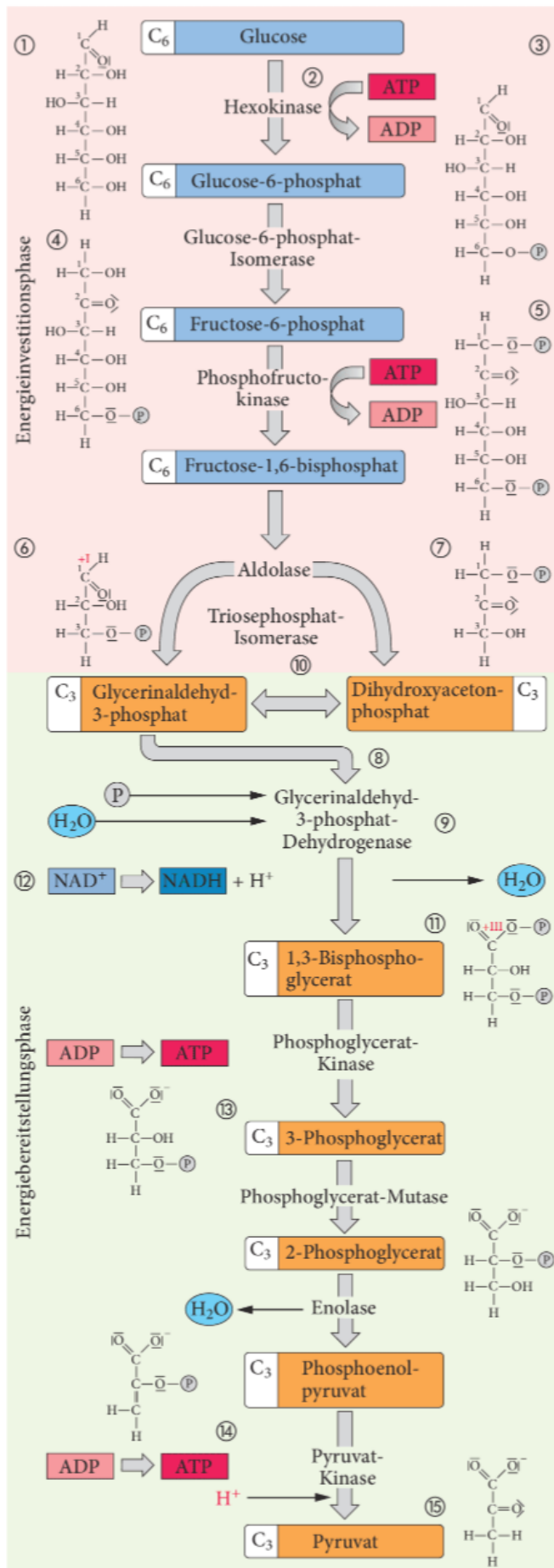


Glykolyse



128.1 Ablauf der Glykolyse

Glucose ① ist eine energiereiche, aber auch reaktionsträge Verbindung (Abb.128.1). In der Glykolyse (griech. *glycos*, süß; *lysis*, Auflösung), die im Cytoplasma stattfindet, wird Glucose zunächst unter ATP-Verbrauch aktiviert ②. Das Produkt Glucose-6-phosphat ③ ist energiereicher und damit reaktionsbereiter als die Glucose. Glucose-6-phosphat kann dadurch zu Fructose-6-phosphat ④ isomerisiert werden. Zur weiteren Aktivierung wird dieses dann unter Verbrauch eines weiteren Moleküls ATP durch das Enzym Phosphofructokinase mit einer zweiten Phosphatgruppe phosphoryliert. Es entsteht Fructose-1,6-bisphosphat ⑤. Diese äußerst reaktive Hexose wird im folgenden Schritt durch das Enzym Aldolase in die zwei Triosen Glycerinaldehyd-3-phosphat ⑥ und Dihydroxyacetonphosphat ⑦ gespalten.

Dies entspricht der Zerlegung eines C₆-Körpers in zwei C₃-Körper. Die Verbindungen sind isomer und stehen miteinander im chemischen Gleichgewicht. Diese Phase der Glykolyse ist die **Energieinvestitionsphase**, da zur Aktivierung der Glucose Energie aufgebracht werden musste.

Im weiteren Verlauf der Glykolyse, der **Energiebereitstellungsphase**, wird ausschließlich Glycerinaldehyd-3-phosphat verarbeitet ⑧. Das beteiligte Enzym, die Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase ⑨ ist substratspezifisch. Dihydroxyacetonphosphat ⑦ ist in der Glykolyse nicht weiter abbaubar. Die Triosephosphat-Isomerase katalysiert jedoch die Umwandlung von Dihydroxyacetonphosphat in Glycerinaldehyd-3-phosphat und macht damit auch Dihydroxyacetonphosphat für den weiteren Abbau in der Glykolyse nutzbar ⑩.

Das Enzym Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase katalysiert die Reaktion des Glycerinaldehyd-3-phosphats in 1,3-Bisphosphoglycerat ⑪. Die Oxidationszahl des C-Atoms der Aldehydgruppe erhöht sich von +I auf +III in der Carboxylgruppe der Säure. Es handelt sich also um eine Oxidation. Dabei wird ein Molekül NAD⁺ zu NADH + H⁺ reduziert ⑫. Gleichzeitig wird die freiwerdende Energie genutzt, um eine zweite Phosphatgruppe aus dem Cytosol an das Substrat zu binden. So entsteht das 1,3-Bisphosphoglycerat. Durch die Phosphoglycerat-Kinase wird die Phosphatgruppe der Carboxylgruppe auf ADP

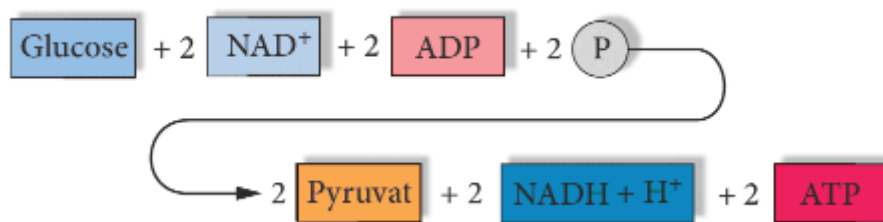
Glykolyse

übertragen. Es entsteht 3-Phosphoglycerat ⑬. Da dieser Vorgang pro Glucosemolekül zweimal stattfindet, werden hierdurch zwei Moleküle ATP gewonnen.

Im weiteren Verlauf der Glykolyse wird auch die zweite Phosphatgruppe des 3-Phosphoglycerats auf ADP übertragen und damit zur Bildung eines Moleküls ATP genutzt ⑭. Beim zellulären pH-Wert von etwa sieben liegen organische Säuren als Säureanionen vor. Das phosphatfreie Endprodukt der Glykolyse ist dann Pyruvat ⑮, das Säureanion der Brenztraubensäure. Da auch diese Reaktion pro Glucosemolekül zweimal abläuft, werden zwei ATP-Moleküle gewonnen.

Nachdem in der Energieinvestitionsphase pro Glucosemolekül zwei ATP-Moleküle benötigt wurden, werden in der Energiebereitstellungsphase pro Glucosemolekül insgesamt vier ATP-Moleküle gebildet. In der Bilanz der Glykolyse werden somit pro Glucosemolekül zwei Moleküle ATP bereitgestellt (Abb.129.1). Zusätzlich wird Energie in Form von zwei Molekülen $\text{NADH} + \text{H}^+$ gespeichert. Diese reduzierten Coenzyme können in der Endoxidation zur weiteren Energiegewinnung eingesetzt werden, aber auch als Wasserstoffdonatoren bei Biosynthesen Verwendung finden.

Für die Glykolyse ergibt sich folgende Energiebilanz:



Kann die Zelle den Glucoseabbau regulieren?

Die Zelle kann auf Schwankungen im Energiebedarf durch Regulation des Glucoseabbaus reagieren. Das wichtigste regulatorische Enzym der Glykolyse ist die **Phosphofructokinase**. Phosphofructokinase wird durch hohe ATP-Konzentrationen gehemmt. ADP erhöht dagegen die Affinität des Enzyms zum Substrat und aktiviert das Enzym.

Aufgaben:

1. Fassen Sie die prinzipiellen Vorgänge der Glykolyse in einer Übersicht zusammen.
2. Erläutern Sie den biologischen Sinn der Regulation der Glykolyse durch das Enzym Phosphofructokinase.