit **ohne Sauerstoff** überleben. Dann stellen sie ihren Stoffwechsel von Atmung auf Gärung um und zerlegen die Glucose Moleküle lediglich unter Mithilfe von Enzymen. Unter diesen **"anaeroben"** Bedingungen wird aber vergleichsweise nur sehr wenig Energie gewonnen. Die Produkte sind auch nicht mehr Wasser und Kohlenstoffdioxid, sondern Ethanol und Kohlenstoffdioxid. Das zeigt die formale Reaktionsgleichung der alkoholischen Gärung, vereinfacht:

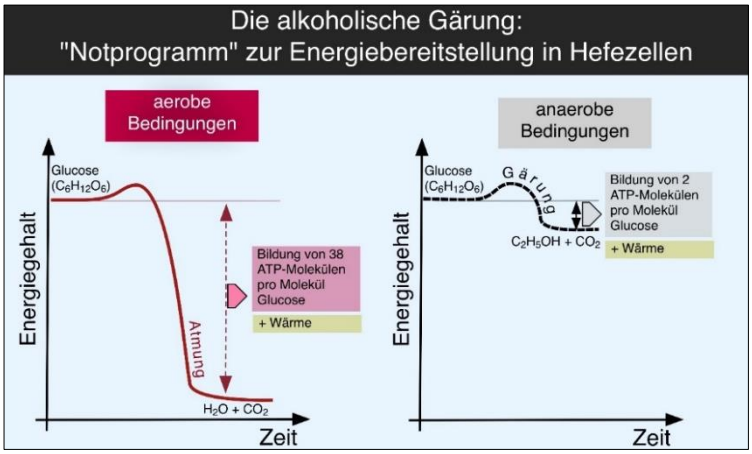


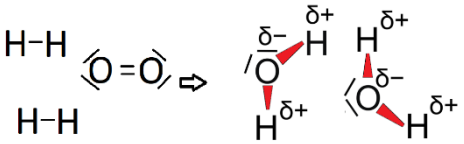
Bild von Andreas Böhm 2017

1 $C_6H_{12}O_6$ → 2 C_2H_5OH + 2 CO_2 | freiwerdende Energie reicht aus, 2 Moleküle ATP aufzubauen

Infokasten 3: Energie aus chemischen Reaktionen

Hast du schon einmal nachgedacht, warum bei chemischen Reaktionen Energie frei oder aufgenommen wird? Eine mögliche Antwort besteht aus zwei Teilen:

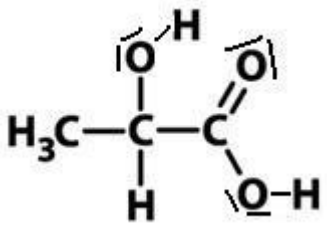
- oft wird Energie benötigt, um **Elektronenpaarbindungen** zwischen Atomen in Molekülen zu brechen. Dann wird aber Energie frei, wenn sich neue Bindungen bilden. Entstehen dabei stärkere Bindungen, wird mehr Energie frei, als man zuvor für den Bindungsbruch benötigte. Bilden sich aus unpolaren Bindungen **polare** Bindungen, so sind in den neuen Bindungen die Elektronen näher an die **elektronegativeren** (die stärker elektronenziehenden) Atome gerückt und die Bindungen sind oftmals stabiler. Dies kannst du dir am Beispiel der Reaktion von Wasserstoff (EN 2,2) und Sauerstoff (EN 3,5) klar machen:
  Die Elektronen, die zuvor zwischen den beiden Wasserstoffatomen waren, sind nach dem Neuknüpfen der Bindungen nun zwischen Wasserstoff und Sauerstoff und damit näher am elektronegativeren Atom.



- Energie wird gebraucht, wenn Ordnung hergestellt werden muss. Umgekehrt wird in der Regel Energie frei, wenn Unordnung entsteht, z. B. in dem große Moleküle in viele kleinere Moleküle gespalten werden.

Weitergedacht:

Auch im menschlichen Körper kann Ähnliches passieren. Bei Sauerstoffmangel, z. B. während eines extremen schnellen Sprints, wird Glucose in den Muskeln anaerob abgebaut. Da der menschliche Körper aber nicht über dieselben Enzyme verfügt, wie Hefen, entsteht dabei ein anderer Stoff: Milchsäure (Strukturformel s. rechts). Die Muskeln „übersäuern“ sehr schnell – die Leistungsfähigkeit kann nicht beliebig lange ohne Sauerstoff aufrechterhalten werden.



4. **Erkläre**, warum auch Menschen in der Lage sein müssen Zucker anaerob abzubauen und **gib** die formale Reaktionsgleichung der Milchsäuregärung **an**. **Formuliere** eine begründete Vermutung über die Energieausbeute dieser Reaktion.