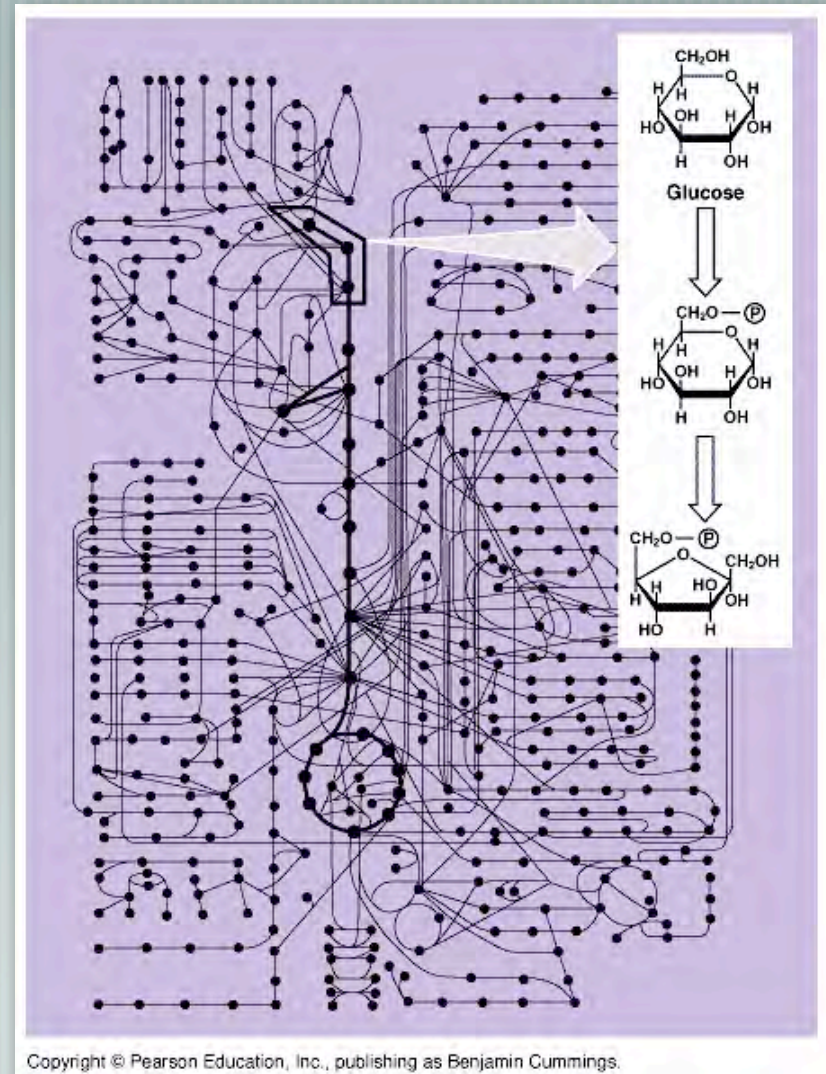


# Einführung in den Stoffwechsel

# Die Chemie des Lebens ist in Stoffwechselwegen organisiert

- Der Stoffwechsel ist die Summe aller chemischen Reaktionen, die in den Zellen eines Organismus auftreten
- Unter Mithilfe von Enzymen verläuft der Stoffwechsel schrittweise entlang sich verzweigender Stoffwechselwege. Diese greifen wie ein Räderwerk präzise ineinander.



# Anabole und katabole Stoffwechselprozesse

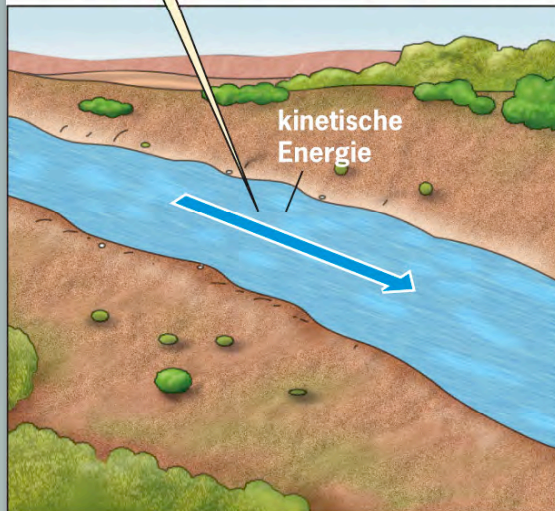
- **Katabole** Stoffwechselwege, wie die Zellatmung, bauen komplexe Moleküle in einfachere Verbindungen ab, wobei Energie freigesetzt wird.
- **Anabole** Stoffwechselwege, wie z.B. der Muskelaufbau, bauen komplexe Moleküle aus einfacheren Verbindungen auf, was Energie erfordert, die normalerweise aus dem Katabolismus stammt.



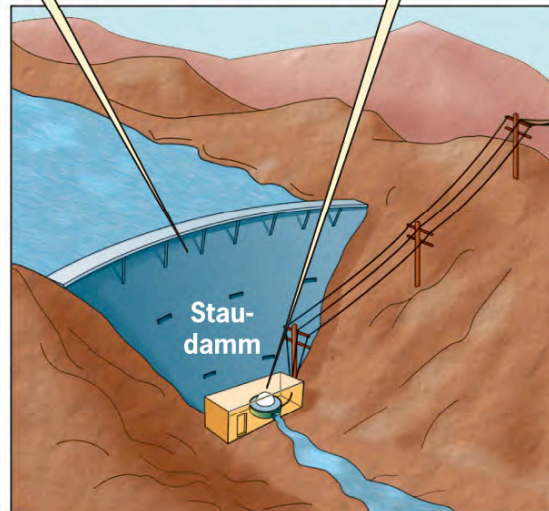
# Energieumwandlungen und Arbeit

Die kinetische Energie eines Fließgewässers kann durch Aufstauen in potenzielle Energie umgewandelt werden. Durch Ablassen von Wasser aus dem Stausee wird die potenzielle Energie wieder in kinetische übergeführt; diese kann durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt werden. Diese Energie kann Arbeit verrichten.

Die Wasserbewegung im Fluss erzeugt **kinetische Energie**.

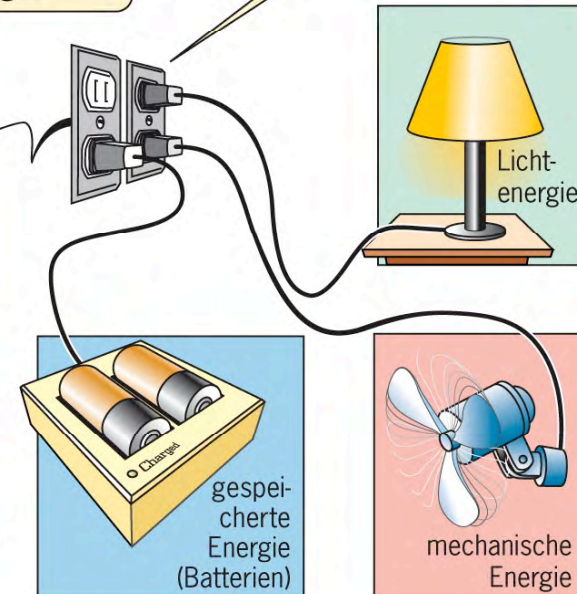


Ein Staudamm wandelt die kinetische Energie eines strömenden Flusses in **potenzielle Energie** um, indem er sein Weiterfließen verhindert.



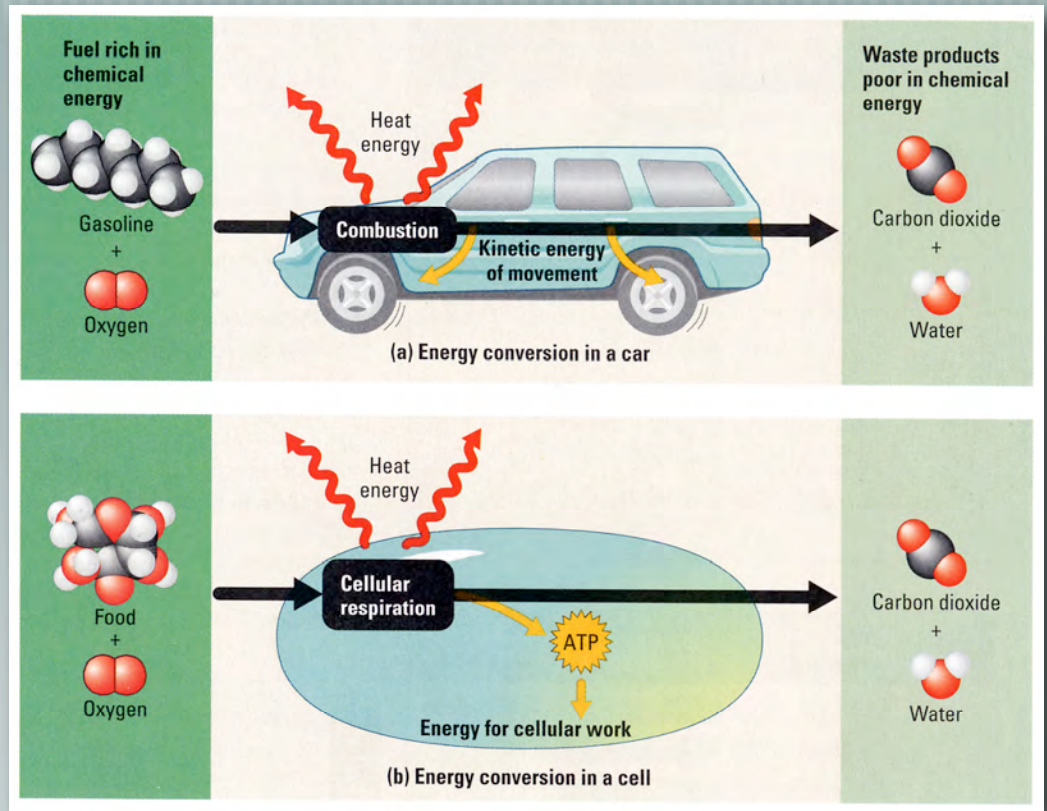
Eine Turbine wandelt die Strömungsenergie (kinetische Energie) des aus dem Stausee abgelassenen Wassers in Rotationsenergie (kinetische Energie) um, ein Generator diese dann in **elektrische Energie**.

Elektrische Energie kann übertragen, gespeichert und auf vielfache Weise genutzt werden, um **Arbeit** zu verrichten.



# Chemische Energie

- Chemische Energie ist potentielle Energie, die in der Molekülstruktur gespeichert ist.
- Energie kann im Rahmen der thermodynamischen Gesetze von einer Form in eine andere umgewandelt werden.



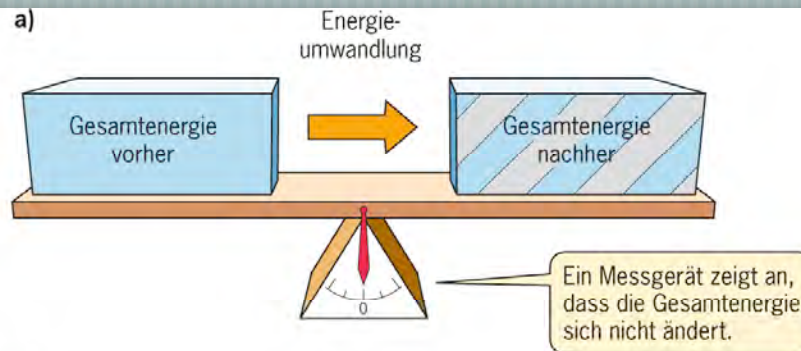
# Thermodynamische Gesetze

- Der erste Hauptsatz der Thermodynamik, der **Energieerhaltungssatz**, besagt, dass Energie weder erzeugt noch zerstört werden kann.
- Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass bei jeder Energiewandlung die Entropie beziehungsweise die **Unordnung** des Universums **zunimmt**. Bei den meisten Energiewandlungen werden geordnete Energieformen teilweise in Wärme überführt.

# Thermodynamische Gesetze

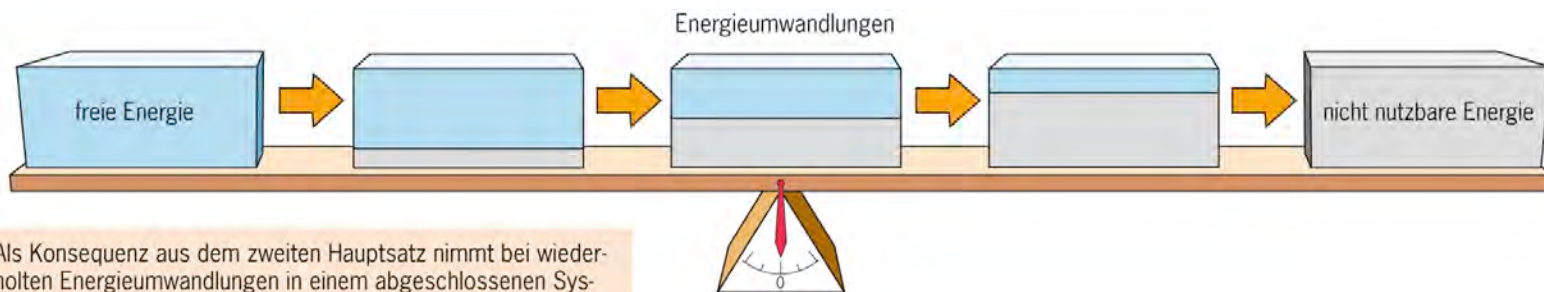
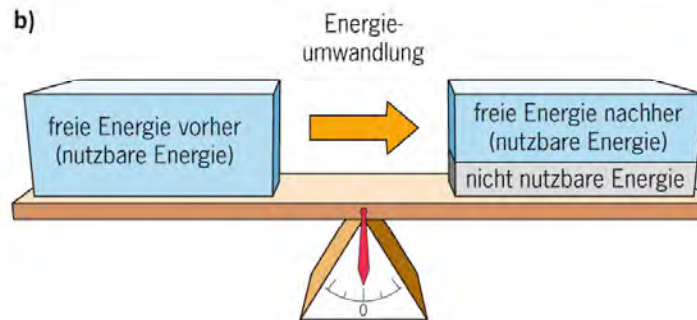
## Der erste Hauptsatz der Thermodynamik.

Im abgeschlossenen System ist bei einer Energieumwandlung die Gesamtenergie vorher und nachher gleich. Es wird keine neue Energie erzeugt und keine Energie vernichtet.



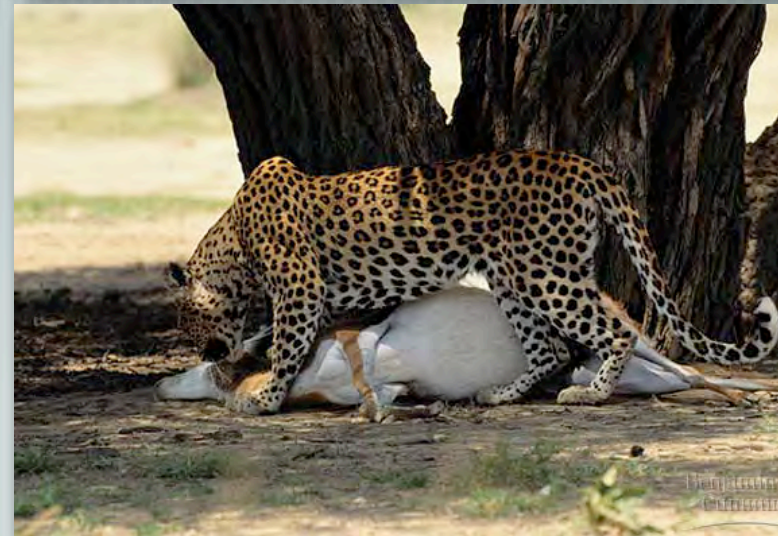
## Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.

Im abgeschlossenen System wird bei einer Energieumwandlung der Anteil an freier (für Arbeit nutzbarer) Energie geringer. In gleichem Maß steigt der Anteil an nicht nutzbarer Energie.



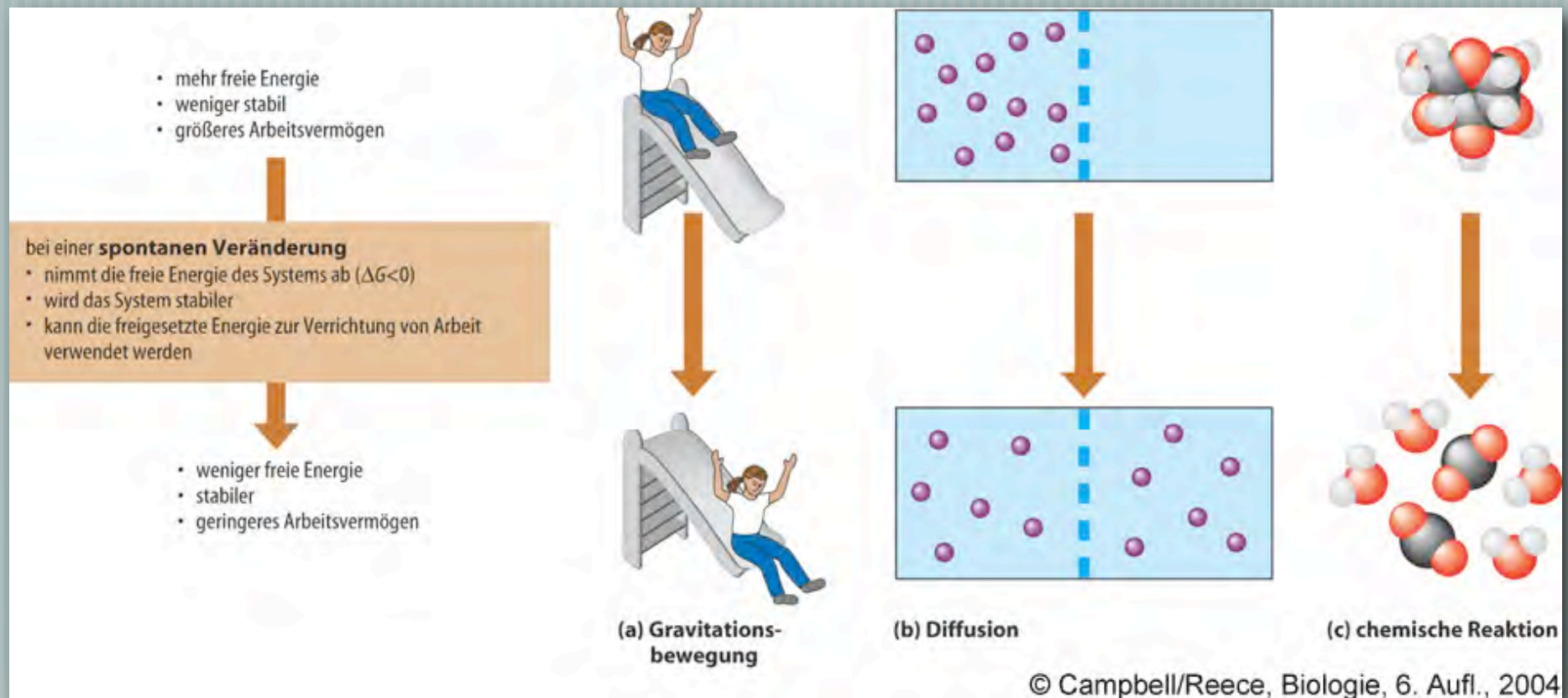
Als Konsequenz aus dem zweiten Hauptsatz nimmt bei wiederholten Energieumwandlungen in einem abgeschlossenen System die nicht nutzbare Energie (die so genannte **Entropie**) immer mehr zu und die nutzbare Energie entsprechend ab; das System strebt also einem Zustand maximaler Entropie zu. Ist dieser erreicht, kann sich das System nicht mehr ändern.

# Organismen leben von freier Energie, die sie ihrer Umgebung entziehen



# Freie Energie: Ein Kriterium für spontane Veränderungen

$\Delta G$  = Freie Energie



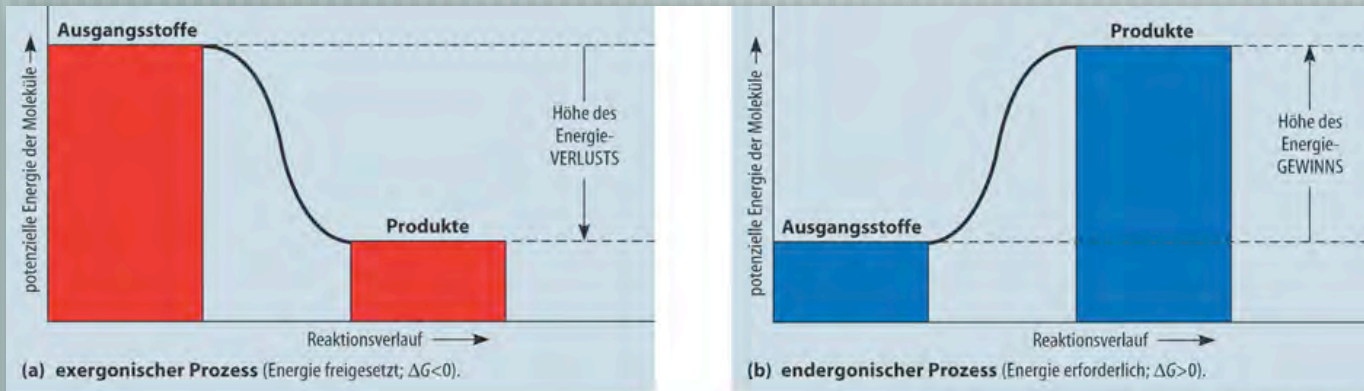
–  $\Delta G$   $\implies$  Reaktion läuft spontan ab, exergonisch, Katabolismus

+  $\Delta G$   $\implies$  Reaktion benötigt freie Energie, endergonisch, Anabolismus

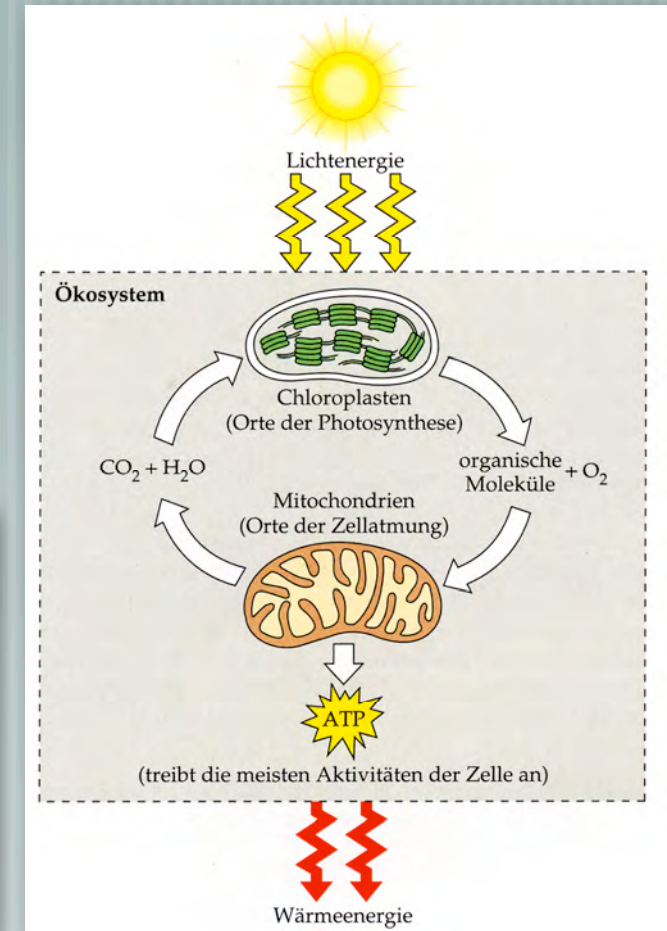
# Die freie Energie und der Stoffwechsel

Bei einer exergonischen Reaktion wird Energie freigesetzt.  
Beispiel Zellatmung:  $\Delta G$  ist negativ

Bei einem endergonischen Prozess muss Energie zugeführt werden.  
Beispiel Photosynthese:  $\Delta G$  ist positiv



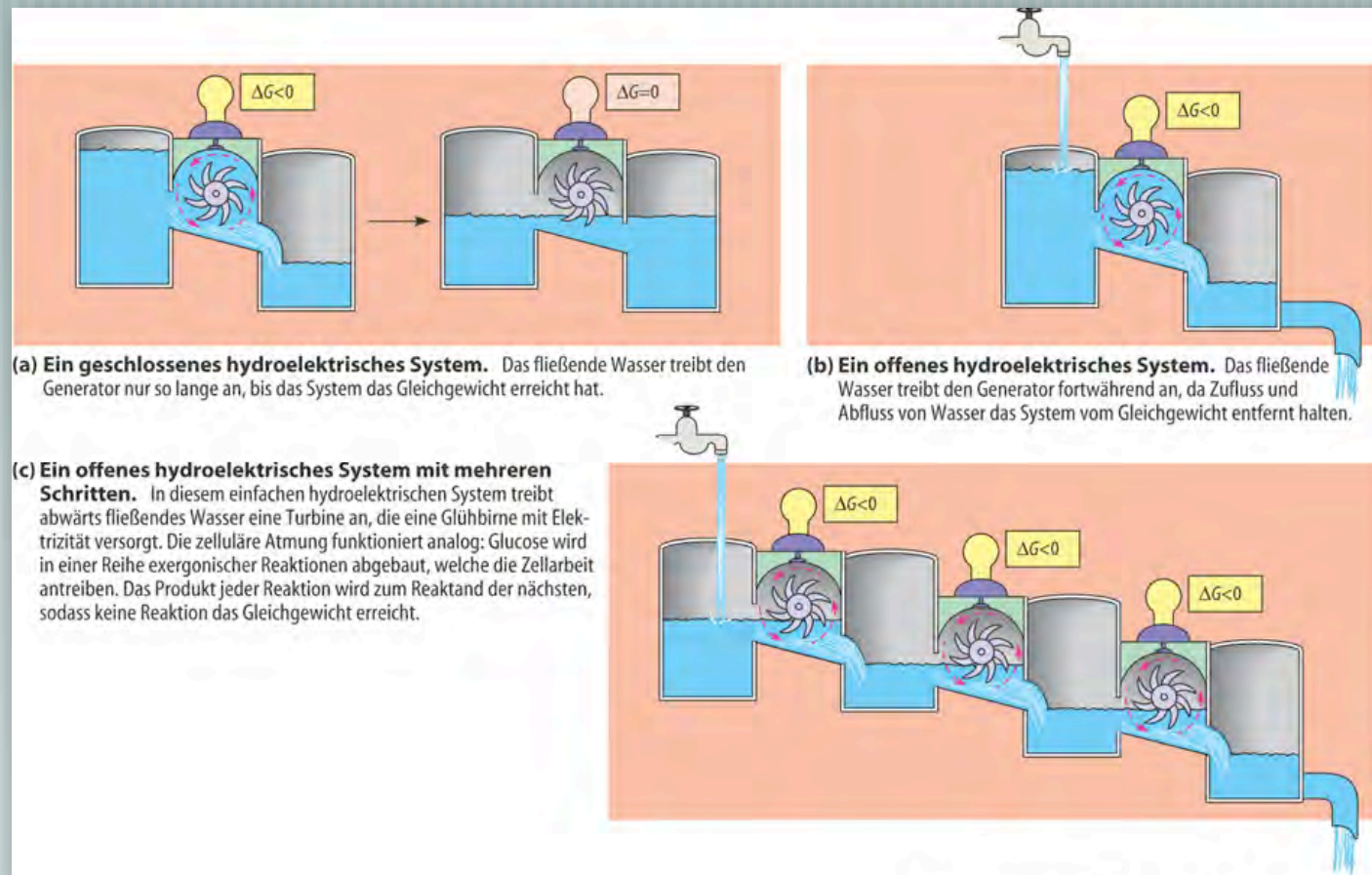
© Campbell/Reece, Biologie, 6. Aufl., 2004



# Fließgleichgewicht des Stoffwechsels: eine hydraulische Analogie

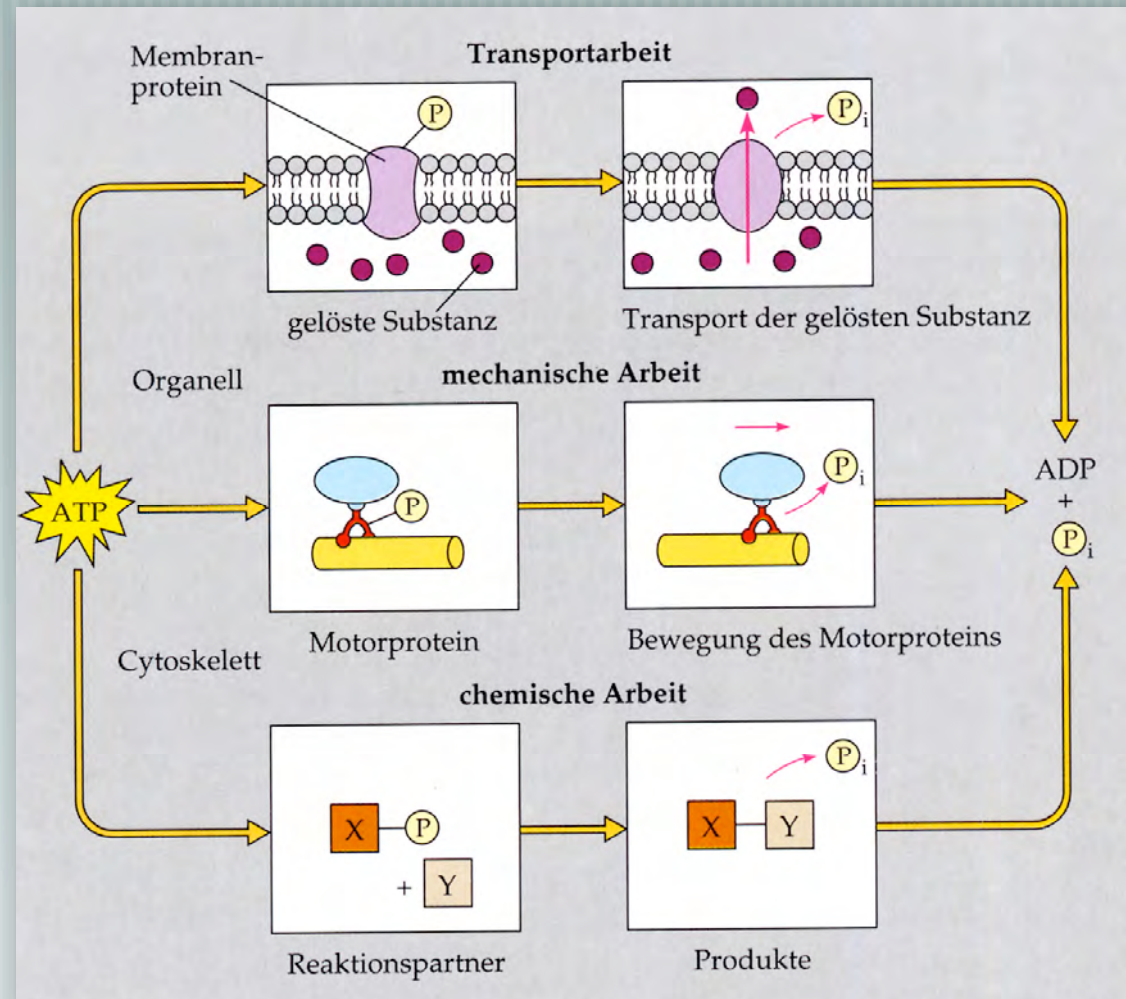
Ein Gradient von freier Energie wird benutzt, um den Stoffwechsel vom Gleichgewicht entfernt zu halten:

Das Entfernen von Stoffwechselprodukten verhindert, dass der Stoffwechsel das Gleichgewicht erreicht. Es herrscht ein Fließgleichgewicht.



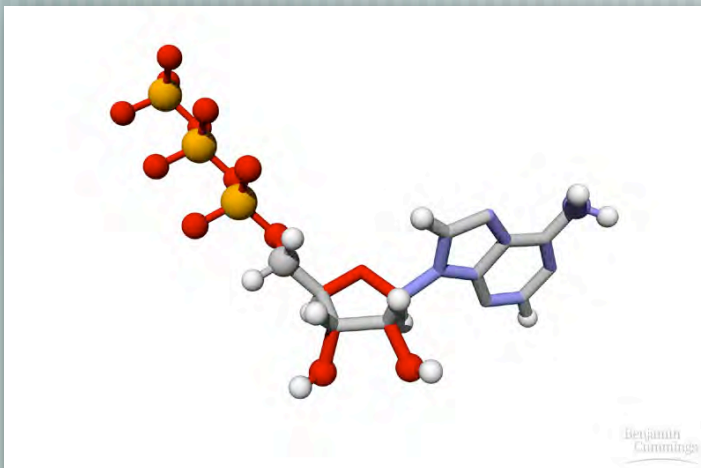
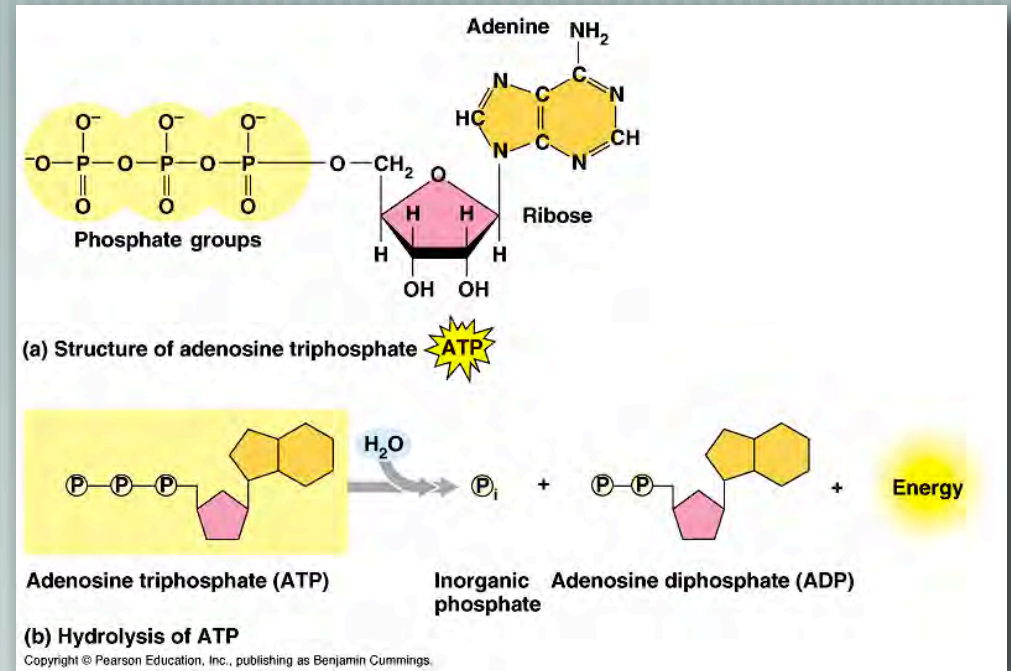
# ATP → ein universeller Energieüberträger

- ATP treibt die zelluläre Arbeit an, indem es exergonische an endergonische Teilreaktionen koppelt.
- Auf diese Weise können Zellen Arbeit verrichten, wie mechanische Arbeit bei der Bewegung, Transportarbeit beim Pumpen von gelösten Stoffen durch Membranen oder chemische Arbeit beim Anabolismus.



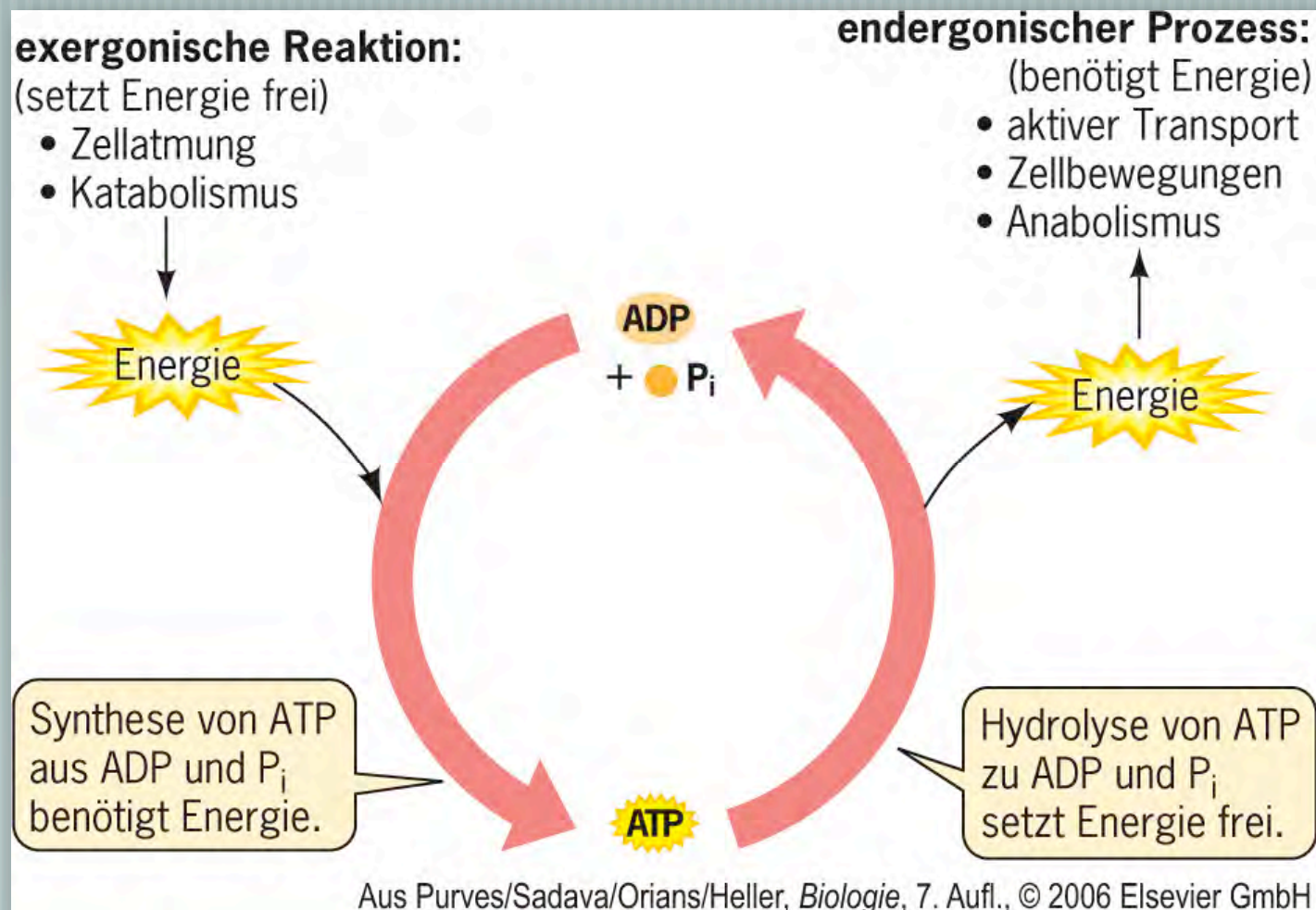
# ATP $\Rightarrow$ ein universeller Energieüberträger

- Die Hydrolyse der äußeren Phosphatbindung setzt ADP und anorganisches Phosphat frei.
- Dies ist eine exergonische Reaktion, die folglich spontan abläuft und dabei Energie freisetzt.

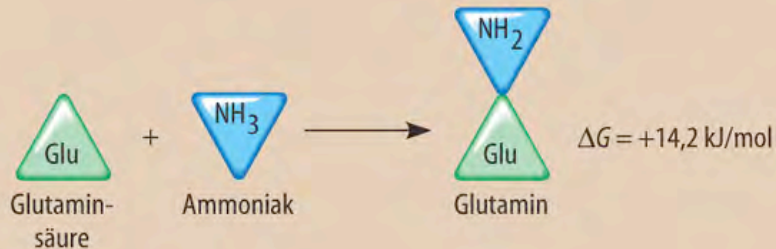


# ATP-Zyklus

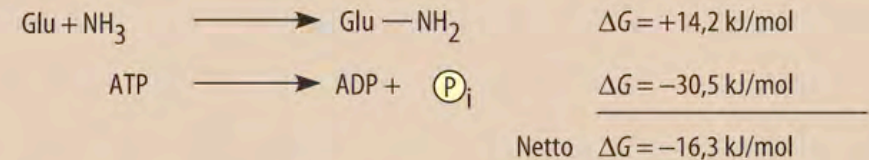
- ATP koppelt energieliefernde Vorgänge der Zelle an die energieverbrauchenden.



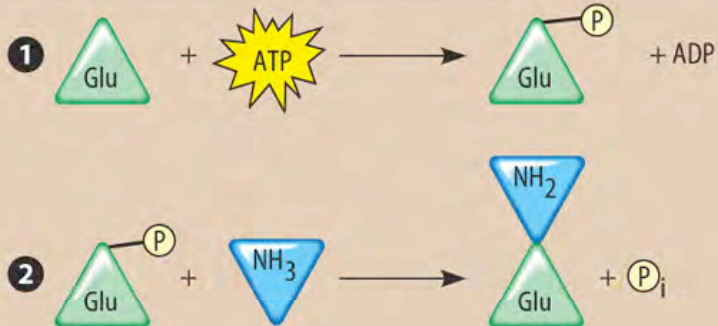
# Energiekopplung durch Phosphattransfer




(a) **Ohne ATP.** Die Umwandlung ist ohne die Hilfe von ATP nicht spontan ( $\Delta G$  ist positiv).



(c) **Änderung der freien Energie mit ATP.** Die Änderung der freien Energie für die Gesamtreaktion lässt sich berechnen, indem man  $\Delta G$  für die Aminosäureumwandlung und  $\Delta G$  für die ATP-Hydrolyse addiert. Da der Gesamtvorgang energetisch ist ( $\Delta G$  negativ ist), erfolgt er spontan.



(b) **Mit ATP.** In der Zelle ist die Glutaminsynthese eine zweistufige Reaktion, die von ATP angetrieben wird. Die Bildung eines phosphorylierten Zwischenprodukts verbindet die beiden Schritte. **1** ATP phosphoryliert die Glutaminsäure, wodurch es die Aminosäure chemisch weniger stabil macht. **2** Ammoniak ersetzt die Phosphatgruppe, sodass Glutamin entsteht.

 ATP treibt in der Zelle endergonische Prozesse an, indem es Phosphatgruppen enzymatisch auf spezifische Reaktanden überträgt.

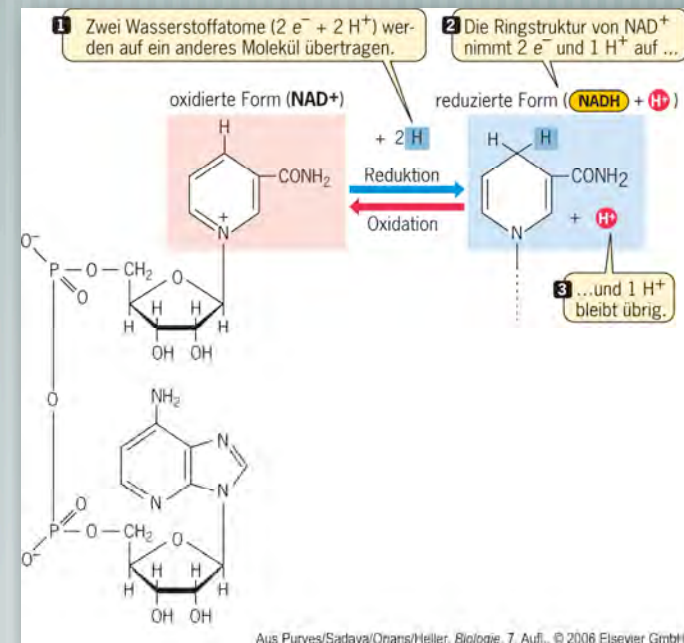
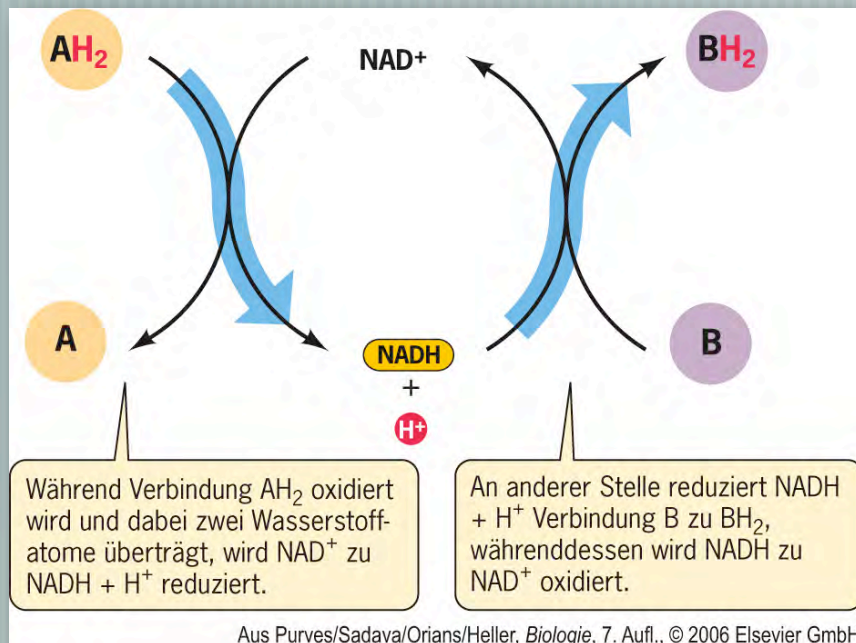
# Redoxreaktionen liefern Energie

- Redoxreaktionen liefern Energie, indem Elektronen auf elektronegativere Atome übergehen.
- Nährstoffmoleküle speichern Energie in Form energiereicher Elektronen.
- Diese Energiequelle zapft die Zelle durch Reduktions-Oxidations-Reaktionen (Redoxreaktionen) an.
- Die Substanz, die Elektronen aufnimmt, wird reduziert; diejenige, die Elektronen abgibt, wird oxidiert.



# NAD - Ein wichtiges Bindeglied in der Zellatmung

- Das Coenzym NAD ist ein wichtiger Elektronencarrier in biologischen Redoxreaktionen und ein wichtiger Energieüberträger.
- NAD liegt in zwei Formen vor: oxidiert  $\rightleftharpoons$   $\text{NAD}^+$  und reduziert  $\rightleftharpoons$   $\text{NADH} + \text{H}^+$



NAD = Nicotinamidadeninucleotid