

# FOTOSYNTHESE EN DISSIMILATIE ZICHTBAAR MAKEN IN DE KLAS

Beste docent,

Welkom bij de workshop 'Fotosynthese en dissimilatie zichtbaar maken in de klas'. We gaan vooral veel *doen* de komende vijf kwartier. We willen jullie kennis laten maken met een aantal activerende werkvormen rondom de assimilatie en dissimilatie van glucose, waarbij de nadruk ligt op het uitbeelden van deze processen. Jullie kunnen nu zelf vast aan de slag met activiteit 1: Dissimilatie met LEGO.

Veel plezier!

Caspar Geraedts en Ingeborg van der Neut



Radboud Universiteit



LUDGER  
COLLEGE

## **Colofon**

Op dit lesmateriaal is de Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 4.0 Nederland Licentie van toepassing (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.nl>). Het materiaal werd ontwikkeld door Caspar Geraedts (Vrije Universiteit, Amsterdam) en Ingeborg van der Neut (Radboud Universiteit, Nijmegen en Ludger College, Doetinchem).

# DISSIMILATIE MET LEGO

## **nodig**

LEGO-blokjes...

- 2x3 (koolstofatomen): 10 per tweetal [6 voor glucose en 4 voor oxaalazijnzuur]
- 2x2 (fosfaatgroepen): 4 per tweetal
- 2x8 (acetyl-CoA): 2 per tweetal

19 enzymposters (met bouw instructies en energieboekhouding)

energiekaartjes (ATP, NADH en FADH<sub>2</sub>)

## **voorbereiding (voor de docent)**

1. Verdeel de ruimte in twee delen, van elkaar gescheiden door een rij tafels of stoelen. Dit zijn de membranen van het mitochondrium. Het ene deel van de ruimte is dan het cytoplasma, het andere deel is de matrix van het mitochondrium.
2. Hang de posters op, en leg waar nodig kaartjes voor ATP, NADH en/of FADH<sub>2</sub>, en LEGO-blokjes voor de fosfaatgroepen en acetyl-CoA.
3. Leg de oxaalazijnzuurbouwstenen (vier LEGO-steentjes van 2x3 aan elkaar) in een bak in het mitochondrium.

## **uitvoering (voor de leerlingen)**

1. Je krijgt per tweetal een glucosemolecuul: zes LEGO-steentjes van 2x3 aan elkaar. Ook krijg je twee ATP 'te leen'.
2. Dit glucosemolecuul wordt stap voor stap afgebroken. Hierbij volg je de instructies op de enzymposters.
3. Behalve het afbreken (of herschikken) van het LEGO-molecuul leveren (of kosten) sommige stappen ook energie in de vorm van bijvoorbeeld ATP of NADH.
4. Om na de omzettingen in het cytoplasma in het mitochondrium te komen moet je langs een 'controlepost' (de docent). Hier moet de geleende ATP worden teruggegeven, en twee ATP betaald worden voor het meenemen van twee NADH.
5. Als de citroenzuurcyclus twee keer is doorlopen is het glucosemolecuul afgebroken. De verzamelde energiekartjes worden dan naar 'de bank' gebracht (vergelijk met de ademhalingsketen). Hier kunnen kaartjes NADH en FADH<sub>2</sub> ingewisseld worden voor ATP.

## **nabespreking**

Ga bij de nabespreking in op de leerdoelen hieronder. Daarnaast kan ingegaan worden op de relatieve grootte van de moleculen. Hoe groot is een fosfaatgroep ten opzichte van een koolstofatoom in het echt? En een molecuul NADH? En de enzymen? Ook kan, met behulp van bijvoorbeeld BINAS, bekeken worden welke koolstofatomen in de citroenzuurcyclus precies worden afgesplitst (dat zijn namelijk niet de koolstofatomen die het laatst aangekoppeld zijn door acetyl-CoA).

## **doelen**

Leerlingen kunnen in grote lijnen beschrijven hoe bij de glycolyse en de citroenzuurcyclus glucose stap voor stap wordt afgebroken.

Leerlingen kunnen aangeven welke rol ATP en NADH bij deze processen spelen.

Leerlingen kunnen aangeven waar in de cel deze processen zich afspelen.

Leerlingen ervaren dat voor elke omzetting een ander enzym nodig is.

Leerlingen kunnen uitleggen waarom de citroenzuurcyclus geen echte cirkel is.

# DE ELEKTRON ACHTBAAN

## uitvoering

We volgen de weg van één elektron, beginnend bij de fotosynthese in de bladgroenkorrel, via een glucosemolecuul, en eindigend bij de oxidatieve fosforylering in het mitochondrium. De kraal is het elektron, de koperdraad (de achtbaan) is de weg van bladgroenkorrel (links) tot mitochondrium (rechts).

1. Beweeg de kraal met je vinger langs de achtbaan. De hoogte van de kraal staat voor het *energieniveau* van het elektron. Aan het begin en aan het eind van de achtbaan bevindt het elektron zich dichtbij de kern, in de *grondtoestand*. Tijdens zijn reis wordt het elektron aangeslagen (*geëxciteerd*) en staat het ook weer energie af. Voel je waar dat gebeurt?
2. Het elektron is achtereenvolgens gekoppeld aan verschillende moleculen of molecuulcomplexen. Leg de kaartjes met de moleculen en de eiwitcomplexen van links naar rechts op de goede volgorde onder de achtbaan. Gebruik eventueel je BINAS.
3. Tijdens de reis van het elektron treden verschillende processen op. Leg de kaartjes met de processen van links naar rechts op de juiste plek onder de achtbaan. Gebruik eventueel je BINAS.

## doelen

Leerlingen ervaren de *samenhang* tussen de fotosynthese en de dissimilatie van glucose, zowel wat betreft de materie (de opbouw en afbraak van koolwaterstofverbindingen) als wat betreft de energie (de energierijke elektronen).

## nota bene

Deze opdracht is natuurlijk ook uit te voeren op papier. Waarom dan toch een kraal op een draad, waarom niet gewoon een grafiek op papier? Deze opdracht werd mede ontwikkeld in het kader van een promotieonderzoek van één van de workshopgevers. De hypothese in dat onderzoek is dat het visueel en vooral tastbaar maken van een (complex) biologisch proces leidt tot een andere helpt bij het leren. Vraag Caspar eventueel om meer informatie.

# DE LICHTREACTIE KNIKKERBAAN

## uitvoering

1. Bekijk de knikkerbaan. Laat de knikkerbaan werken door met de wipwapjes de metalen balletjes omhoog te slaan. Bekijk hoe de metalen knikkers door de baan heen bewegen. Bekijk ook hoe de houten knikkers door de baan heen bewegen.
2. De knikkerbaan is een model van de lichtreactie, die zich afspeelt rondom het thylakoïd membraan in een bladgroenkorrel. Waar in het model loopt het membraan zelf?
3. Benoem wat de volgende onderdelen van het model voorstellen (gebruik eventueel je BINAS):

een metalen knikker is een ...	
een houten knikker is een ...	
wipwap 1 is ...	
wipwap 2 is ...	
weegschaal is ...	
het molentje is ...	

4. Benoem wat de volgende processen/energieomzettingen voorstellen (gebruik eventueel je BINAS):

een metalen knikker wordt omhoog geslagen ...	
een metalen knikker tilt twee houten knikkers op en verplaatst deze...	
een houten knikker laat het molentje draaien...	

5. De knikkerbaan beeldt nu de niet-cyclische fotofosforylering uit. Hoe zou de knikkerbaan aangepast kunnen worden om de cyclische fotofosforylering uit te beelden?
6. De knikkerbaan werkt niet altijd. Soms lukt het niet om een knikker met de wipwap goed omhoog te brengen. Met welk verschijnsel in de lichtreactie kun je dat vergelijken?
7. Vergelijk het knikkerbaan-model met de afbeeldingen van de lichtreactie in BINAS. Noem minimaal drie dingen die NIET kloppen aan het model.

### **doelen**

Leerlingen zien, en ervaren, hoe eiwitcomplexen in het thylakoïd membraan zorgen voor de vorming van NADPH en ATP.

Leerlingen kunnen aangeven welke energieomzettingen hierbij plaatsvinden (met name excitatie van elektronen door absorptie van fotonen, chemische energie in de vorm van energierijke elektronen, en de opbouw van een protongradiënt).

### **nota bene**

De lichtreactie-knikkerbaan werd mede ontwikkeld in het kader van een promotieonderzoek van één van de workshopgevers. Het maken van een knikkerbaan als deze kost veel tijd (het uitdenken nog meer) en enige handigheid en gereedschap. We snappen heel goed dat de meeste docenten geen tijd en/of gelegenheid hebben om zo'n knikkerbaan te maken. We wilden 'm toch graag maken en laten zien om (a) te onderzoeken of je inderdaad een werkend model van de lichtreactie *kán* maken, en (b) wat dat dan mogelijk oplevert voor de les. Bovendien zou het maken van een 'moleculaire machine' zoals deze ook best geschikt kunnen zijn als opdracht voor (bovenbouw)leerlingen. Docenten, TOA's en andere geïnteresseerden die meer willen weten over de constructie van de knikkerbaan mogen natuurlijk contact opnemen ([c.l.geraedts@vu.nl](mailto:c.l.geraedts@vu.nl)).

# DOBBELEN MET FOTONEN

## **nodig**

een spelbord en kaartjes

drie pionnen per speler (één elk voor glucose, NADP<sup>+</sup>/NADPH en ADP/ATP)

vier dobbelstenen in twee verschillende kleuren

## **spelregels**

1. Je bent een plant. Het doel van het spel is om zo snel mogelijk glucose te vormen. De eerste speler die vijf glucosemoleculen heeft is de winnaar.
2. Aan het begin van het spel heeft elke speler nul glucose, nul NADPH en tien ATP (aangegeven door de pionnen op het spelbord).
3. Je kunt ATP en NADPH vormen door fotosysteem II en I te bestoken met fotonen. Het aantal ogen op de *gekleurde dobbelstenen* bepaalt het aantal fotonen dat op fotosysteem II valt; het aantal ogen op de *witte dobbelstenen* bepaalt het aantal fotonen dat op fotosysteem I valt.
4. Een speler die aan de beurt is trekt eerst een kaartje. Deze kaart moet soms meteen gespeeld worden, maar mag soms ook bewaard worden voor een volgende beurt.
5. Daarna moet de speler twee ATP inleveren voor zijn basismetabolisme.
6. Vervolgens gooit de speler met de vier dobbelstenen. Er wordt nu als volgt geteld:
  - *Niet-cyclische fosforylering*: er wordt één NADPH en één ATP gevormd als op elk van *beide* fotosystemen twee fotonen zijn gevallen. Vier fotonen op beide fotosystemen levert twee NADPH en twee ATP, zes fotonen levert drie NADPH en drie ATP, et cetera. Oneven aantallen worden naar beneden afgerond.
  - *Cyclische fosforylering*: meestal zal het aantal fotonen op systeem II en I niet gelijk zijn. Elke twee fotonen die fotosysteem I *meer* heeft dan fotosysteem II leveren één ATP op. Extra fotonen op fotosysteem II leveren niks op.
7. Tenslotte mag een speler glucose 'bouwen'. Een molecuul glucose kost 18 ATP en 12 NADPH. Zodra een speler voldoende ATP en NADPH heeft (vastgelegd in de lichtreactie) kan hij dit gebruiken om (via de donkerreactie) glucose te vormen.
8. Als een speler géén ATP meer heeft om zijn basismetabolisme (of iets anders) te betalen dan is hij af.



**doelen**

Leerlingen kunnen uitleggen dat de niet-cyclische fotofosforylering NADPH en ATP levert voor de donkerreactie en dat de cyclische fotofosforylering alleen ATP levert.

Leerlingen kunnen voorbeelden geven van omstandigheden en gebeurtenissen die de fotosyntheseactiviteit of de energiehuishouding van de plant beïnvloeden.

Leerlingen kunnen uitleggen dat in een plant ook altijd dissimilatie plaatsvindt.

## bijlage: doelen en misconcepten

De fotosynthese en de dissimilatie zijn bijzonder complexe biologische processen, waar veel verschillende moleculen, structuren en energieomzettingen bij betrokken zijn. Veel leerlingen vinden het lastig om grip op deze onderwerpen te krijgen. Volgens ons zou het doel van onderwijs over fotosynthese en dissimilatie NIET moeten zijn dat zij alle stappen en omzettingen kennen, snappen en onthouden (die staan immers in BINAS). Het doel zou moeten zijn dat leerlingen in hoofdlijnen weten wat er gebeurt, en de samenhang tussen de verschillende deelprocessen zien en de verbinding kunnen leggen met verschijnselen op hogere organisatieniveaus.

In onze ervaring zijn veel voorkomende misconcepten de volgende:

- Leerlingen denken dat fotosynthese en dissimilatie (van glucose) precies dezelfde processen zijn die enkel in tegengestelde richting verlopen.
- Leerlingen zien niet in dat energieproductie per definitie gekoppeld is aan energieverlies elders (vergelijk de wet van behoud van energie).
- Leerlingen letten bij fotosynthese en dissimilatie met name op de weg van de *materie* (de omzetting van de ene stof in de andere), en niet op de weg van de *energie*.
- Leerlingen hebben weinig zicht op de relatieve grootte van de bij de fotosynthese en dissimilatie betrokken moleculen (bijvoorbeeld het verschil in grootte tussen glucose, ATP, NADH en enzymen).
- Leerlingen denken dat de calvincyclus en de citroenzuurcyclus daadwerkelijk als cirkels in de cel aan te wijzen zijn.
- Leerlingen denken dat de donkerreactie alleen in het donker plaatsvindt.

## bijlage: uitbeeldpractica

De werkvormen in deze workshop gaan niet alleen over hetzelfde onderwerp; ze zijn ook grotendeels gebaseerd op dezelfde didactische principes. Afgelopen jaren gaven wij workshops over het zichtbaar maken van voeding en vertering (2015) en hormonale en neurale regulatie (2016). Binnen dezelfde 'traditie' vallen wat ons betreft de stempelset DNA (Caspar Geraedts en John Huizinga, NIBI 2014, 2015) en allerlei werkvormen die in de loop der jaren door Gee van Duin werden ontwikkeld en gepresenteerd. En er zijn (veel) meer voorbeelden. Kenmerkend voor genoemde werkvormen is dat steeds tastbare objecten (LEGO, knutselmateriaal, het eigen lijf, ...) gebruikt worden om biologische structuren voor te stellen, die door leerlingen worden gehanteerd, bewogen en/of gemanipuleerd. Zo wordt een (meestal complex) biologisch proces uitgebeeld. Leerlingen zijn geen toeschouwer, maar echt onderdeel van het model (ze vervullen bijvoorbeeld de rol van een bepaald enzym). We zouden deze werkvormen *uitbeeldpractica* kunnen noemen. Op de Vrije Universiteit Amsterdam is Caspar onlangs een promotieonderzoek gestart naar de specifieke kenmerken en de effectiviteit van zulke uitbeeldpractica. Als je het leuk vindt om hier meer over te weten of mee te denken, neem vooral contact op ([c.l.geraedts@vu.nl](mailto:c.l.geraedts@vu.nl)).