

# Life Science - Chapter 6: Energy and Life



# Jaaroverzicht Life Science

## Blok/periode 1

Inleiding tot biologie,  
metabolisme

## Blok/periode 2

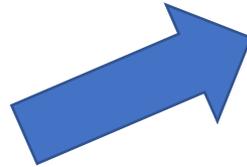
Genetica

## Blok/periode 3

Genoomanalyse

## Blok/periode 4

Ontwikkelingsbiologie,  
zenuwstelsel



Hoofdstuk 1 - Biologie en haar thema's  
1.1 en 1.2

Hoofdstuk 6 - Energie en leven  
6.1 t/m 6.4

Hoofdstuk 10 - Celrespiratie  
10.1 t/m 10.6

Hoofdstuk 3 - Chemie van water  
3.1 t/m 3.3

Hoofdstuk 4 - Koolstof: de basis van  
moleculaire diversiteit  
4.1 t/m 4.3

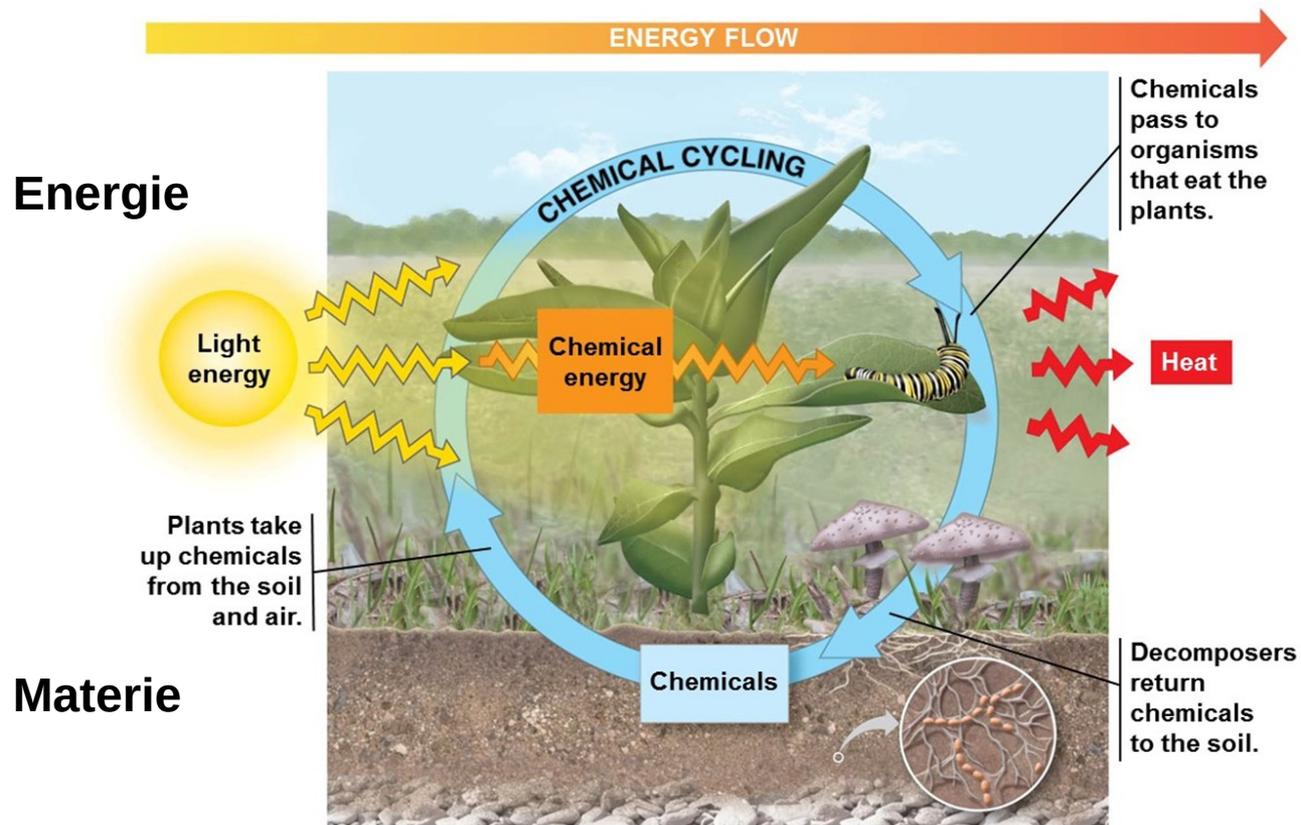
Hoofdstuk 5 - Biologische  
macromoleculen en vetten  
5.1 t/m 5.5

Hoofdstuk 7 - Celstructuur en functie  
7.1 t/m 7.7

# 1.1 The study of life reveals common themes

## Energie en materie

Op elk niveau, van cel tot ecosysteem, zijn *energie* en *materie* nodig



# Hoofdstuk 6 – Energie en leven

## Metabolische routes – energie - thermodynamica

6.1 An organism's metabolism transforms matter and energy

Metabolic pathways - Forms of energy - The laws of energy transformation

## Vrije energie $\Delta G$

6.2 The free-energy change of a reaction tells us whether or not the reaction occurs spontaneously

Free-energy change,  $\Delta G$  - Free-energy, stability and equilibrium - Free-energy and metabolism

## ATP

6.3. ATP powers cellular work by coupling exergonic reactions to endergonic reactions

The structure and hydrolysis of ATP - How ATP provides energy that performs work -  
The regeneration of ATP

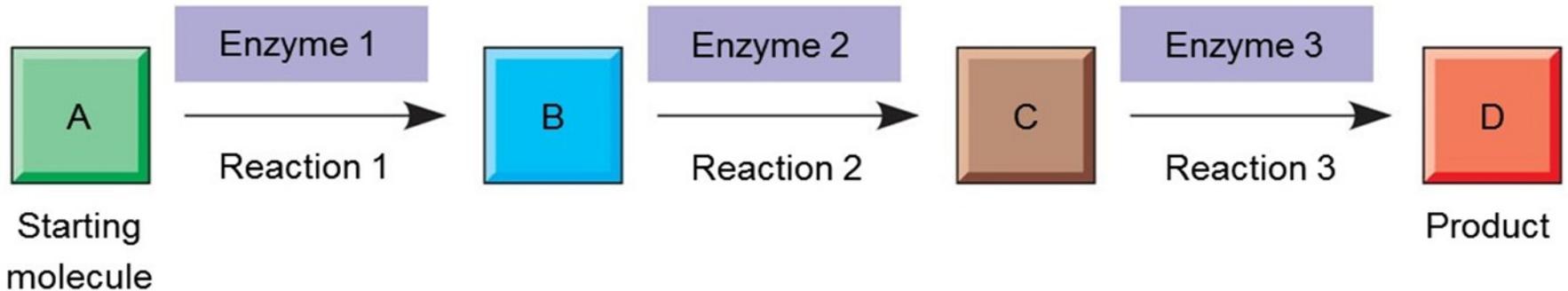
## Activatie-energie - enzymen

6.4 Enzymes speed up metabolic reactions by lowering energy barriers

The activation energy barrier - How enzymes speed up reactions - Substrate specificity of enzymes - Catalysis in the enzyme's active site - Effects of local conditions on enzyme activity - The evolution of enzymes

## 6.1 – Metabolische routes

Metabolisme = alle chemische reacties in (de cellen van) een organisme

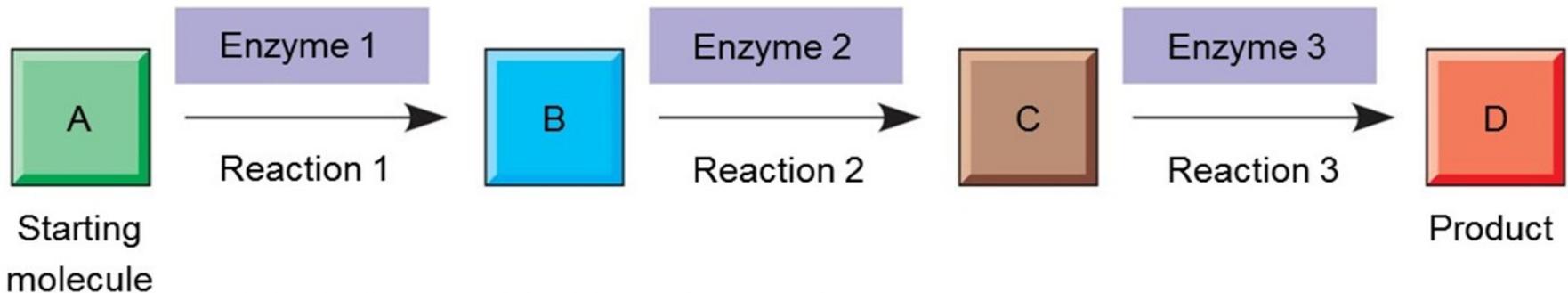


## 6.1 – Metabolische routes

Er zijn reactieroutes die energie nodig hebben

Anabole routes

Endergone reacties



Er zijn reactieroutes waarbij energie vrij komt

Katabole routes

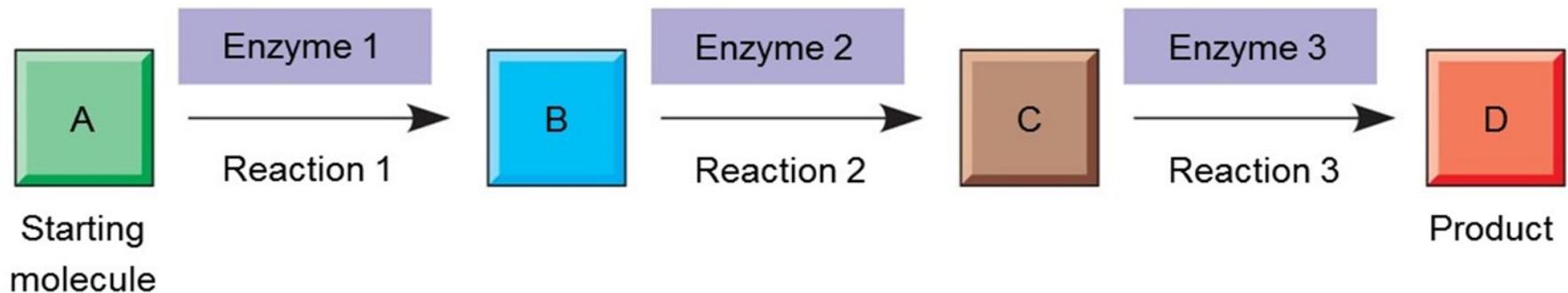
Exergone reacties

## 6.1 – Metabolische routes

Er zijn reactieroutes die energie nodig hebben

Maken van klein iets groters

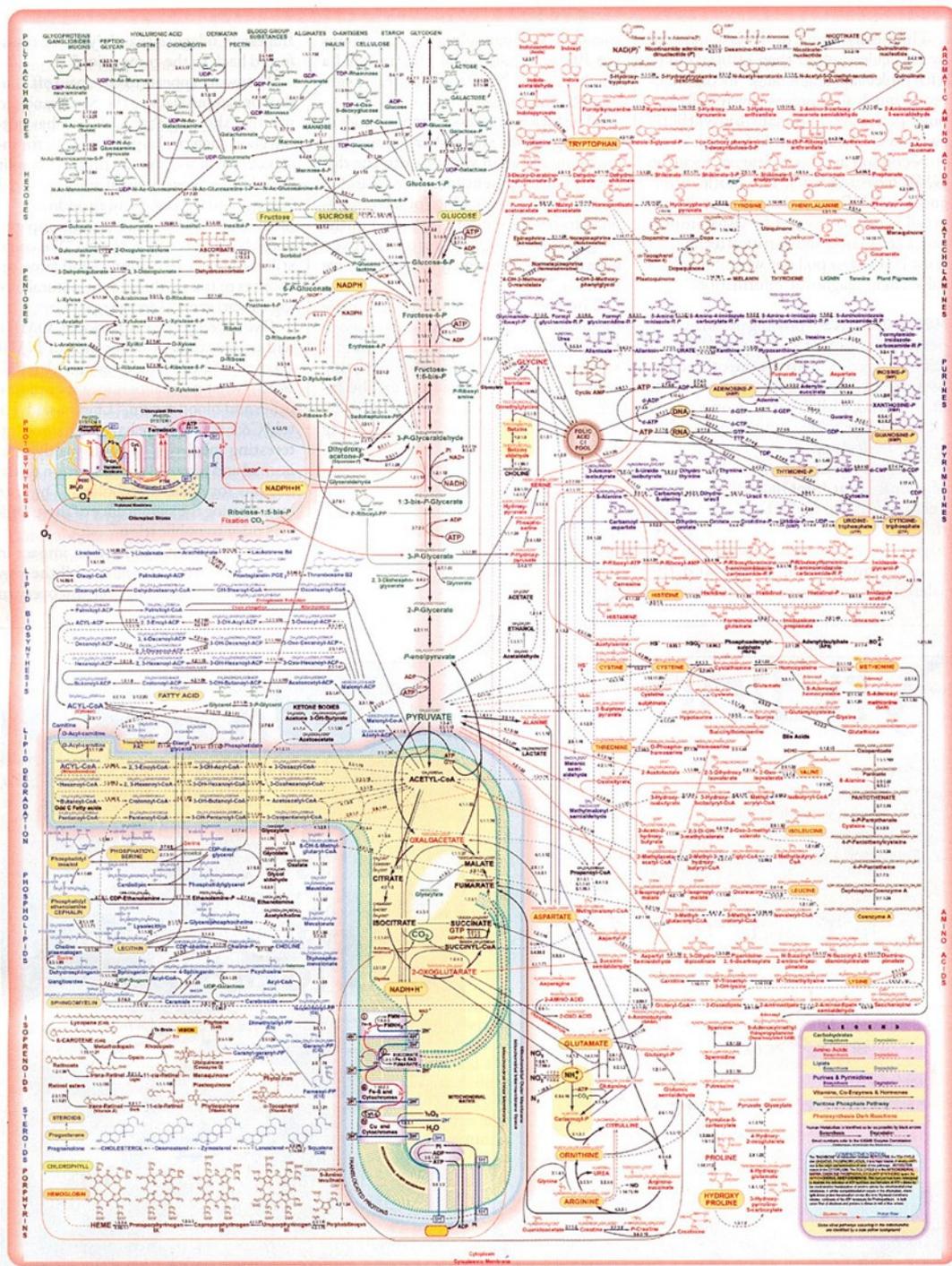
### Assimilatie



Er zijn reactieroutes waarbij energie vrij komt

Breken groot af tot kleiner

### Dissimilatie



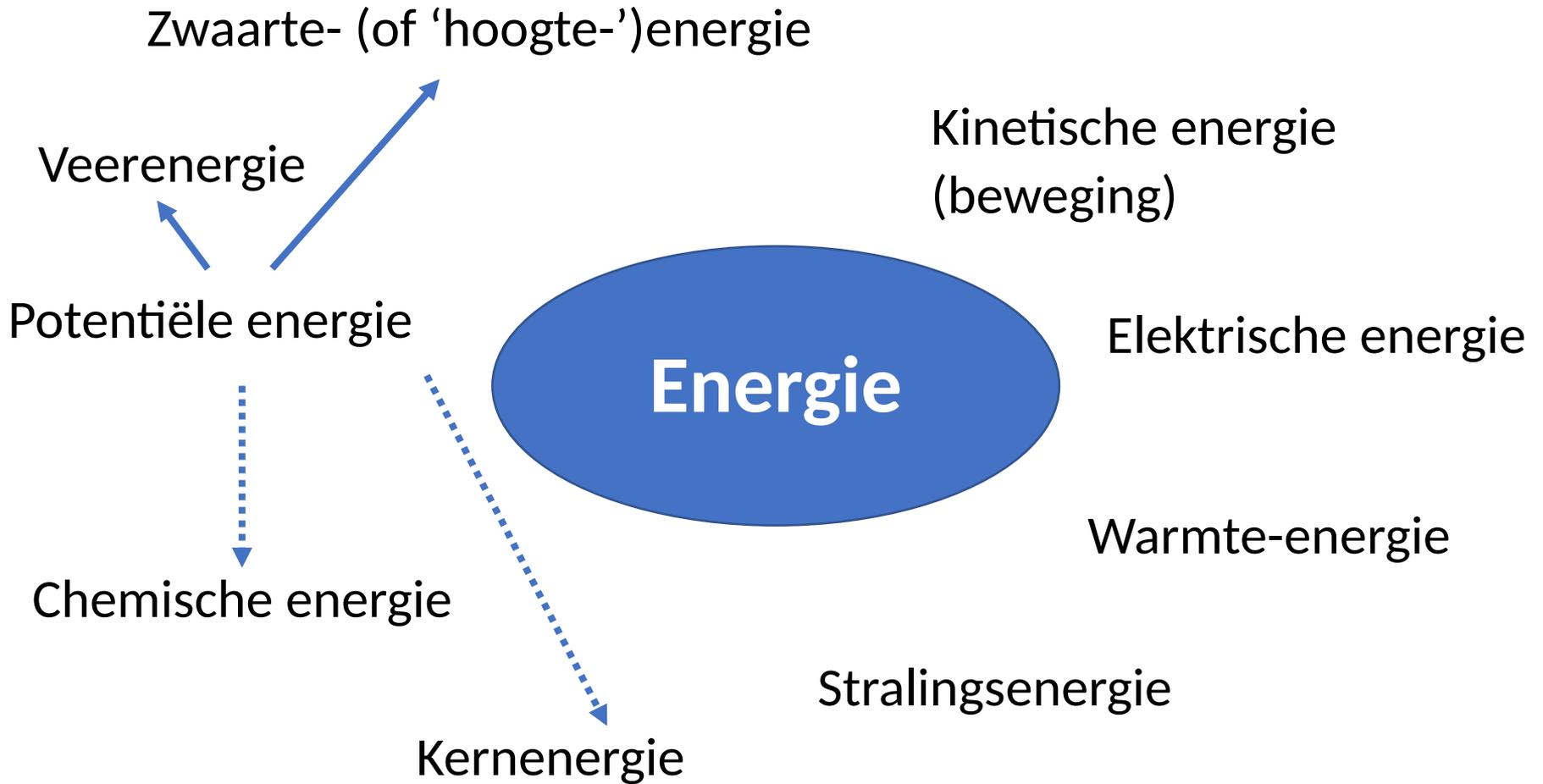
Het metabolisme in een cel bestaat uit duizenden chemische reacties

## 6.1 – Energie

Metabolisme = alle chemische reacties in (de cellen van) een organisme met behulp van energie

Welke vormen van energie ken je (nog)?

# 6.1 – Energie



## 6.1 – Energie

Energie kan van vorm veranderen

A diver has more potential energy on the platform than in the water.

Diving converts potential energy to kinetic energy.



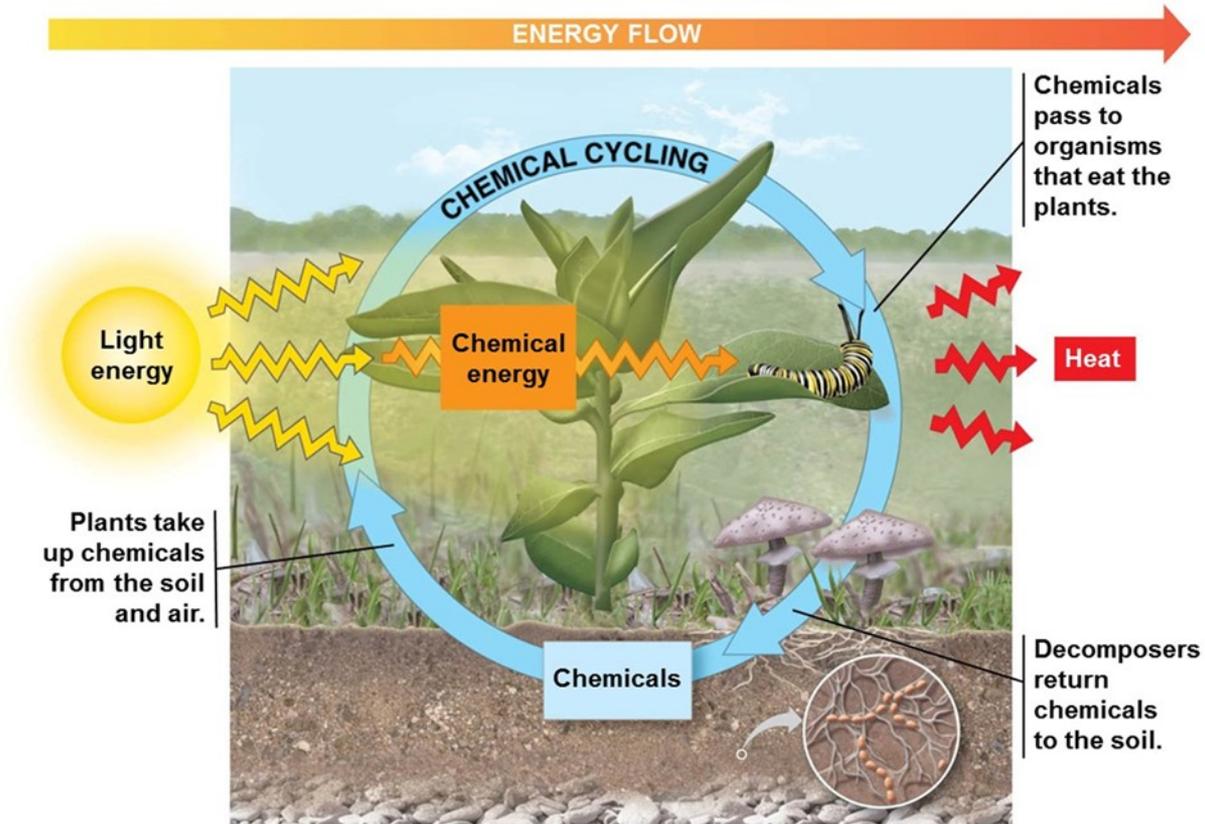
Climbing up converts the kinetic energy of muscle movement to potential energy.

A diver has less potential energy in the water than on the platform.

Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-c-ampbell-energy-transformations>

# 6.1 – Energie

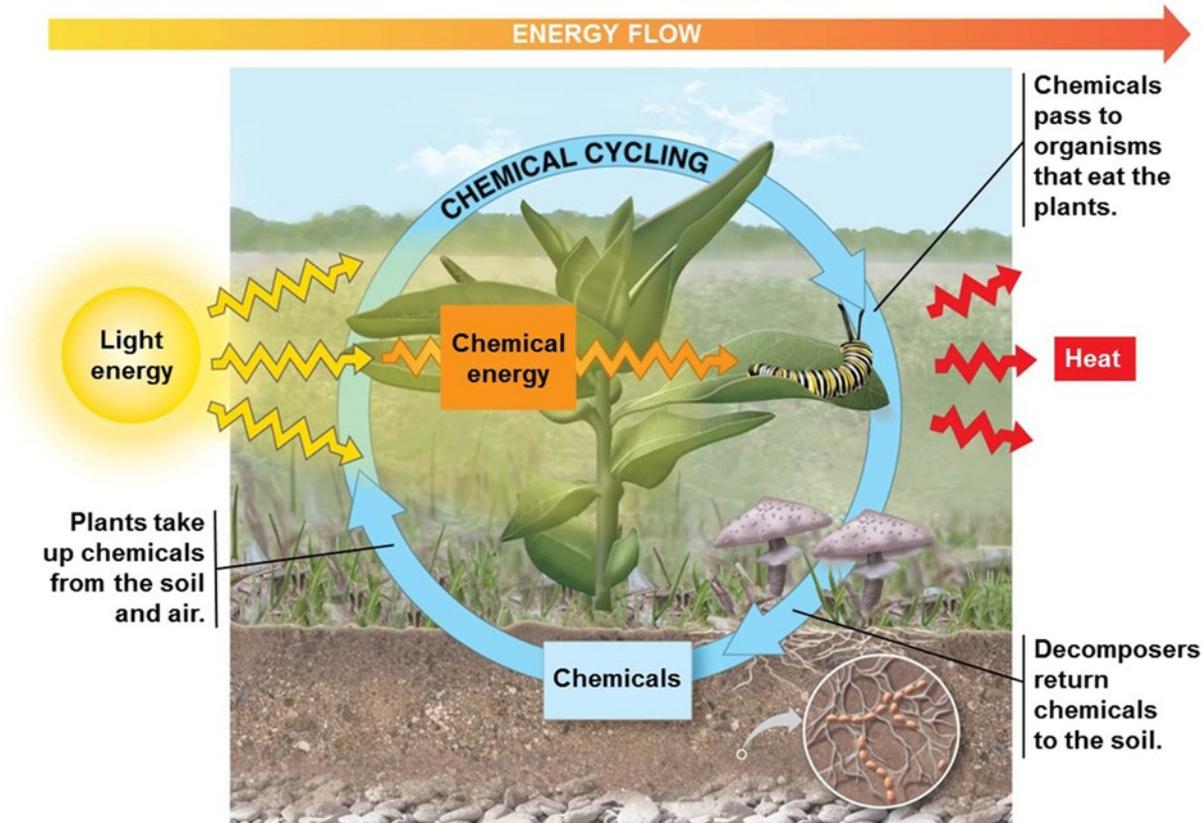
Energie kan van vorm veranderen



Een organisme = open systeem

# 6.1 – Wetten van de thermodynamica

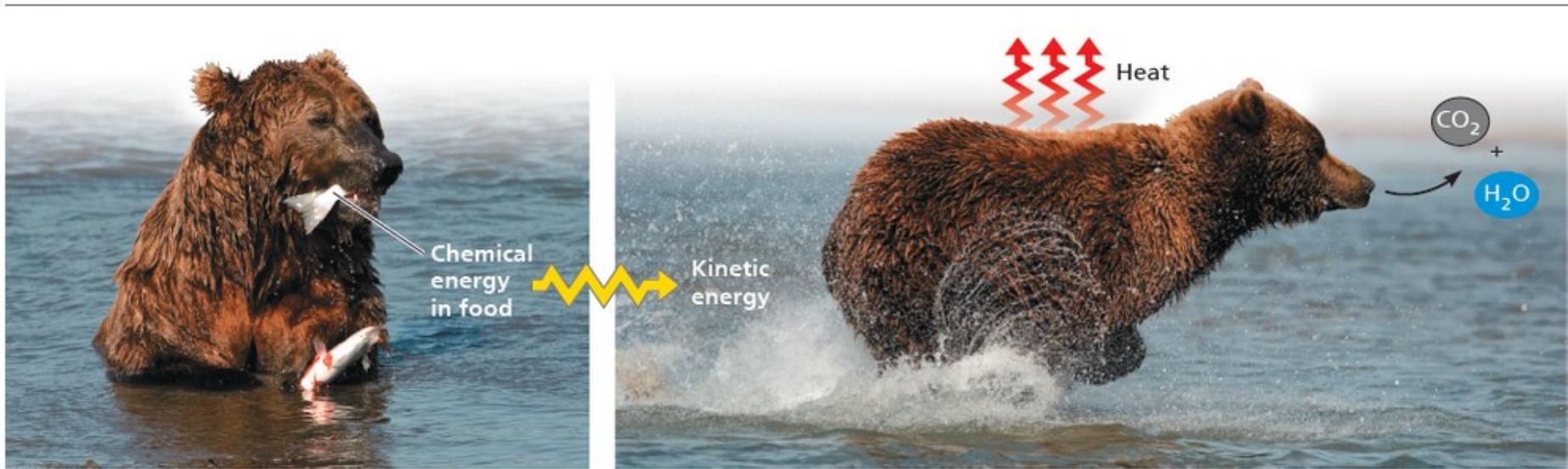
Eerste wet:



**Energie in het heelal is constant; het kan worden doorgegeven en veranderen van vorm, maar niet worden gemaakt of vernietigd**

# 6.1 – Wetten van de thermodynamica

## Tweede wet:



**(a) First law of thermodynamics:** Energy can be transferred or transformed but neither created nor destroyed. For example, chemical reactions in this brown bear will convert the chemical (potential) energy in the fish into the kinetic energy of running.

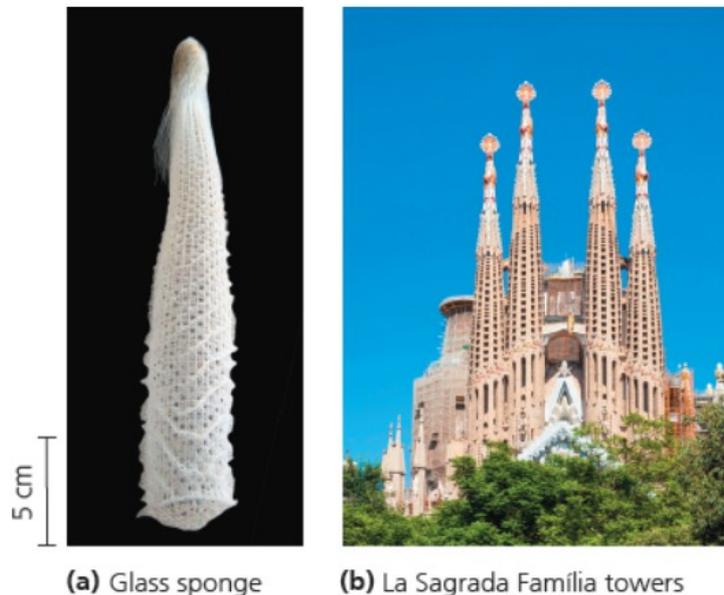
**(b) Second law of thermodynamics:** Every energy transfer or transformation increases the disorder (entropy) of the universe. For example, as the bear runs, disorder is increased around its body by the release of heat and small molecules that are the by-products of metabolism. A brown bear can run at speeds up to 35 miles per hour (56 km/hr)—as fast as a racehorse.

**Energie-overdracht of -verandering draagt bij aan een verhoging van entropie in het heelal**

Entropie = wanorde

## 6.1 – Wetten van de thermodynamica

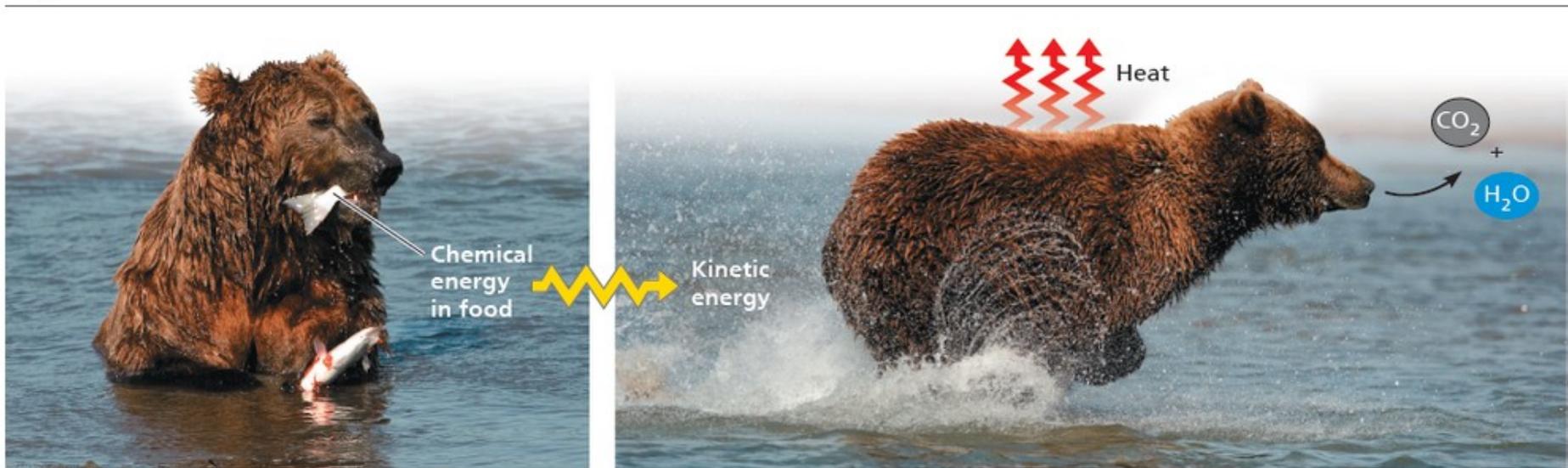
Zolang er energietoevoer is kan er tijdelijk en lokaal meer structuur en ordening bestaan



Order is evident in the detailed structures of (a) the Venus flower basket glass sponge, which inspired the Spanish architect Antoni Gaudí in his design of (b) the towers of La Sagrada Família church in Barcelona, Spain.

## 6.1 – Wetten van de thermodynamica

Een proces dat leidt tot een **verhoging** van de entropie (meer wanorde), verloopt (meestal) spontaan – **komt energie bij vrij**



(a) **First law of thermodynamics:** Energy can be transferred or transformed but neither created nor destroyed. For example, chemical reactions in this brown bear will convert the chemical (potential) energy in the fish into the kinetic energy of running.

(b) **Second law of thermodynamics:** Every energy transfer or transformation increases the disorder (entropy) of the universe. For example, as the bear runs, disorder is increased around its body by the release of heat and small molecules that are the by-products of metabolism. A brown bear can run at speeds up to 35 miles per hour (56 km/hr)—as fast as a racehorse.

Een proces dat leidt tot een **verlaging** van de entropie (meer orde), verloopt (meestal) niet-spontaan – **kost energie**



## 6.2 – Vrije energie

Om arbeid te kunnen verrichten (alle kenmerken van leven uit te voeren) heeft een systeem (een cel) energie nodig

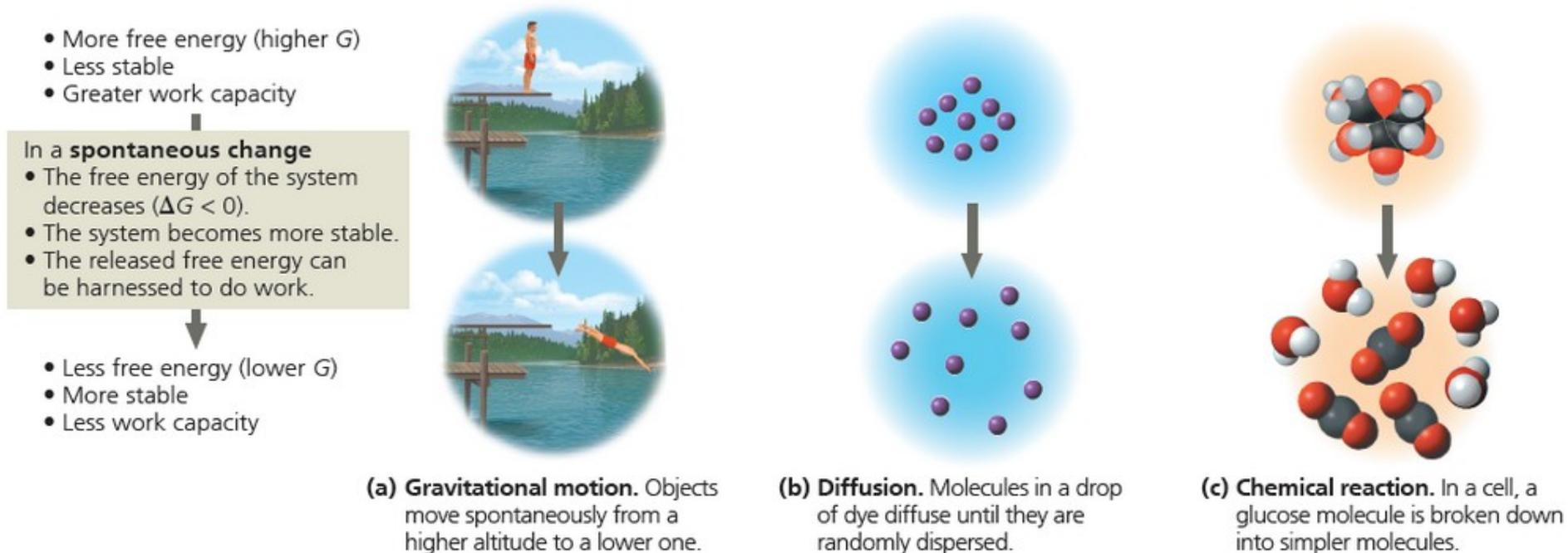
In de biochemie wordt de energie die hiervoor beschikbaar is vrije energie genoemd, G

De verandering van hoeveelheid vrije energie =  $\Delta G$

Een systeem met veel vrije energie is instabiel en zal dan spontaan naar een toestand gaan met minder vrije energie die dus stabiel is, dus  $\Delta G$  is negatief!

## 6.2 – Vrije energie

**Figure 6.5** The relationship of free energy to stability, work capacity, and spontaneous change



Unstable systems (top) are rich in free energy,  $G$ . They tend to change spontaneously to a more stable state (bottom). This “downhill” change can be harnessed to perform work.

## 6.2 – Exergone en endergone reacties

Op basis van veranderingen in vrije energie kunnen chemische reacties worden ingedeeld in:

- Exergone reacties
- Endergone reacties

Hoe zit dit ook alweer?

## 6.2 – Exergone en endergone reacties

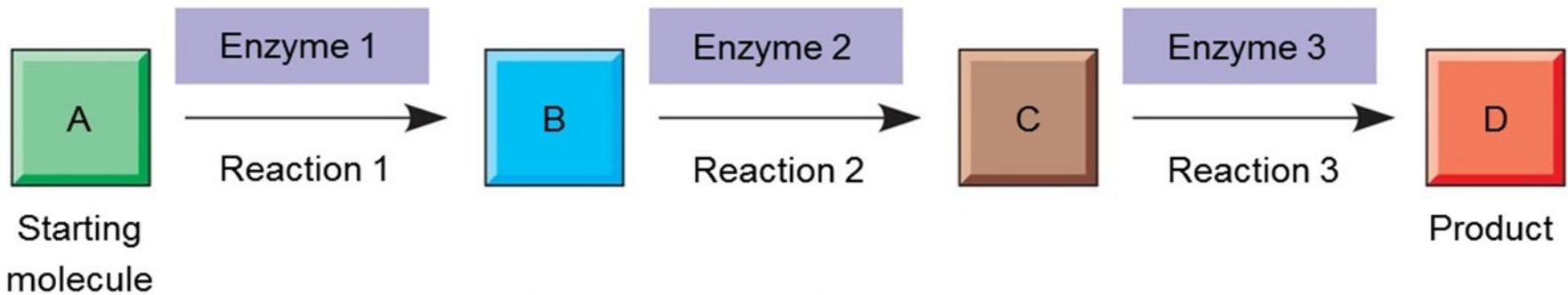
Er zijn reactieroutes waarbij energie vrij komt (exit)

Katabole routes

Dissimilatie

Exergone reacties

$$\Delta G < 0$$



Er zijn reactieroutes die energie nodig hebben

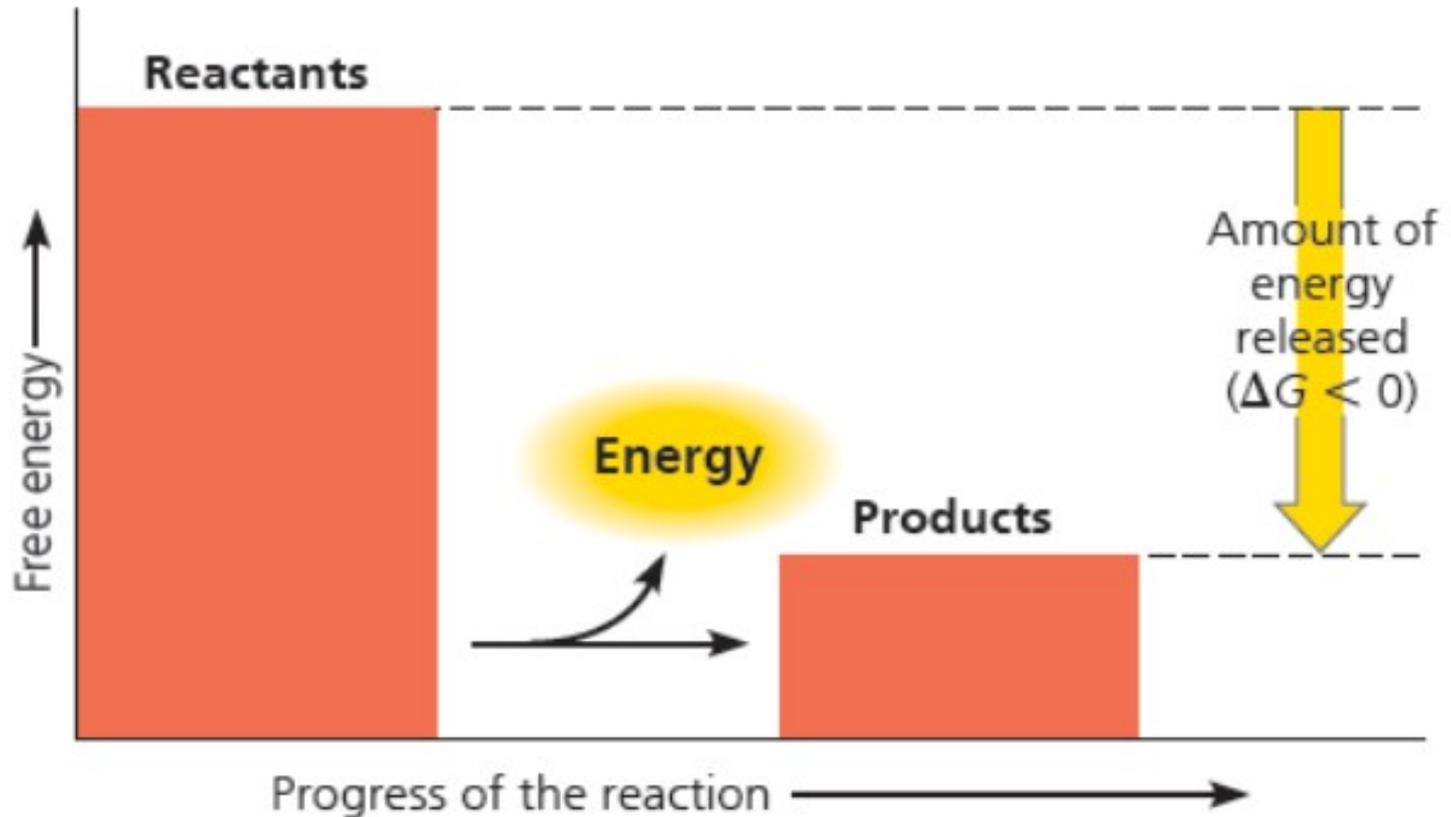
Anabole routes

Assimilatie

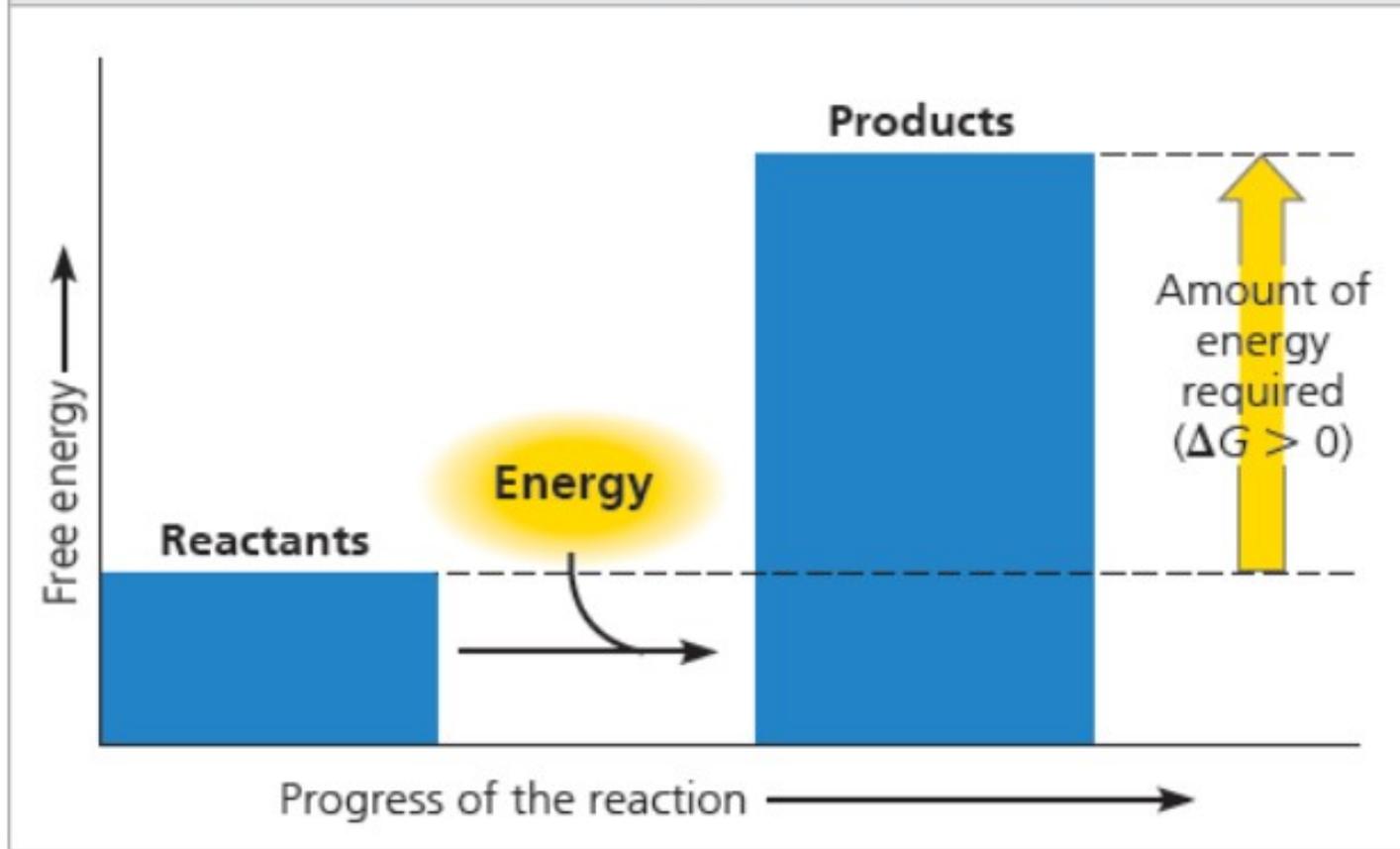
Endergone reacties

$$\Delta G > 0$$

**(a) Exergonic reaction: energy released, spontaneous**



**(b) Endergonic reaction: energy required, nonspontaneous**

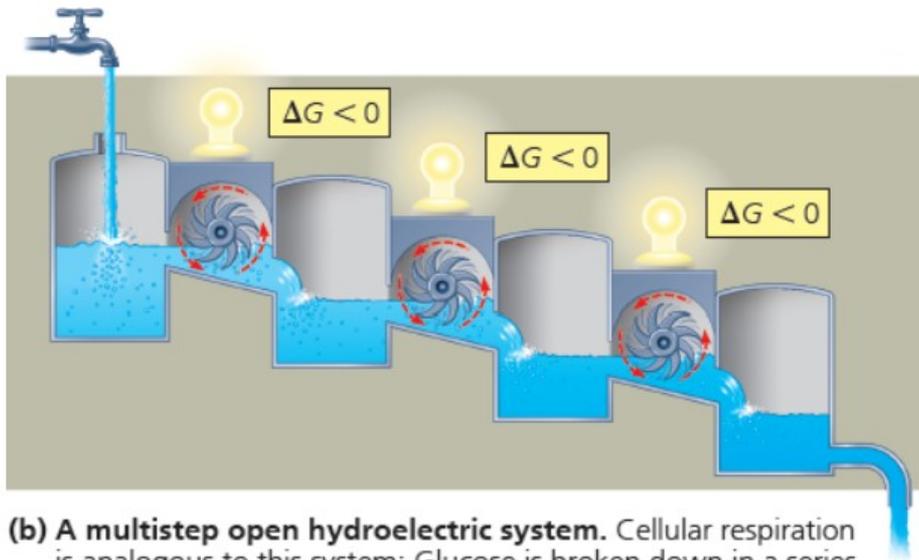


Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-campbell-exergonic-and-endergonic-reactions>

## 6.2 – Evenwicht en metabolisme

Metabolische processen zijn omkeerbaar en zouden een evenwicht kunnen bereiken,  $\Delta G = 0$

Biologische systemen zijn open systemen en bereiken daardoor geen evenwichtstoestand

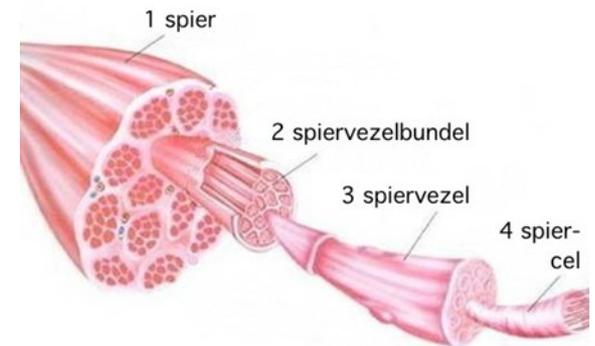
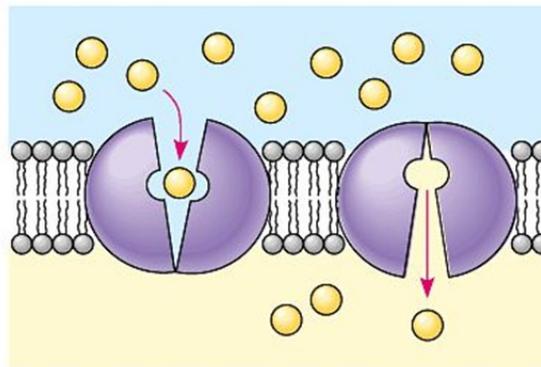
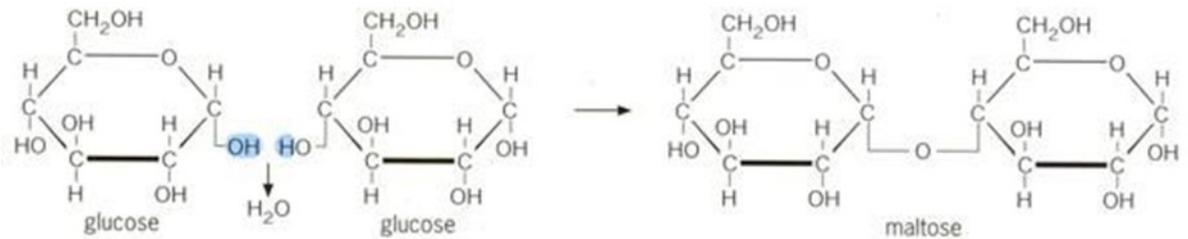


(b) **A multistep open hydroelectric system.** Cellular respiration is analogous to this system: Glucose is broken down in a series of exergonic reactions that power the work of the cell. The product of each reaction is used as the reactant for the next, so no reaction reaches equilibrium.

## 6.3 - ATP

In een cel vinden drie verschillende soorten werk (arbeid) plaats:

- Chemisch
- Transport
- Mechanisch



Exergone reacties worden gebruikt voor endergone reacties  
Wat wordt hiermee bedoeld?

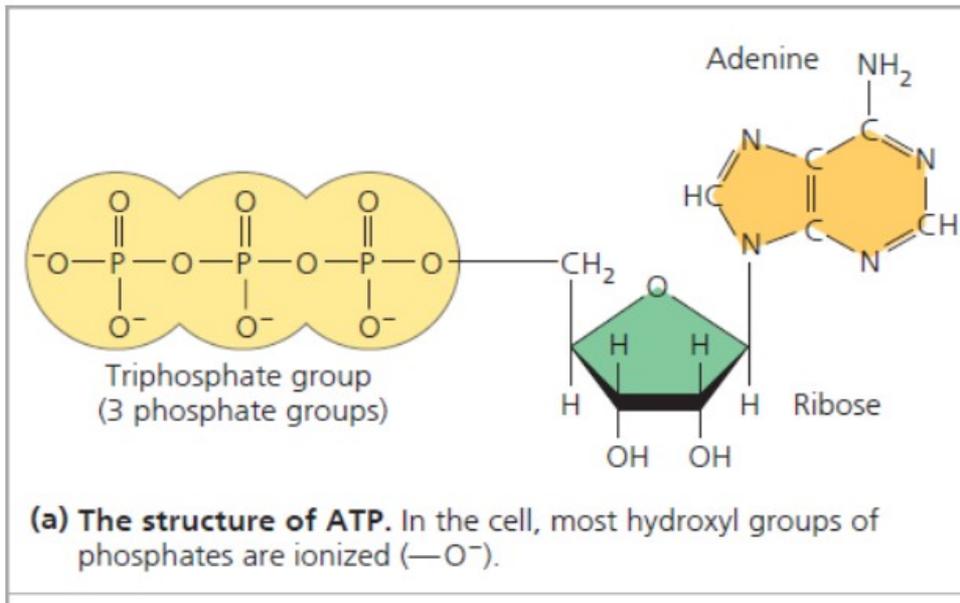
## 6.3 - ATP

Het molecuul dat koppeling tussen exergone en endergone reacties mogelijk maakt:

ATP

Adenosine trifosfaat

Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-campbell-energy-coupling>

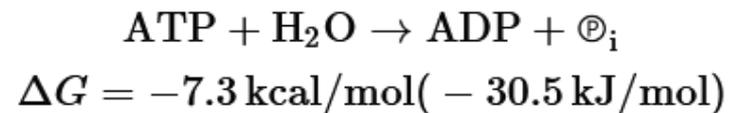
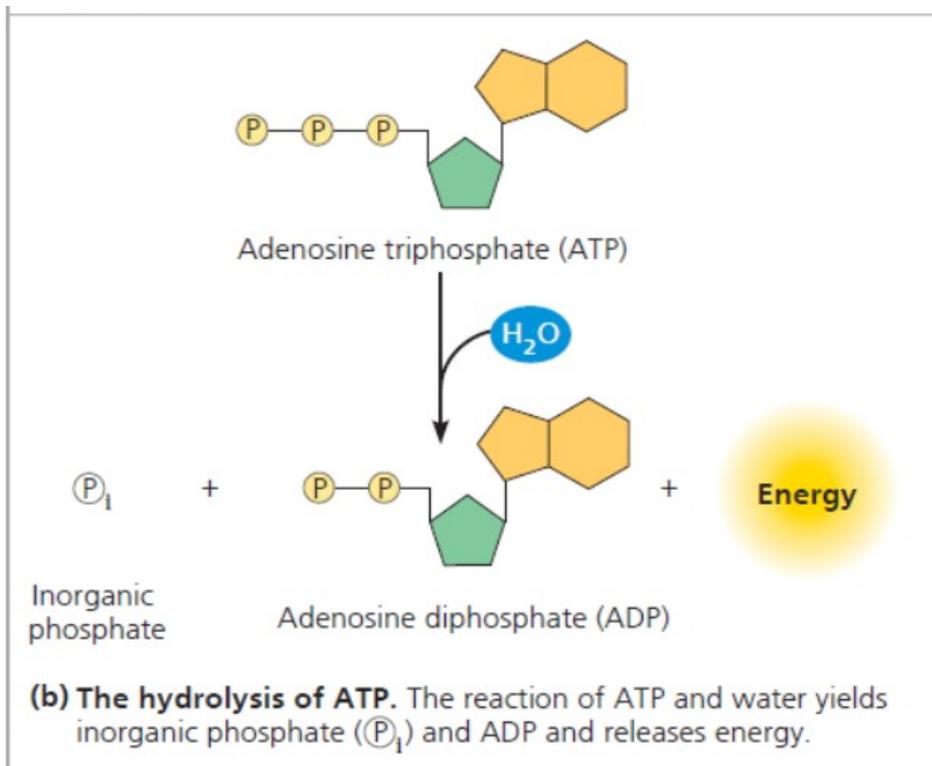


Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-campbell-structure-atp>

## 6.3 - ATP

Bij de exergone reactie (de hydrolyse van ATP, oftewel vorming van ADP) komt energie vrij.

Deze energie kan vervolgens weer gebruikt worden voor een endergone reactie.

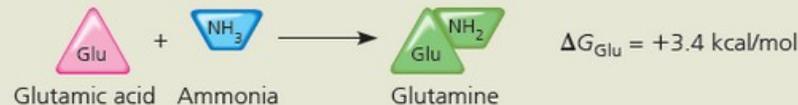


## 6.3 - ATP

Vaak wordt de hydrolyse van ATP gekoppeld aan een endergone reactie via fosforylatie

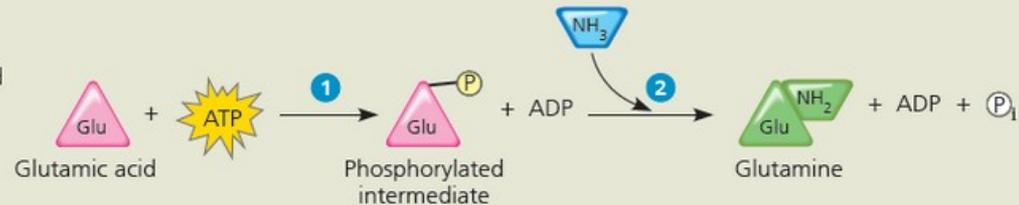
### (a) Glutamic acid conversion to glutamine.

Glutamine synthesis from glutamic acid (Glu) by itself is endergonic ( $\Delta G$  is positive), so it is not spontaneous.



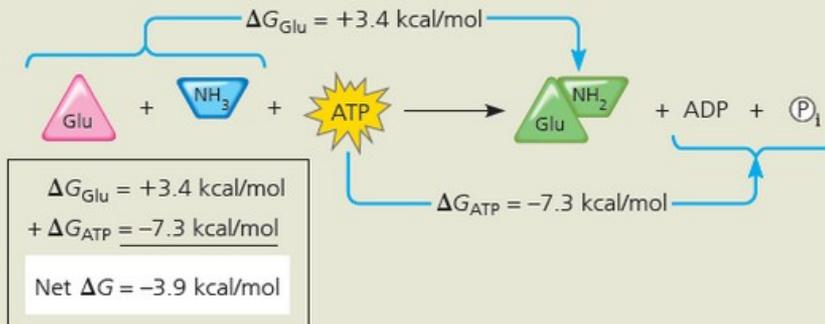
### (b) Conversion reaction coupled with ATP hydrolysis.

In the cell, glutamine synthesis occurs in two steps, coupled by a phosphorylated intermediate (Glu-P). **1** ATP phosphorylates glutamic acid, making it less stable, with more free energy. **2** Ammonia displaces the phosphate group, forming glutamine.



### (c) Free-energy change for coupled reaction.

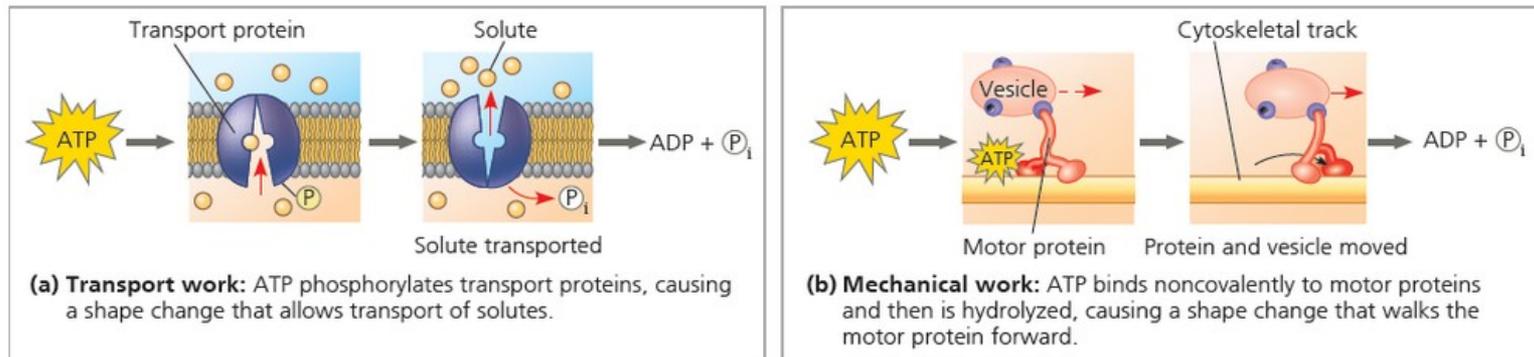
$\Delta G$  for the glutamic acid conversion to glutamine (+3.4 kcal/mol) plus  $\Delta G$  for ATP hydrolysis (-7.3 kcal/mol) gives the free-energy change for the overall reaction (-3.9 kcal/mol). Because the overall process is exergonic (net  $\Delta G$  is negative), it occurs spontaneously.



## 6.3 - ATP

Ook de soorten arbeid transport en mechanisch komen vaak tot stand door de hydrolyse van ATP te koppelen aan bepaalde eiwitten die daardoor van vorm kunnen veranderen en de mogelijkheid hebben aan andere moleculen te binden

**Figure 6.11** How ATP drives transport and mechanical work

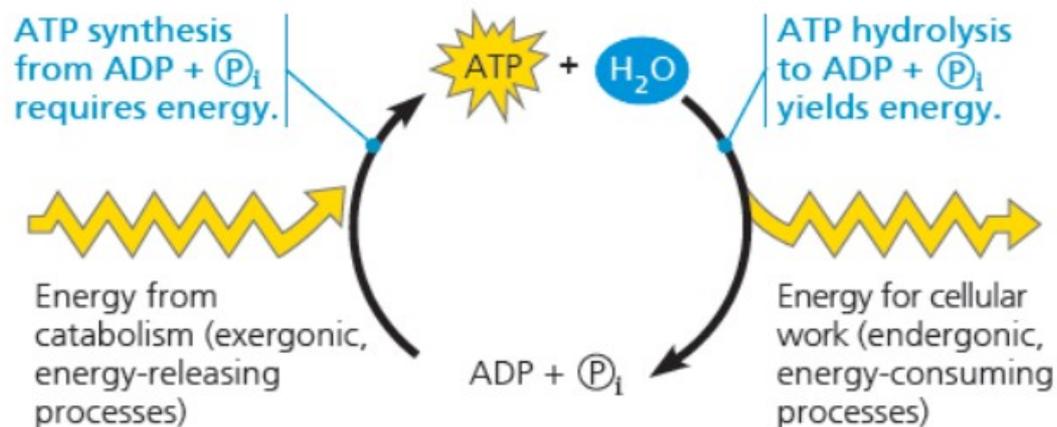


ATP hydrolysis causes changes in the shapes and binding affinities of proteins. This can occur either (a) directly, by phosphorylation, as shown for a membrane protein carrying out active transport of a solute (see also [Figure 8.16](#) and the proton pump in [Figure 7.32](#), upper left), or (b) indirectly, via noncovalent binding of ATP and its hydrolytic products, as is the case for motor proteins that move vesicles (and other organelles) along cytoskeletal "tracks" in the cell (see also [Figures 7.21](#) and [7.32](#), lower right).

## 6.3 - ATP

Om het celmetabolisme aan de gang te houden wordt ATP constant gevormd en gehydrolyseerd, dit wordt de ATP-cyclus genoemd

Figure 6.12 The ATP cycle



Energy released by breakdown reactions (catabolism) in the cell is used to phosphorylate ADP, regenerating ATP. Chemical potential energy stored in ATP drives most cellular work.

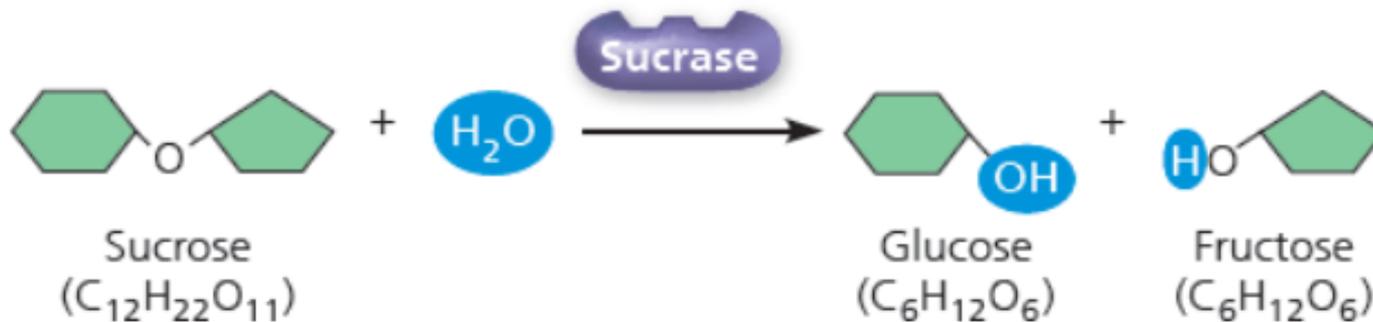
Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-micro-bio-amin-metabolism>



## 6.4 Enzymen

De wetten van de thermodynamica maken duidelijk welke processen, onder bepaalde omstandigheden, wel of niet gebeuren

Over de snelheid waarmee de processen verlopen wordt niks gezegd:



## 6.4 Enzymen

Wat is een enzym?

- A. Een biokatalysator
- B. Een eiwit
- C. Een chemische stof die een reactie versnelt zonder deel te nemen aan de reactie.
- D. Een macromolecuul
- E. Alle bovenstaande antwoorden zijn juist.

## 6.4 Activatie-energie

Waarom verlopen exergone reacties vaak (te) langzaam?

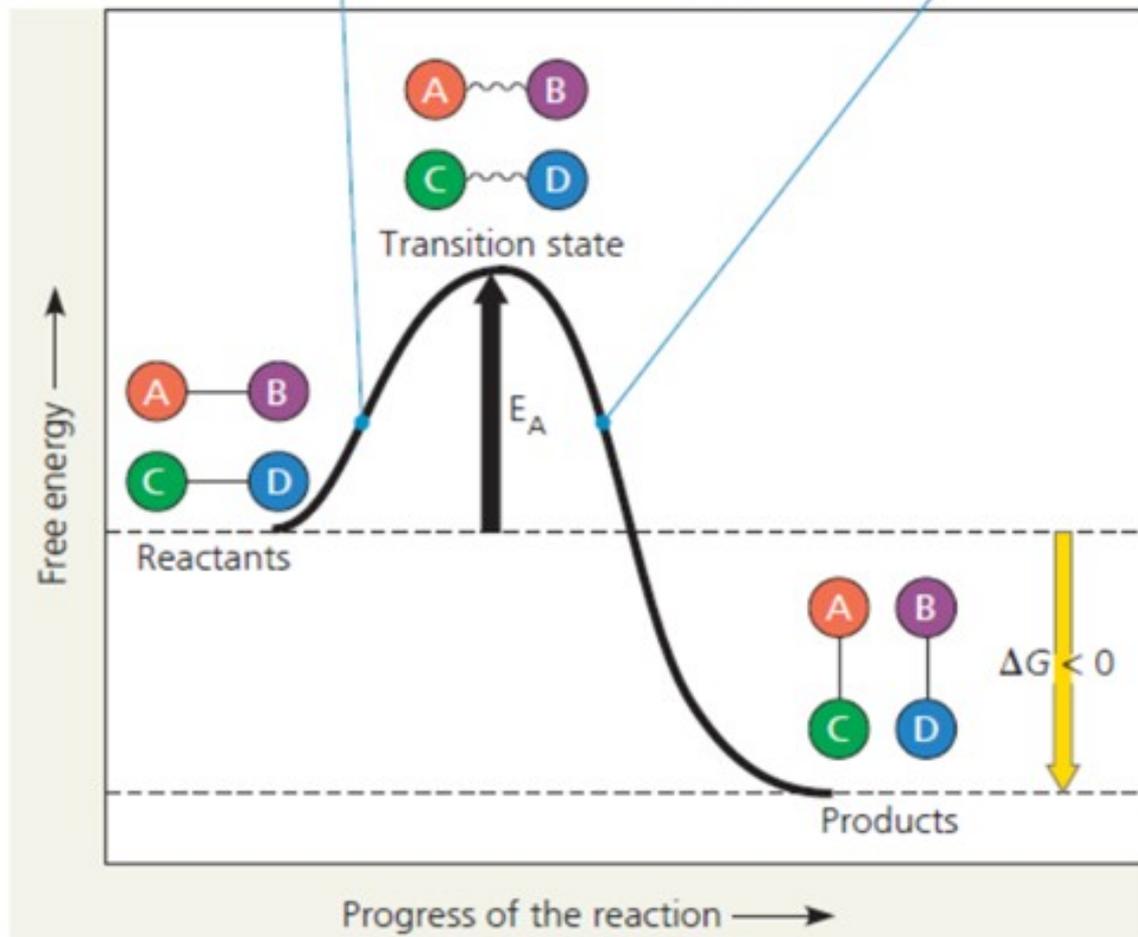
Er is wat energie nodig om bindingen in een molecuul voor te bereiden op het breken van die bindingen

Dit wordt activatie-energie genoemd,  $E_A$

## 6.4 Activatie-energie

The reactants AB and CD must absorb enough energy from the surroundings to reach the unstable transition state, where bonds can break.

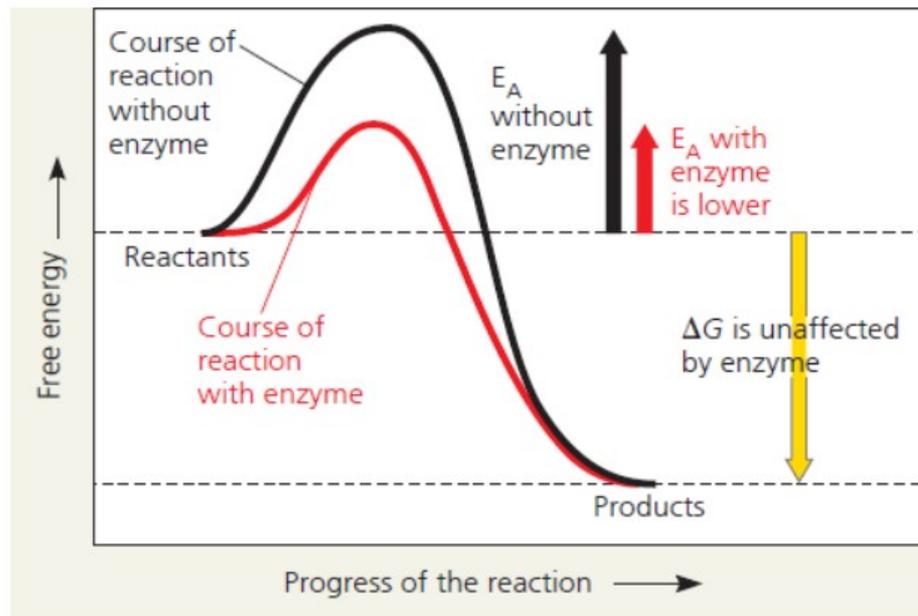
After bonds have broken, new bonds form, releasing energy to the surroundings.



## 6.4 Activatie-energie

In cellen helpen enzymen de activatie-energie voor exergone reacties te verlagen

**Figure 6.14** The effect of an enzyme on activation energy



Without affecting the free-energy change ( $\Delta G$ ) for a reaction, an enzyme speeds the reaction by reducing its activation energy ( $E_A$ ).

Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-campbell-how-enzymes-work>

## 6.4 Substraat-specifieke enzymen

Enzymen hebben een specifieke vorm waardoor ze alleen geschikt zijn om zich aan bepaalde reactiestoffen – het **substraat** - te binden:

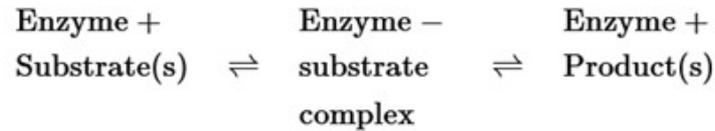
Ze zijn substraat-specifiek

Ze hebben een active 'site' (plek) – hier past het substraat

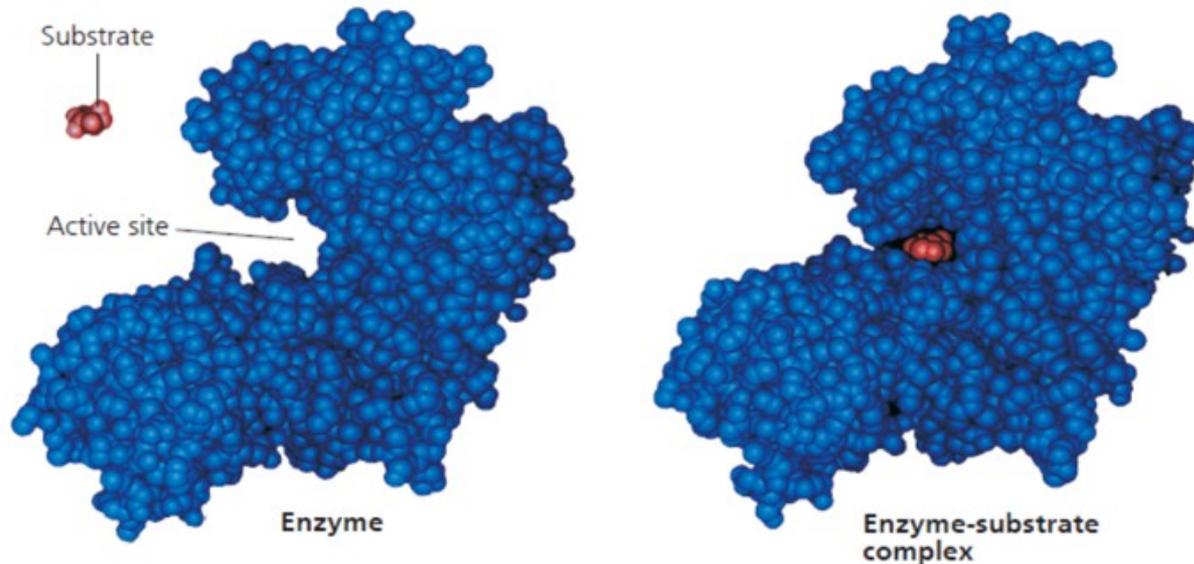
Samen vormen ze het enzym-substraat complex

Dit noemen we ook het sleutel-slot-principe

## 6.4 Substraat-specifieke enzymen



**Figure 6.15** Induced fit between an enzyme and its substrate



**(a)** In this space-filling model of the enzyme hexokinase (blue), the active site forms a groove on the surface. The enzyme's substrate is glucose (red).

**(b)** When the substrate enters the active site, it forms weak bonds with the enzyme, inducing a change in the shape of the protein. This change allows additional weak bonds to form, causing the active site to enfold the substrate and hold it in place.

## 6.4 Substraat-specifieke enzymen

1 Substrates enter the active site; enzyme changes shape such that its active site enfolds the substrates (induced fit).

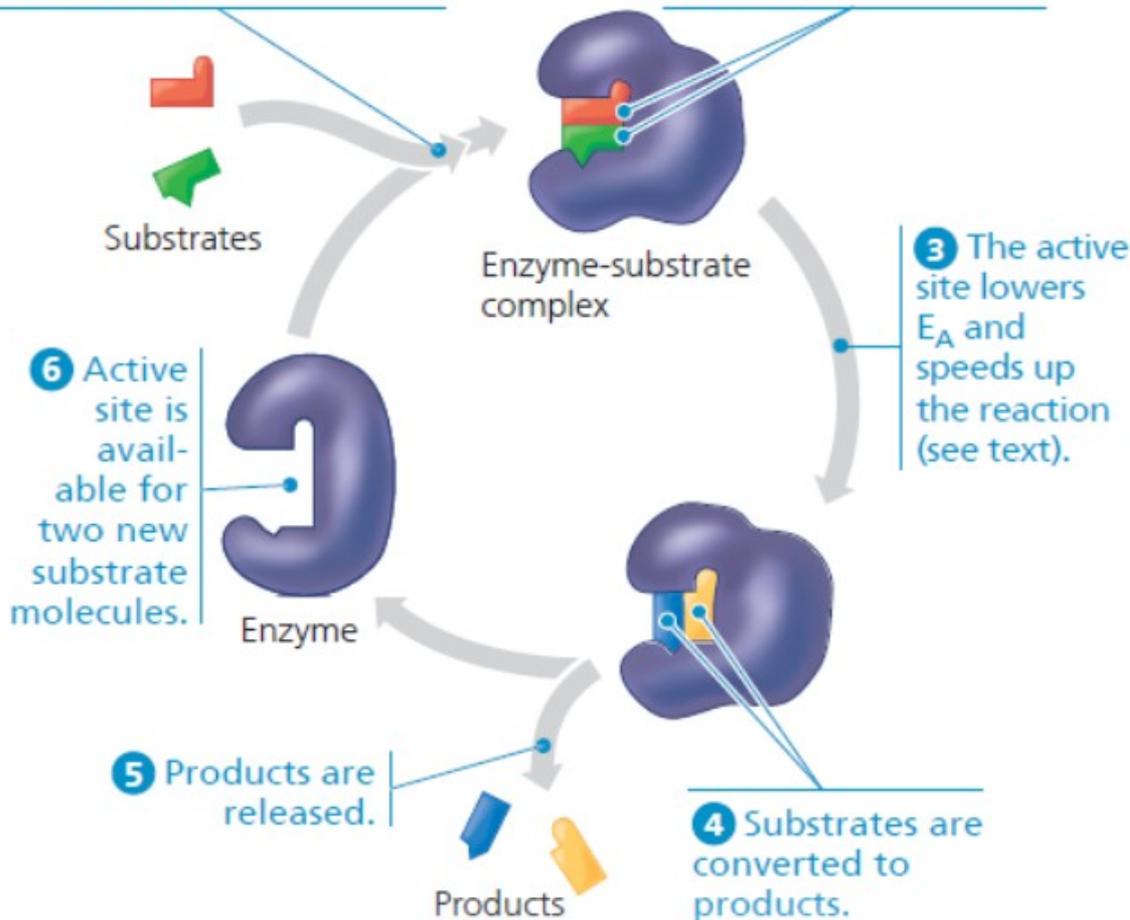
2 Substrates are held in the active site by weak interactions, such as hydrogen bonds and ionic bonds.

3 The active site lowers  $E_A$  and speeds up the reaction (see text).

4 Substrates are converted to products.

5 Products are released.

6 Active site is available for two new substrate molecules.



Zie <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-microbio-amin-enzymes-steps>

## 6.4 Substraat-specifieke enzymen

De snelheid waarmee substraat met behulp van enzymen wordt omgezet tot producten hangt af van:

- Hoeveelheid substraat
- Hoeveelheid enzymen

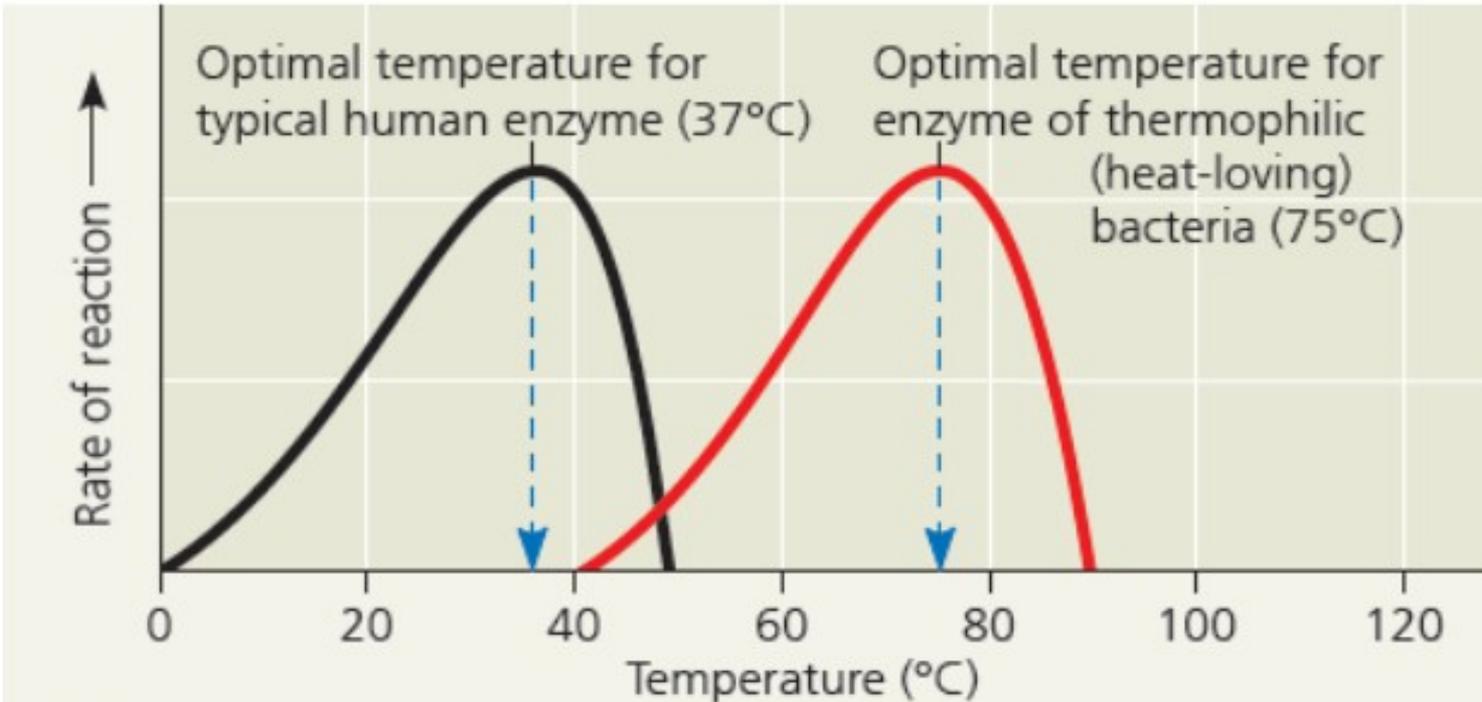
## 6.4 Enzymactiviteit

De snelheid waarmee substraat tot product wordt omgezet hangt ook af van hoe goed het enzym *zelf* werkt.

Dit wordt beïnvloed door:

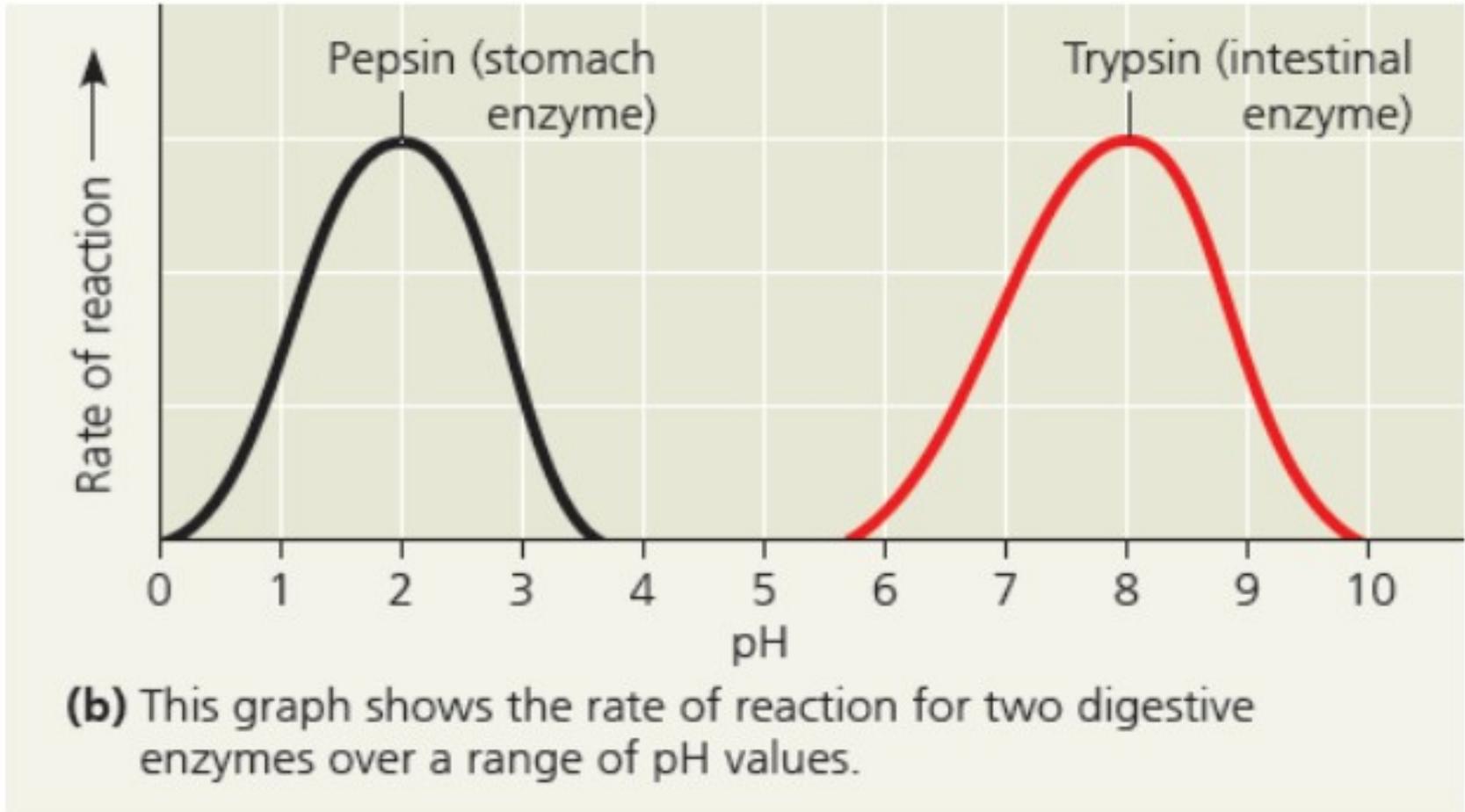
- Omgevingsfactoren zoals **temperatuur** en **pH**  
Ieder enzym heeft optimale waarden waarbij deze het beste werkt
- **Chemicaliën** die aan het enzym kunnen binden

## 6.4 Enzymactiviteit



- (a) The photo shows thermophilic cyanobacteria (green) thriving in the hot water of a Nevada geyser. The graph compares the optimal temperatures for an enzyme from the thermophilic bacterium *Thermus oshimai* (75°C) and human enzymes (37°C, body temperature).

## 6.4 Enzymactiviteit



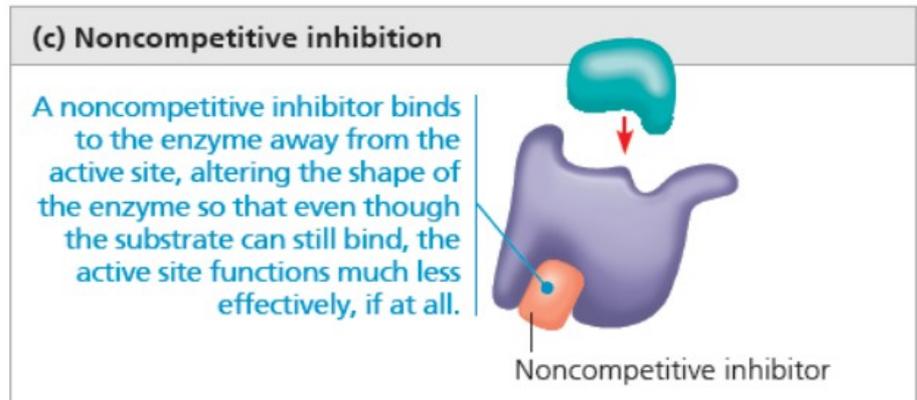
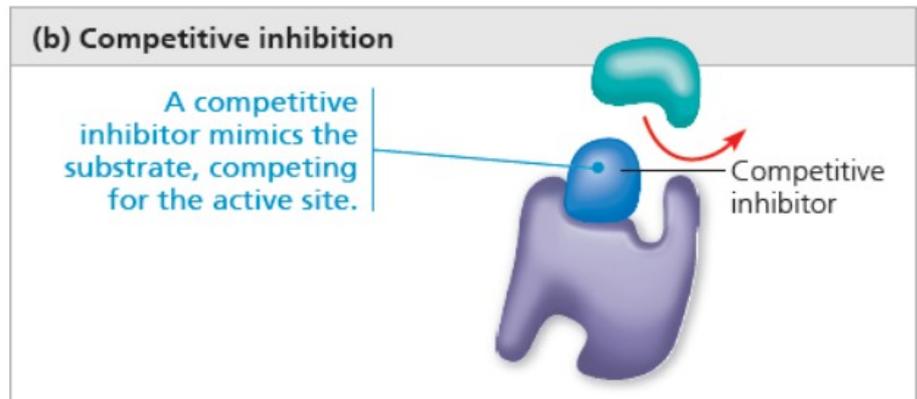
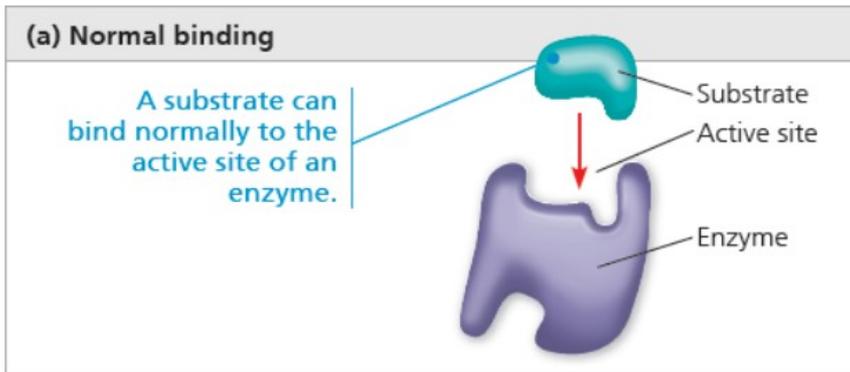
## 6.4 Enzymactiviteit

De snelheid waarmee substraat tot product wordt omgezet hangt ook af van hoe goed het enzym *zelf* werkt.

Dit wordt beïnvloed door:

- Omgevingsfactoren zoals **temperatuur** en **pH**  
Ieder enzym heeft optimale waarden waarbij deze het beste werkt
- **Chemicaliën** die aan het enzym kunnen binden
  - Cofactor (zoals ijzer) of coenzym (zoals vitamines)
  - Competitieve remmer (competitive inhibitor)
  - Niet-competitieve remmer (non-competitive inhibitor)

# 6.4 Enzymactiviteit



# Oefenopgaven

Ga naar

<https://www.pearsonmylabandmastering.com/>

Gebruik courseID: **grotenbreg51988**

Gebruik eigen studentnummer

Maak de opdrachten van

- Opdrachten week **3** (18 meerkeuze vragen)

## Referenties:

Biology – *A Global Approach*

12<sup>th</sup> edition

Campbell – Urry – Cain –

Wasserman – Minorsky – Orr

En de digitale leeromgeving

van Pearson

Andere bronnen zijn direct onder de afbeeldingen weergegeven

