

■ Wie gewinnt ein Lebewesen aus Kohlenhydraten Energie? – Glykolyse

Kohlenhydrate sind wichtige Energieträger in der Nahrung. Sie werden unterteilt in Einfach-, Zweifach- und Vielfachzucker. Zweifach- und Vielfachzucker werden im Magen-Darm-Trakt zu Einfachzuckern abgebaut. Einfachzucker sind klein genug, um aus dem Dünndarm ins Blut wechseln zu können. Aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit kann das Blut sie zu den einzelnen Zellen des Organismus transportieren. Der für den Energiehaushalt wichtigste Einfachzucker ist Glukose (Traubenzucker).

Viele enzymatisch gesteuerte Stoffwechselprozesse laufen mithilfe der Coenzyme ATP bzw. ADP ab. Das ATP/ADP-System koppelt im Stoffwechsel der Lebewesen endergonische Prozesse, bei denen Energie in Form von ATP verbraucht wird, an exergonische Prozesse. Bei exergonischen, d.h. energieliefernden Prozessen wird ADP zu ATP recycelt. Ein großer Teil der Energie aus der Nahrung bleibt auf diese Weise chemisch gebunden und geht nicht als Körperwärme verloren. Das ATP/ADP-System ermöglicht Leben trotz des unglaublichen Energiebedarfs.

Die Verstoffwechslung von Glukose zu Kohlenstoffdioxid und Wasser - die Dissimilation - ist ein exergonischer Prozess. Ein großer Teil der dabei freiwerdenden Energie wird zur Bildung von ATP genutzt und steht anschließend energieverbrauchenden Prozessen des Betriebsstoffwechsels wie z. B. dem Spielen von Handball oder dem Erlernen biologischer Sachverhalte wie der Glykolyse zur Verfügung.

Die Dissimilation besteht aus drei Teilprozessen, die an unterschiedlichen Orten der Zelle ablaufen:

1. der Glykolyse im Cytosol der Zelle,
2. dem Zitronensäurezyklus (Tricarbonsäurezyklus) in der Matrix der Mitochondrien
3. der Atmungskette in der inneren Membran der Mitochondrien.

Teilprozess 1: Die Glykolyse

Glykolyse bedeutet ‚Zuckerspaltung‘ und genau dies passiert bei diesem Teilprozess. Glukose, ein Einfachzucker mit sechs Kohlenstoffatomen, wird im Verlauf der Glykolyse zu zwei Molekülen Pyruvat abgebaut. Pyruvat ist ein Kohlenhydrat mit drei Kohlenstoffatomen. Kohlenhydrate mit drei Kohlenstoffatomen werden Triosen genannt. Die Glykolyse besteht aus neun Einzelreaktionen, die von jeweils einem Enzym katalysiert werden. Enzyme sind substrat- und wirkungsspezifisch. Deshalb braucht man für jeden Reaktionsschritt ein anderes Enzym.

Wenn Sie zuhause in den Küchenschrank schauen, werden Sie feststellen, dass genauso wie vor vier Wochen in der Mehlüte Mehl ist und in der Zuckertüte Zucker. Mehl ist ein Vielfachzucker, Haushaltszucker ein Zweifachzucker. Substrate, wie z. B. die Kohlenhydrate Mehl und Zucker, verändern sich nicht ohne weiteres, Reaktionen finden nicht einfach statt. Das Substrat muss erst mithilfe von Energie im Organismus z. B. mit ATP, im Labor mithilfe des Bunsenbrenners, reaktionsfähig gemacht werden (Aktivierungsenergie). Diese Aktivierung erfolgt in den ersten drei Reaktionsschritten der Glykolyse. In diesen drei Reaktionsschritten wird Glukose über die Metaboliten Glukose-6-phosphat und Fruktose-6-phosphat zu Fruktose-1,6-bisphosphat. Die beiden Phosphatgruppen beim ersten und dritten Reaktionsschritt stammen aus dem Abbau von je einem Molekül ATP zu ADP. Je mehr Phosphatgruppen ein Molekül hat, desto energiereicher ist es.

Dem vierten Reaktionsschritt verdankt die Glykolyse ihren Namen. Fruktose-1,6-bisphosphat wird in zwei Triosen, hier Glycerinaldehyd-3-phosphat, gespalten. Da aus einem Molekül Glukose zwei Triosen werden, müssen ab diesem Reaktionsschritt bei der Bilanz der Dissimilation alle verbrauchten sowie produzierten Stoffe doppelt gerechnet werden.

Im fünften bis neunten Reaktionsschritt der Glykolyse wird erstmals Energie gewonnen. Diese steht dann in Form der energiereichen Coenzyme ATP und NADH dem Stoffwechsel zur Verfügung. Dafür wird Glycerinaldehyd-3-phosphat im fünften Schritt zu 1,3-Bisphosphoglycerat umgebaut. Die Reaktion ist aus zwei Gründen wichtig:

- Zum einen wird mithilfe des Enzyms Dehydrogenase Wasserstoff vom Glycerinaldehyd-3-phosphat auf das Coenzym NAD⁺ übertragen. Aus NAD⁺ wird das energiereichere Coenzym NADH.
- Zum anderen ist diese Reaktion stark exergonisch. Die freiwerdende Energiemenge nutzt die Dehydrogenase für die Übertragung eines Phosphates auf das Substrat. Dieses Phosphat stammt aus dem zelleigenen Vorrat und *nicht* vom ATP. Es entsteht das energiereiche 1,3-Bisphosphoglycerat.

1,3-Bisphosphoglycerat wird in weiteren Reaktionsschritten zu Pyruvat umgebaut. Dabei wird bei zwei Reaktionsschritten je ein Molekül ATP gebildet.

Mit dem Pyruvat stehen dem Stoffwechsel zwei verschiedene Möglichkeiten der weiteren Energiegewinnung zur Verfügung:

- Bei Sauerstoffmangel wird Pyruvat vergoren. Die bei der Gärung freiwerdende Energiemenge ist gering.
- Ist Sauerstoff in ausreichender Menge vorhanden, wird Pyruvat im Zitronensäurezyklus (s. o.) sowie in der Atmungskette (s. o.) weiter dissimiliert. Die dabei freiwerdende Energiemenge ist im Vergleich zur Gärung hoch.

Für die weitere Dissimilation muss Pyruvat aus dem Cytosol der Zelle in ein Mitochondrium transportiert werden. Dieser Transport des Pyruvats durch die äußere und innere Mitochondrienmembran erfolgt aktiv mithilfe von Carrier-Proteinen. Der aktive Transport mithilfe von Carriern ist energieabhängig. Er „kostet“ die Zelle pro Pyruvat-Molekül etwa ein ATP.