

## 11. DONKERREACTIE MET LEGO®

### *thylakoïdtheater in de chloroklas (2)*

Bij de door leerlingen minst begrepen onderwerpen horen de licht- en donkerreactie van de fotosynthese en de lokalisatie daarvan in de chloroplast. Door plaats en proces uit te beelden met een klaslokaal als chloroplast met daarin een thylakoïdtheater van bewegende leerlingen met Duplo®-dingen als moleculen en fietslampjes als elektronen, wordt leerlingen duidelijk wat er nu echt gebeurt en ook waarom. Dit uitbeeldpracticum is ontwikkeld door Ruthy Fraterman (Vossius Gymnasium, Hogeschool van Amsterdam), Caspar Geraedts (VU Lerarenacademie, Amsterdam) en Gee van Duin (Cartesius Lyceum, Amsterdam).

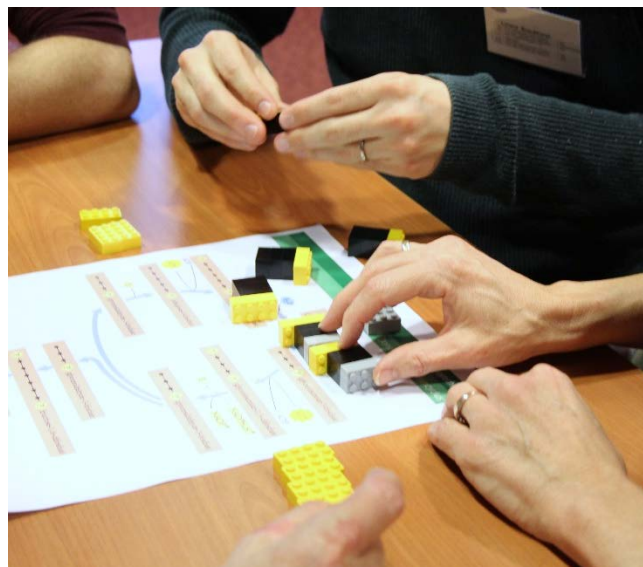
---

**duur** 20 minuten

**doelgroep** bovenbouw havo/vwo

**doelen** Leerlingen kunnen:

- (in grote lijnen) uitleggen hoe bij de donkerreactie glucose gevormd wordt;
- toelichten hoe de licht- en donkerreactie samenhangen.



### nodig

Per groepje van (ongeveer) vier leerlingen:

- 6 grijze (of lichtgroene) Lego<sup>®</sup>-steentjes (2x3) [C]
- 15 zwarte (of donkergroene) Lego<sup>®</sup>-steentjes (2x3) [C]
- 13 gele Lego<sup>®</sup>-steentjes (2x4) [P<sub>i</sub>]
- 1 kopie van de bewerkte Calvin-cyclus op A3-formaat (zie bijlagen)

### voorbereiding

Dit uitbeeldpracticum bestaat eigenlijk uit twee delen die na elkaar (in een blokuur of in verschillende lessen) uitgevoerd worden: de lichtreactie (zie het vorige practicum) en de donkerreactie. De lichtreactie wordt klassikaal gedaan; de donkerreactie wordt daarna in groepjes gedaan.

1. Zet tafels zó dat elk groepje leerlingen een eigen tafel heeft.
2. Leg op elke tafel een set Lego<sup>®</sup>-stenen (zie hieronder) en een groot vel met een bewerkt schema van de Calvin-cyclus (zonder details: alleen de pijlen, CO<sub>2</sub> en andere koolstofverbindingen, ATP en NADPH). In de bijlage zijn zulke bewerkte versies uit Binas en ScienceData te vinden.
3. Projecteer met de beamer dat bewerkte schema van de donkerreactie; zorg dat het originele schema ook beschikbaar is voor projectie (voor de nabespreking).

### uitvoering

Dit onderdeel kan ook klassikaal met Duplo<sup>®</sup> uitgevoerd worden. Het voordeel daarvan is dezelfde schaal als de lichtreactie, en dan worden de Duplo<sup>®</sup>-wagentjes (ATP en NADPH) ook echt gebruikt. Maar de Calvin-cyclus is lastiger in theatervorm voor de hele groep in beeld te brengen. We geven er de voorkeur aan (ook voor de afwisseling in de les en de activering van de leerlingen) om in kleinere groepen en met Lego<sup>®</sup>-stenen te werken.

1. Leerlingen krijgen per groepje een kopie van de (bewerkte) Calvin-cyclus en deze Lego<sup>®</sup>-steentjes:
  - 3 x ribulose-1,5-difosfaat (bestaand uit 5 zwarte blokjes met aan elk uiteinde een geel blokje)
  - 6 x losse C uit CO<sub>2</sub> (grijs)
  - 13 x P<sub>i</sub> (geel 2x4 blokje, overeenkomstig met de lichtreactie)
2. De docent legt uit wat de steentjes voorstellen (zie hierboven) en doet eventueel voor hoe de eerste omzetting verloopt - waar CO<sub>2</sub> vastgelegd wordt.
3. Leerlingen moeten door losmaken, vastklikken, schuiven én discussiëren de cyclus doorlopen en zo antwoord vinden op de volgende drie vragen:
  - a. Waarom kun je niet één glucosemolecuul maken door de Calvin-cyclus één keer te doorlopen – en hoe kan het dan wel?
  - b. Glucose is een energierijk molecuul; hoe en waar in de donkerreactie wordt die energie toegevoerd, en waar in het glucosemolecuul blijft die?
  - c. Hoeveel fietslampjes heb je ‘nodig’ voor één glucosemolecuul?
4. Bespreek de opdracht na. Hiervoor is de afbeelding uit 10voorBiologie (zie bijlage) nuttig, omdat daarin dezelfde aantallen C staan als de leerlingen in deze opdracht hebben gekregen.

### (na)denkwerk

- Tijdens het uitbeelden van de donkerreactie en het beantwoorden van de vragen kan je goed controleren of leerlingen het belang van de lichtreacties begrepen hebben. Benadruk de rol van ATP en NADPH en pak zo nodig de Duplo<sup>®</sup>-wagentjes er nog even bij.
- Benadruk dat er (net als bij de citroenzuurcyclus) niet werkelijk sprake is van een fysieke cyclus of cirkel. Alle betrokken stoffen bevinden zich door elkaar in het stroma. Als de citroenzuurcyclus al behandeld is, loont het de moeite de verschillen met de Calvin-cyclus te benoemen wat betreft de input en output van C, wat ook het antwoord op vraag a verklaart.
- Benadruk ook dat alle reacties door enzymen worden gekatalyseerd.

#### [aanpassen/uitbreiden](#)

- Er is een (qua tijd en aantal steentjes) snellere versie mogelijk. Daarbij wordt de cyclus maar één keer doorlopen, waarna door denken en discussiëren duidelijk moet worden wat het antwoord is op de vragen hierboven. Bij deze versie volstaan 6 zwarte steentjes voor C en 4 gele voor P. De stap van glyceraldehyde-3-fosfaat naar ribulose-5-fosfaat blijft dan een (uitdagend) mysterie.
- De Duplo<sup>®</sup>-wagentjes (ATP en NADPH) kunnen ook goed van pas komen als je dissimilatie behandelt of herhaalt. Verander dan NADPH in NADH door het gele blokje eraf te halen. Leerlingen leren zo meteen dat verschil tussen deze twee moleculen.

#### [bijlage](#)

- bewerkte schema's uit Binas, ScienceData en 10voorbiologie