

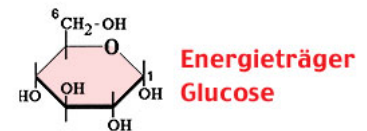
Glycolyse light

Eine zusammenfassende Darstellung für Grundkurse

von Ulrich Helmich

Was ist das Ziel der Glycolyse ?

Ein Energieträger (Glucose) soll in der Zelle oxidiert werden, um die Lebensvorgänge der Zelle anzutreiben!



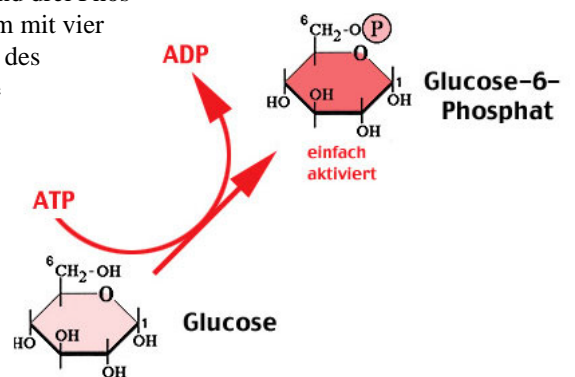
Die Sache mit der Aktivierung

Nun wissen wir aus dem Alltag, dass Traubenzucker, wenn er mit Sauerstoff in Berührung kommt, nicht so ohne weiteres oxidiert. Wie bei den meisten chemischen Reaktionen muss erst **Aktivierungsenergie** zugeführt werden. Im Labor macht man das, indem man einen Bunsenbrenner unter die Ausgangsstoffe hält.

Auch die lebende Zelle hat "Bunsenbrenner", nämlich ATP-Moleküle.

ATP steht für **Adenosintri-phosphat**. Hierunter versteht man ein extrem energiereiches Molekül. Es besteht aus einem Adenosin-Molekül und drei Phosphatgruppen (eine Phosphatgruppe besteht aus einem Phosphoratom mit vier Sauerstoffatomen). Die Bindungen zwischen den Phosphatgruppen des ATPs sind sehr energiereich. Bei der ersten Reaktion der Glycolyse wird eine solche energiereiche Phosphatgruppe vom ATP auf das Glucosemolekül übertragen. Glucose-6-Phosphat ist daher viel energiereicher als die Glucose selbst. Andererseits wird aus dem energiereichen ATP das energieärmere ADP (Adenosin**d**iphosphat).

Endprodukte



Eine Aktivierung reicht nicht aus

Die Übertragung einer Phosphatgruppe auf die Glucose reicht nicht aus, um diese zu spalten. Es müssen zwei Phosphatgruppen angehängt werden. Also wird das Ganze noch einmal durchgeführt. Im Bild rechts sieht man, wie die doppelt aktivierte Glucose gespalten wird. Das Glucosemolekül hat sich nach der ersten Aktivierung zu Fructose umgewandelt, damit überhaupt eine zweite Phosphatgruppe angelagert werden kann.

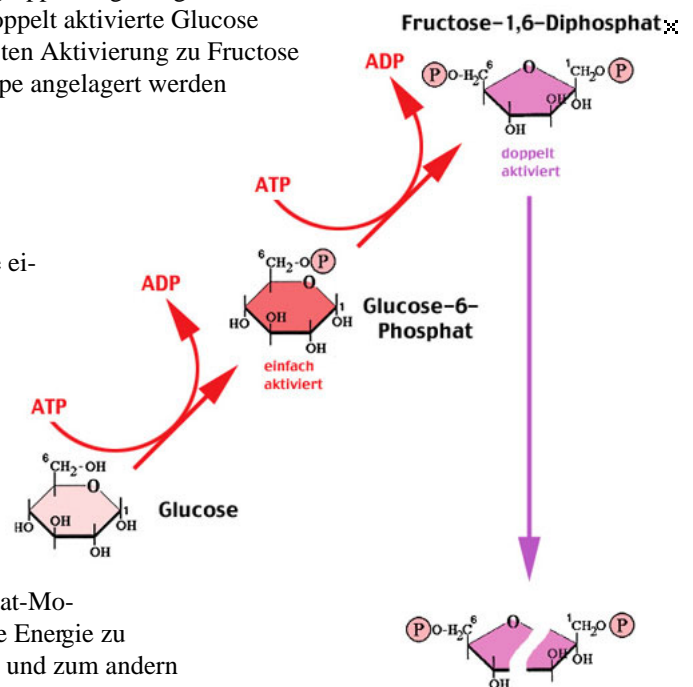
Zwischenbilanz

Man könnte sich jetzt zu recht fragen: was soll das Ganze eigentlich? Bisher hat die Zelle nur Energie *verbraucht* (nämlich 2 x ATP für jedes Glucosemolekül), aber noch kein bisschen Energie gewonnen.

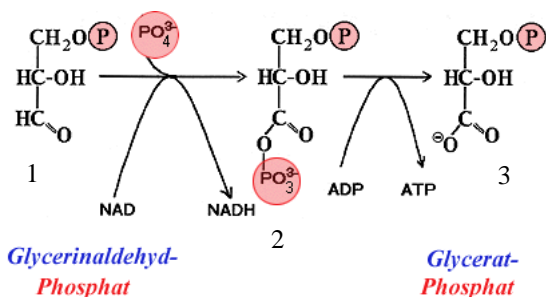
Aber sehen wir weiter...

Energiegewinnung

Die beiden Bruchstücke der Glucose enthalten noch sehr viel Energie. Die Zellen haben nun zwei verschiedene Mechanismen entwickelt, den Glycerinaldehyd-3-Phosphat-Molekülen (so heißen die Glucose-Bruchstücke nämlich) ihre Energie zu entziehen. Einmal durch Oxidation (Wasserstoff-Entzug), und zum andern durch geschicktes Herumjonglieren mit Phosphatgruppen.



Schauen wir uns das Ganze im Bild an (nächste Seite).



Vorgang 1:

Oxidation durch H-Entzug

Schauen wir uns das Glycerinaldehyd-Phosphat-Molekül (1) an. Das dritte (untere) C-Atom ist mit einem H-Atom verbunden. Molekül (2) hat dieses H-Atom verloren. Wo ist das H-Atom geblieben? Ein NAD-Molekül hat es aufgenommen und ist dadurch zu energiereicherem NADH geworden.

NAD hat eine ähnliche Aufgabe wie ADP. Während ADP für den Transport von Energie (in Form von Phosphatgruppen) zuständig ist, transportiert NAD die Fähigkeit, zu reduzieren (in Form von Wasserstoff-Atomen). Man

sagt auch: NAD transportiert Reduktionsäquivalente. Aus NADH kann die Zelle in der sogenannten Atmungskette sehr viel ATP gewinnen.

Vorgang 2:

Substratkettenphosphorylierung

Das ist aber ein kompliziertes Wort. "Herumjonglieren mit Phosphatgruppen" ist doch etwas einprägsamer. Aber zur Sache. Es geht darum, ATP direkt durch eine chemische Reaktion herzustellen. Wie das genau geht, soll hier kurz erläutert werden.

Als erstes lagert sich eine freie Phosphatgruppe an das Molekül (1) an. Man achte hier genau auf die vier O-Atome der Phosphatgruppe. Im Zwischenprodukt (2) ist gut zu erkennen, wie sich die Phosphatgruppe mit dem 3. C-Atom (unten) verbunden hat. Man achte jetzt auf das O-Atom, welches das H-Atom verdrängt hat. Dieses Zwischenprodukt ist ziemlich energiereich, weil es ja zwei Phosphatgruppen besitzt.

Im Folgeschritt kommt ein ADP-Molekül an und übernimmt die Phosphatgruppe des 3. C-Atoms. Allerdings nicht komplett - ein O-Atom bleibt nämlich zurück.

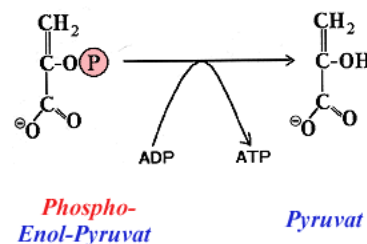
Im Endeffekt wurde durch diese beiden Reaktionsschritte also ein ATP-Molekül hergestellt. Da die Glucose in zwei solcher Bruchstücke zerfällt, werden insgesamt *zwei ATP-Moleküle pro Glucose* hergestellt. Das sind genausoviele, wie bisher verbraucht wurden. Die ATP- oder Energiebilanz ist also jetzt *ausgeglichen*.

Wenn es der Zelle jetzt gelingt, auch die noch verbliebene Phosphatgruppe zur ATP-Herstellung zu nutzen, gelangt die Glycolyse sogar in die Gewinnzone!

Wir kommen in die Gewinnzone

Wir vernachlässigen jetzt ein paar Reaktionen und schauen uns nur noch den letzten Schritt der Glycolyse an. Aus dem Glycerat-Phosphat ist inzwischen das Phospho-Enol-Pyruvat geworden. Das Molekül trägt immer noch eine Phosphatgruppe. Allerdings befindet sich diese jetzt am mittleren C-Atom. Offensichtlich kann sie dort leichter abgespalten und auf ein ADP-Molekül übertragen werden.

Es entsteht ATP. Auch diese -jetzt kommt's wieder - Substratkettenphosphorylierung läuft zweimal pro Glucosemolekül ab.



Gesamtbilanz

Ausgangsstoffe: 1 x Glucose, 2 x ATP, 4 x ADP und 2 x NAD
 Endprodukte: 2 x Pyruvat, 2 x ADP, 4 x ATP und 2 x NADH

Es werden pro Glucosemolekül also 2 ATP Gewinn gemacht. Außerdem entstehen noch 2 NADH-Moleküle, welche später in weiteres ATP umgewandelt werden (in ziemlich viel ATP sogar).

Gesamtproblem

Glucose kann die Zelle von außen aufnehmen; ADP liegt in der Zelle zur Genüge vor (energieverbrauchende Reaktionen finden immer statt); aber der Nachschub von NAD könnte Probleme bereiten. Ohne "frisches" NAD kann die Glycolyse auf Dauer nicht ablaufen. Wir werden daher im Folgenden einen Mechanismus kennenlernen, der die Regeneration des NAD sicherstellt, die Gärung.