

## 4

## Energie und Enzyme

4.1 Lebewesen benötigen Energie, um existieren zu können 

**Energie** und Energieumwandlung ist die Grundvoraussetzung für alles Leben. Die potenzielle Energie von Molekülen, also die chemische Energie, ist für Lebensvorgänge von besonderer Bedeutung. Letztlich entstammt diese nutzbare Energie der organischen Moleküle hauptsächlich dem Sonnenlicht, das Pflanzen bei der Photosynthese einfangen.

Als universelle Energiewährung dient das **ATP-Molekül** mit energiereich gebundenen Phosphatgruppen. Durch Übertragung eines Phosphatrestes können andere Moleküle energiereicher werden, sodass notwendige Stoffwechselreaktionen ablaufen können bzw. Arbeit geleistet werden kann.

Energieumwandlungen werden durch die grundlegenden Gesetze der Thermodynamik beschrieben. Diese besagen, dass Energie im Universum, also im **System**, insgesamt nicht erzeugt oder vernichtet werden kann. Allerdings ist jeder Energietransport und jede **Energieumwandlung** mit der Vergrößerung der **Entropie** des Universums verbunden. Die Entropie wird auch als nicht nutzbare Wärmeenergie oder als molekulare Unordnung bezeichnet. Ohne Energiezufuhr bzw. Energieabgabe laufen Reaktionen nur ab, wenn sich dabei die Entropie erhöht.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 30 „ATP-Moleküle sind die Akkus in Lebewesen“

4.2 Eine chemische Reaktion läuft von selbst ab, wenn die freie Energie sinkt 

Die Änderung der **freien Energie**  $\Delta G$  ist ein Maß dafür, ob eine chemische Reaktion von selbst ablaufen kann. Es gilt:  $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$ .  $\Delta H$  ist die Änderung der Gesamtenergie bei der Reaktion,  $T$  steht für die absolute Temperatur und  $\Delta S$  für die Entropieänderung.

Nur wenn  $\Delta G$  kleiner 0 ist, läuft eine Reaktion ab (**exergonische Reaktion**). Im Gleichgewicht ist  $\Delta G$  gleich 0. Ist  $\Delta G$  größer 0, so muss Energie zugeführt werden, die Reaktion ist **endergonisch**. Im Stoffwechsel sind oft mehrere Reaktionen so hintereinandergeschaltet, dass ein Produkt der Ausgangsstoff einer Folgereaktion ist. Das führt zu einem **Fließgleichgewicht**.

4.3 Enzyme beschleunigen chemische Reaktionen, indem sie Energiebarrieren senken 

Die zellulären Biokatalysatoren sind die **Enzyme**. Am **aktiven Zentrum** eines Enzyms werden die Substrate einer Reaktion gebunden und zum Produkt modifiziert. Das Schlüssel-Schloss-Prinzip und das Modell des induced fit veranschaulichen auf unterschiedliche Weise die Katalysfunktion. Im Verlauf der Enzymreaktion wird im aktiven Zentrum das Substrat im Enzym-Substrat-Komplex so gebunden, dass die **Aktivierungsenergie** der Reaktion sinkt. Durch diesen Übergangszustand läuft die Reaktion schneller ab. Die Lage des Gleichgewichts zwischen Substrat und Produkt ändern Enzyme nicht. Enzyme gehen selbst unverändert aus der Reaktion hervor.

**Cofaktoren** (Coenzyme) wie das ATP können als Cosubstrate beteiligt sein.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 31 „Pflanzenasche senkt die Aktivierungsenergie“

4.4 Fast jede chemische Reaktion in der Zelle wird von einem spezifischen Enzym katalysiert 

Enzyme sind substrat- und wirkungsspezifisch. Das ist eine Voraussetzung für den Ablauf vieler Stoffwechselreaktionen in einem Zellkompartiment, wie z. B. dem Cytoplasma. Enzyme sind auch stereospezifisch, sie können oft nur eine der möglichen räumlichen Varianten eines Substrats umsetzen.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 32 „Enzymreaktionen haben besondere Eigenschaften“

## 4

## Energie und Enzyme

4.5

Die Geschwindigkeit einer Enzymreaktion hängt von der Substratkonzentration ab 

Die Substratkonzentration beeinflusst die Reaktionsgeschwindigkeit. Die Reaktionsgeschwindigkeit steigt mit zunehmender Substratkonzentration so lange, bis ein Sättigungswert erreicht wird. Bei dieser Maximalgeschwindigkeit sind alle Enzymmoleküle mit Substraten gesättigt, die Konzentration der Enzym-Substrat-Komplexe ist (für die vorliegenden Bedingungen) maximal.

4.6

pH-Wert und Temperatur beeinflussen die Enzymaktivität 

Die Tertiärstruktur der Proteine und damit des aktiven Zentrums von Enzymen kann durch Änderung der H<sup>+</sup>-Konzentration oder durch eine Temperaturänderung beeinflusst werden, was wiederum die Reaktionsgeschwindigkeit, d. h. die Enzymaktivität verändert. Denn für die Bindung des Substrats ist es wichtig, welche Aminosäurereste im aktiven Zentrum protoniert sind und wie energiereich die Bindungen infolge der Zuführung thermischer Energie vorliegen.

Die Aktivität eines bestimmten Enzyms weist daher ein pH-Optimum auf und ebenfalls ein Temperaturoptimum. Mit zunehmender Temperatur steigt zunächst die Reaktionsgeschwindigkeit (**RGT-Regel**), sinkt dann aber rasch infolge **thermischer Denaturierung**.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 33 „Die Temperatur beeinflusst die Enzymreaktionen“

4.7

Enzyme werden durch andere Moleküle reguliert 

Andere Moleküle können eine Enzymreaktion als **Effektoren** unterschiedlich beeinflussen. Dem Substrat ähnliche Moleküle können um die Bindung am aktiven Zentrum konkurrieren (**kompetitive Hemmung**). Bei der kompetitiven Hemmung wird die maximale Reaktionsgeschwindigkeit erst bei höheren Substratkonzentrationen erreicht.

Bindet ein Effektor an einer anderen Stelle als am aktiven Zentrum, nennt man ihn allosterisch. Viele Stoffwechselketten werden dadurch reguliert, dass Endprodukte die Enzyme einer Anfangsreaktion allosterisch hemmen (**negative Rückkopplung**). Neben Hemmstoffen (**Inhibitoren**) treten auch aktivierende Effektoren auf.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 34 „Enzymtätigkeit wird reguliert“