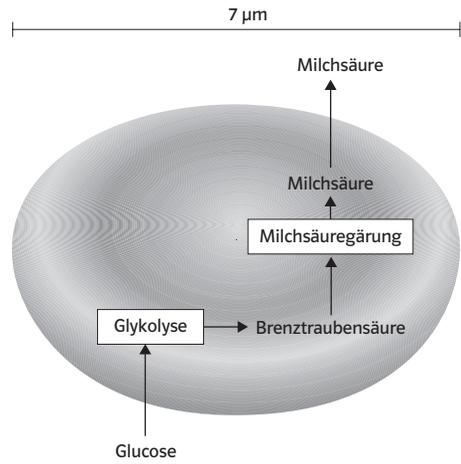


# Erythrocyten brauchen Glucose

Menschen haben in 1 µl Blut ca. 5 Millionen Rote Blutzellen (Erythrocyten). Diese transportieren den Sauerstoff im Blut zu den verschiedenen Organen. Der Sauerstoff ist an das Hämoglobin gebunden. Erythrocyten haben eine scheibenförmige Gestalt mit einer bikonkaven Einbuchtung in der Mitte. Der Durchmesser beträgt ca. 7 µm (Abb. 1). Ein erwachsener Mensch hat je nach seiner Körpermasse zwischen 24 bis 30 Billionen Erythrocyten. Die Lebensdauer beträgt im Durchschnitt ca. 4 Monate. Gealterte oder fehlerhafte Erythrocyten werden in der Milz abgebaut.

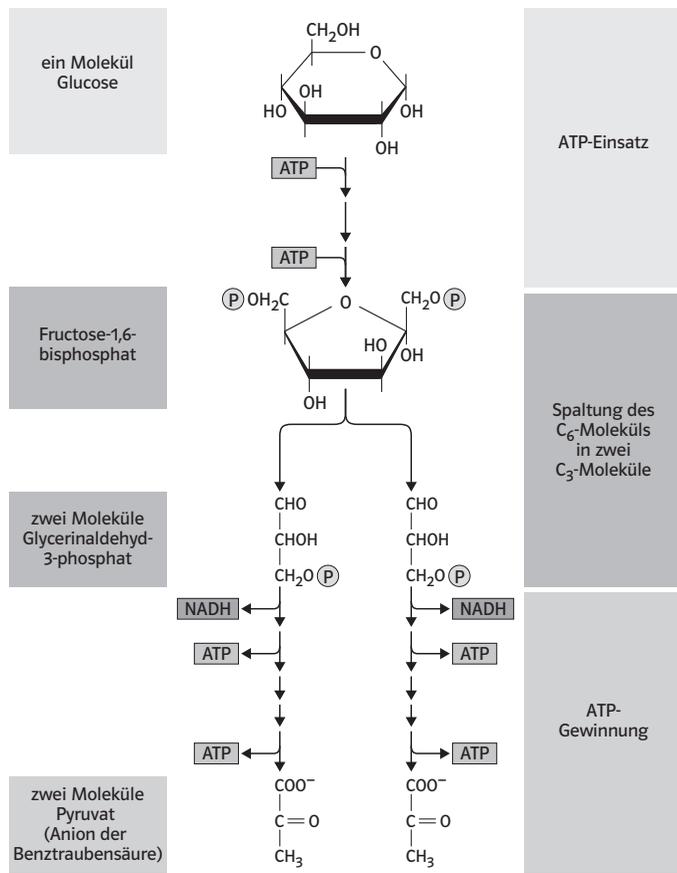
Erythrocyten werden von Stammzellen des roten Knochenmarks gebildet. Diese erste Stufe besitzt einen Zellkern und Organellen. In der zweiten Stufe werden besonders stark Ribosomen gebildet. Diese sind verantwortlich für die Bildung von Enzymen zur Synthese des Hämoglobins. In der nächsten Stufe ihrer Entwicklung verlieren sie den Zellkern. Die Synthese des Hämoglobins ist danach abgeschlossen und die Ribosomen, das Endoplasmatische Reticulum sowie die Mitochondrien werden abgestoßen. Der fehlende Zellkern ermöglicht eine bessere Verformbarkeit in den engen Kapillaren. Obwohl Erythrocyten beim Energiestoffwechsel nicht auf die Vorgänge in den Mitochondrien zurückgreifen können, besitzen sie einen eigenen Stoffwechsel (Abb. 1).



1 Erythrocyt (Stoffwechsel, schematisch)

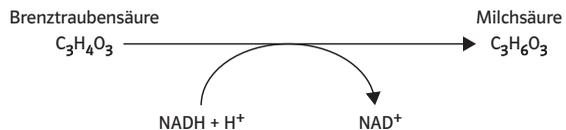
Sie erhalten ihre Energie aus den Reaktionen der Glykolyse (Abb. 2) und der Milchsäuregärung (Abb. 3) in Form des ATP. Dieses benötigen sie hauptsächlich für die energieabhängigen Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-Ionenpumpen in ihrer Membran. Bei ATP-Mangel können die Ionenpumpen nicht weiterarbeiten.

Die entstandene Milchsäure kann in den Erythrocyten nicht weiter verarbeitet werden, da die meisten Stoffwechselwege durch die fehlenden Organellen nicht vorhanden sind. Sie wird daher in das Blut abgegeben und zur Leber transportiert. In der Leber wird die Milchsäure wieder zur Glucose umgebaut und an das Blut abgegeben.



2 Glykolyse (schematischer Überblick)

- 1 Erstellen Sie anhand des Textes ein Schema zu den verschiedenen Schritten der Erythrocytenreifung.
- 2 Erklären Sie anhand des Textes und der Abbildungen, welche Stoffwechselschritte bei der ATP-Gewinnung im Erythrocyten ablaufen und wie viel ATP pro Molekül Glucose gebildet wird.
- 3 Erläutern Sie, weshalb die Milchsäuregärung für den Stoffwechselweg notwendig ist und trotz des vorhandenen Sauerstoffs der anaerobe Weg der ATP-Bildung genutzt werden muss.



3 Milchsäuregärung (schematisch)

## ARBEITSBLATT

## Erythrocyten brauchen Glucose

## Lösungen

- Diese Stufen können grafisch dargestellt werden.
 

Stufe 1: Bildung aus Stammzellen des roten Knochenmarks. Vollständige Zellen mit Zellkern und Organellen.

Stufe 2: Ribosomenbildung sehr intensiv. Ribosomen sind verantwortlich für den Proteinaufbau (Enzyme) für die Hämoglobinsynthese.

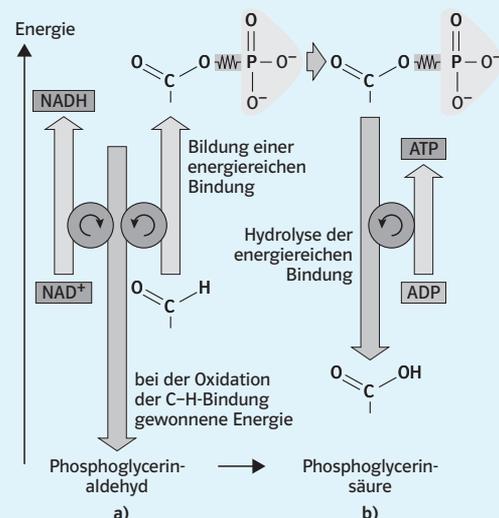
Stufe 3: Zelle verliert Zellkern. Weitere Hämoglobinsynthese.

Stufe 4: Zelle verliert Organellen. Fertiger Erythrocyt.
- In den Erythrocyten läuft die Glykolyse und die Reaktion zur Milchsäure im Cytoplasma ab. Hierbei wird Glucose über die Umbildung zur Fructose in zwei  $C_3$ -Körper gespalten. Für diesen Vorgang werden 2 ATP pro Molekül Glucose benötigt. Diese werden jedoch im letzten Schritt der Glykolyse wieder gebildet. Hierdurch wird kein ATP verbraucht, jedoch auch keines gewonnen. Im Schritt vom Phosphoglycerinaldehyd zur Phosphoglycerinsäure wird je  $C_3$ -Molekül ein Molekül ATP gebildet, pro Glucosemolekül, also 2 ATP. Für diesen Schritt ist  $NAD^+$  notwendig, welches die  $H^+$ -Ionen aufnimmt und zu  $NADH + H^+$  wird. Das Endprodukt der Glykolyse ist die Brenztraubensäure, welche in die Mitochondrien aufgenommen und weiter verarbeitet wird. In der Reaktion von der Brenztraubensäure zur Milchsäure werden  $H^+$ -Ionen benötigt. Hierbei wird  $NADH + H^+$  wieder zu  $NAD^+$ .
- Erythrocyten transportieren Sauerstoff, trotzdem wird ATP über den anaeroben Prozess gebildet. Der Grund liegt darin, dass in den Erythrocyten keine Mitochondrien vorliegen, sondern nur das Zellplasma, in dem die Glykolyse abläuft. Über diesen Vorgang werden 2 Moleküle ATP gebildet. Die Milchsäuregärung ist notwendig, um die Glykolyse weiterlaufen zu lassen. Bei der ATP-Bildung wird  $NAD^+$  zu  $NADH + H^+$ . Wenn alle  $NAD^+$ -Moleküle verbraucht sind, kann die Glykolyse nicht mehr weiterlaufen, auch wenn genügend Glucose vorhanden ist. Es ist daher notwendig, über die Reaktion zur Milchsäure wieder freies  $NAD^+$  zu erhalten.

## Zusatzinformation

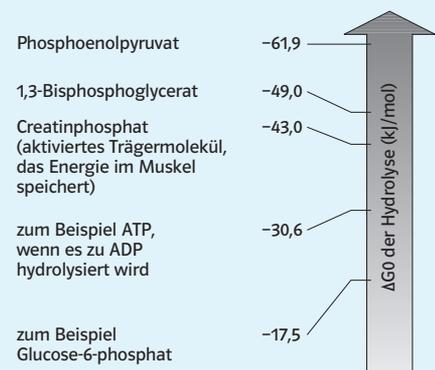
Auf den Seiten zur Energie sind die Grundlagen für ein Verständnis energetischer Änderungen bei chemischen Reaktionen gelegt worden. Am Beispiel der Glykolyse kann man diese konkretisieren und festigen. Man kann auf gekoppelte Reaktionen (Abb. 1) oder Energiegehalte von Verbindungen (Abb. 2) eingehen.

ATP kann aus ADP gebildet werden, wenn Reaktionen energiereicherer Verbindungen mit diesem Vorgang gekoppelt sind. Die Energie aus der Oxidation einer C-H-Bindung treibt die Bildung von  $NADH + H^+$  aus  $NAD^+$  und gleichzeitig die Reaktion einer energiereichen Phosphatbindung an (Abb. 1 a). Die Spaltung der energiereichen Phosphatbindung liefert die Energie für die ATP-Bildung (Abb. 1b).



1 Gekoppelte Reaktionen (schematische Darstellung)

Anhand des Energiegehalts können Reaktionsmechanismen verständlich gemacht werden (Abb. 2). Die Änderungen der freien Standardenergie (in kJ/mol) bei der Hydrolyse energiereicher Phosphatbindungen muss größer sein als die zur Bildung von ATP notwendige Energie. So kann in der Glykolyse die Phosphatgruppe von 1,3-Bisphosphoglycerat auf das ADP übertragen und hierdurch ATP gebildet werden. Die Übertragung einer Phosphatgruppe von einem auf ein anderes Molekül läuft energetisch dann ab, wenn die Änderung der freien Energie für die Hydrolyse der Phosphatbindung am ersten Molekül negativer ist als für die Hydrolyse der Phosphatbindung am zweiten Molekül.



2 Energiegehalt von Verbindungen