**LESACTIVITEITEN BIJ DE AEROBE DISSIMILATIE VAN GLUCOSE MET LEGO®**

Afbeelding met persoon, nagel, groen, overdekt

Automatisch gegenereerde beschrijving

In dit document vindt u een reeks opdrachten die gebruikt kunnen worden om de processen van glycolyse, decarboxylering en de citroenzuurcyclus op een interactieve manier te behandelen. Door gebruik te maken van LEGO®, kunnen leerlingen deze complexe biochemische processen visueel en praktisch ervaren. Deze opdrachten zijn ontworpen om de dissimilatie van glucose inzichtelijk te maken en de betrokken stappen op een speelse en leerzame manier te verkennen. Om dit ook voor leerlingen duidelijk te maken zijn er bij iedere activiteit leerdoelen vermeld. Tips en handvatten voor uzelf zijn opgenomen in de toelichting voor docenten, bijlage 2.

Wouter Hulshof

Lyceum Elst

Versie: november 2024

**INHOUD**

Activiteit 1: De bouw van moleculen

Activiteit 2: Glycolyse

Activiteit 3: Decarboxylering

Activiteit 4: Citroenzuurcyclus

Activiteit 5: oxidatieve fosforylering

Activiteit 6: Enzymen

Activiteit 7: Verwerking

Bijlage 1: Legenda LEGO-sets

Bijlage 2: Toelichting voor docenten (niet af)

**ACTIVITEIT 1. DE BOUW VAN MOLECULEN**

**Doelen**

Je kunt:

* LEGO gebruiken om moleculen na te bouwen.
* Benoemen uit welke atomen koolstofdioxide, water, glucose, ATP en ADP bestaan.
* Beschrijven dat glucose veel groter is dan bijvoorbeeld koolstofdioxide of water.
* De rol van deze moleculen in de reactievergelijking van de aerobe dissimilatie van glucose beschrijven.

**Opdracht**

1. Controleer of de inhoud van je LEGO-set overeenkomt met de legenda in bijlage 1.
2. Schrijf hieronder het reactieschema (volledige namen) en de reactievergelijking (formules) van de verbranding van glucose.
3. Bouw met de legostenen de volgende moleculen (kijk goed in de legenda!):
   1. *Water*
   2. *Koolstofdioxide*
   3. *Glucose*
   4. *ADP*
   5. *ATP*
4. Laat je moleculen controleren door je docent. Wanneer ze goed zijn kun je starten met activiteit twee.

*Reactieschema:*

*Reactievergelijking:*

**ACTIVITEIT 2. GLYCOLYSE**

**Doelen**

Je kunt:

* Benoemen welke moleculen voor de glycolyse nodig zijn en welke moleculen ontstaan.
* Uitleggen hoeveel ATP de glycolyse kost en oplevert.
* BiNaS tabel 68B (zowel 6e als 7e editie) lezen en toepassen.

**Opdracht**

1. Bouw met behulp van LEGO één watermolecuul, twee ATP-moleculen, twee ADP moleculen, één NAD-molecuul en één fosfaat-molecuul.
2. Leg de moleculen op de oranje vlakken van de Glycolyse, deze moleculen zijn al aanwezig in het cytoplasma van de cel.
3. Bouw met behulp van LEGO één glucosemolecuul op een zwarte autobasis en maak één lege zwarte autobasis.
4. Rij de route vanaf linksboven (glucose) en voer alle stappen van de glycolyse uit met behulp van de LEGO-moleculen. Wanneer je dit goed doet eindig je met één molecuul pyrodruivenzuur. Maak gebruik van BiNaS tabel 68B.
5. Ga pas door naar activiteit 3 nadat je daadwerkelijk bent geëindigd met pyrodruivenzuur.
6. Welke energierijke moleculen heeft de glycolyse opgeleverd?  
     
     
   Heeft de glycolyse ook energie (ATP) gekost?   
     
     
   Blijft er netto nog winst (ATP) over? Indien ja, hoeveel ATP dan?  
     
     
   Was er voor dit deel van de dissimilatie zuurstof nodig?

**ACTIVITEIT 3. DECARBOXYLERING**

**Doelen**

Je kunt:

* De functie van Co-enzym A uitleggen.
* Het verschil benoemen tussen Co-enzym A en acetyl-co-enzym A.

**Opdracht**

1. Leg, net als bij activiteit 2, de moleculen klaar die nodig zijn, maar dit maal leg je ze klaar voor de decarboxylering.
2. Begin de decarboxylering met je pyrodruivenzuur-molecuul uit activiteit 2.
3. Kun je elkaar uitleggen waarvoor de paarse pijl is?
4. Aan het einde van de decarboxylering kun je doorgaan met activiteit 4.

**ACTIVITEIT 4. CITROENZUURCYCLUS**

**Doelen**

Je kunt:

* De citroenzuurcyclus lezen en uitleggen wat er gebeurt.
* Uitleggen wat de opbrengst is van de citroenzuurcyclus.
* BiNaS tabel 68C lezen en toepassen.

**Opdracht**

1. Leg alle benodigde moleculen klaar op de juiste vlakken langs de weg .
2. Bouw 1 molecuul oxaalazijnzuur op een witte autobasis (zie legenda) en plaats deze op de weg.
3. Start met het eindproduct van de decarboxylering, rij het rondje en voer alle omzettingen uit.
4. Controleer of je weer geëindigd ben met oxaalazijnzuur, dit proces is immers cyclisch. Wanneer dit niet uitkomt, bestudeer de cyclus en kijk wat je moet verbeteren. Gebruik hiervoor BiNaS tabel 68C.

**ACTIVITEIT 5. OXIDATIEVE FOSFORYLERING**

**Doelen**

Je kunt:

* Uitleggen waar de molecule NADH en FADH2 voor worden gebruikt.
* Uitleggen dat pas in deze laatste stap het meeste ATP wordt gevormd.
* Uitleggen waar in de verbranding zuurstof wordt verbruikt.

**Opdracht**

1. De laatste stap van de aerobe dissimilatie is de oxidatieve fosforylering. Hiervoor zijn de gevormde energierijke NADH en FADH2-moleculen nodig. Maak een overzicht door onderstaande tabel in te vullen met de opbrengst van het aantal moleculen ATP, NADH of FADH2 per glucosemolecuul.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ATP | NADH | FADH2 |
| Glycolyse |  |  |  |
| Decarboxylering |  |  |  |
| Citroenzuurcyclus |  |  |  |

1. In BiNaS tabel 68D is de oxidatieve fosforylering schematisch weergegeven. De eiwitcomplexen in het binnenmembraan van de mitochondriën dient als elektronen-acceptoren. Als de elektronen door worden gegeven tussen deze elektronen-acceptoren in het membraan, komt er energie vrij. Deze energie wordt gebruikt om protonen (H+) te pompen van de matrix naar de tussenmembraanruimte. Hierdoor ontstaat er een hoge concentratie van protonen aan de matrixkant.   
   ATP-synthase gebruikt dezeprotonengradiënt (veel H+ aan de ene kant van het membraan en weinig H+ aan de andere kant) om ADP om te zetten naar ATP. NADH geeft zijn elektron af aan eiwitcomplex I en FADH2 geeft zijn elektron af aan eiwitcomplex II. Hiermee kun je afleiden hoeveel ATP een enzym ATP-synthase kan maken vanuit 1 molecuul NADH of 1 molecuul FADH2.

1 molecuul NADH leidt tot …. moleculen ATP.

1 molecuul FADH2 leidt tot …. moleculen ATP.

1. Bereken nu hoeveel moleculen ATP er worden geproduceerd uit 1 molecuul glucose.

**ACTIVITEIT 6. ENZYMEN (extra opdracht)**

**Doelen**

Je kunt:

* Aangeven waar in de glycolyse enzymen nodig zijn.

**Opdracht**

1. De LEGO minifiguren symboliseren een enzym. Plaats op de poster van de glycolyse een minifiguur op iedere plek waar een enzym nodig is in het proces.

**ACTIVITEIT 7. VERWERKING**

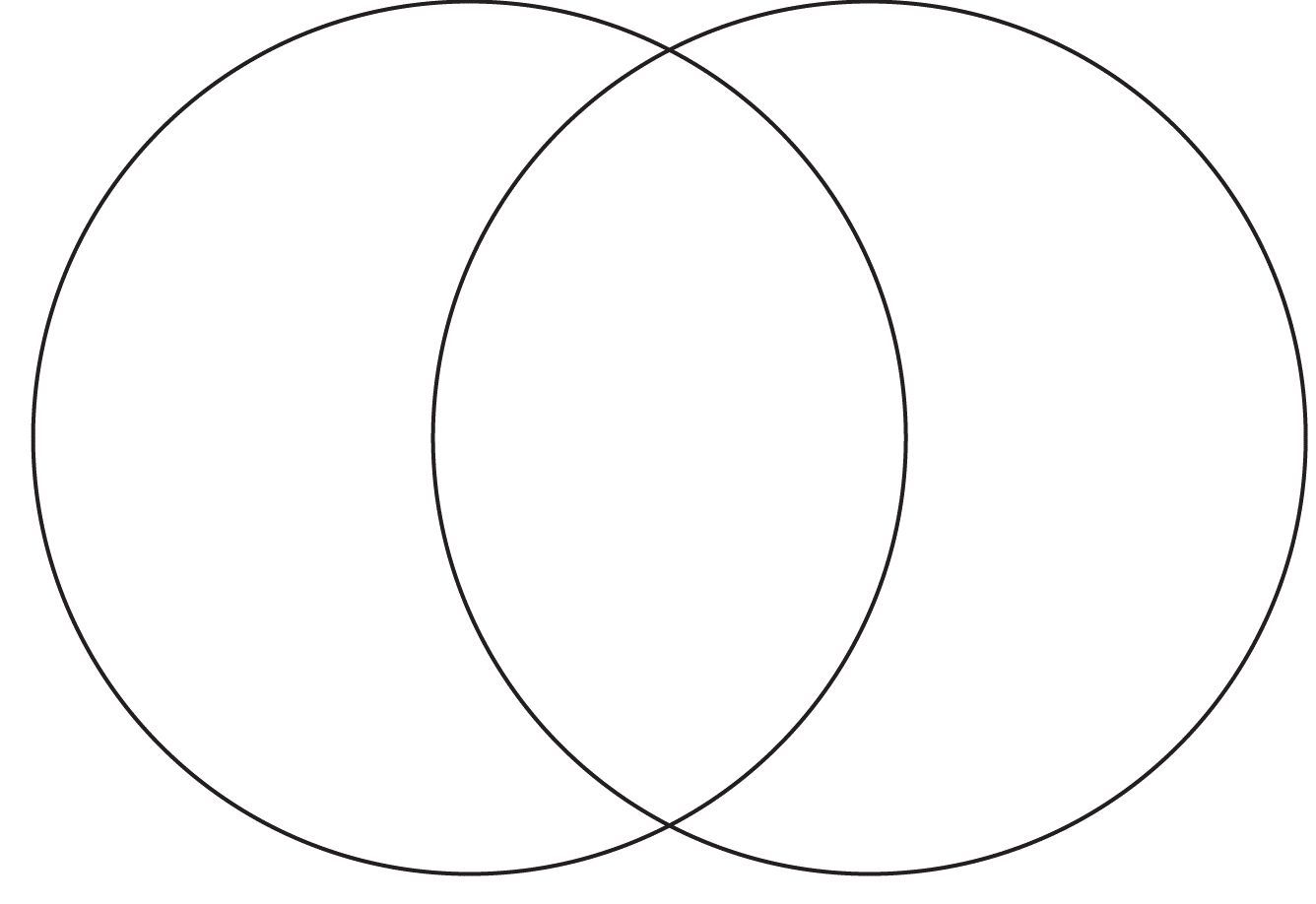
**Doelen**

Je kunt:

* Verschillen en overeenkomsten aangeven tussen een model en de werkelijkheid.

**Opdracht**

1. In het Venn-diagram hieronder ga je verschillen en overeenkomsten met de werkelijke situatie aangeven. In de linker cirkel geef je aan wat er specifiek aan het nabootsen met LEGO (model) is en in de rechter cirkel wat er specifiek aan de werkelijke dissimilatie van glucose is. In het midden, waar de cirkels overlappen, geef je dingen aan die overeenkomen.   
   Dit kunnen overeenkomsten of verschillen zijn die bijvoorbeeld gaan over de moleculen, de tijdsduur, de omzettingen, enzymen, de processen of nog iets heel anders.   
   **Bedenk zoveel mogelijk dingen!**



MODEL WERKELIJKHEID

**Bijlage 1. LEGENDA**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Onderdelen** | **Vorm** | **Aantal** |
| Auto-basis | Plaat 4 x 10 zwart | 2 |
| Auto-basis | Wielen (2x2 met 2 wielen) zwart | 6 |
| Auto-basis | Blokje 2x2 zwart | 6 |
| Auto-basis (oxaalazijnzuur) | Plaat 4 x 10 wit | 1 |
| Adenine (voor ADP/ATP) | Blokje 2 x 3 blauw | 6 |
| P | Blokje 1 x 2 oranje | 22 |
| NAD | Blokje 2 x 2 groen | 5 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| H | Blokje 1 x 2 wit | 45 |
| C | Blokje 1 x 2 zwart | 17 |
| O | Blokje 1 x 2 rood | 25 |
| FAD | Blokje 2 x 2 donkerblauw | 1 |
| Guanosine (voor GDP/GTP) | Blokje 2 x 3 geel | 1 |
| Co-enzym A | Blokje 2 x 4 paars | 2 |

**Bijlage 2. Toelichting voor docenten   
(niet af)**

**Algemeen**

* De setjes die ik gemaakt heb bevatten meer legostenen dan dat de leerlingen nodig hebben. Hierdoor worden ze gedwongen zelf te blijven nadenken ipv alle legostenen uit te puzzelen tot dat ze op zijn. De keuze is aan jou om dit wel/niet te delen met je leerlingen.
* Ik laat leerlingen een video inleveren waarbij ze de drie stappen filmen en uitleggen. Hiermee verdienen ze extra punten voor op de overgangstoets. Bij het bekijken van de video’s wordt het alsnog duidelijk wanneer leerlingen een onderdeel niet goed begrepen hebben.
  + Activiteit 6 Enzymen is nieuw. Je kunt overwegen om deze ook te laten opnemen in de video.
* LEGO is zeer goed tweedehands aan te schaffen, hier zijn verschillende winkels voor. De mini-figuren zijn beduidend duurder dan losse stenen, de opdracht is ook zeer goed uit te voeren zonder activiteit 6.

**Activiteit 1. De bouw van moleculen**

* Deze activiteit is slechts een opstapje. Zorg dat ze de verbranding van glucose zoals dit is behandeld in de onderbouw kennen en dat ze dit vanuit woorden (reactieschema) kunnen omzetten naar moleculen (reactievergelijking).
* Voorbeelden van kloppende moleculen. Andere figuraties zijn uiteraard mogelijk zolang het aantal atomen maar klopt
  + Water (H20)

Afbeelding met speelgoed

Automatisch gegenereerde beschrijving

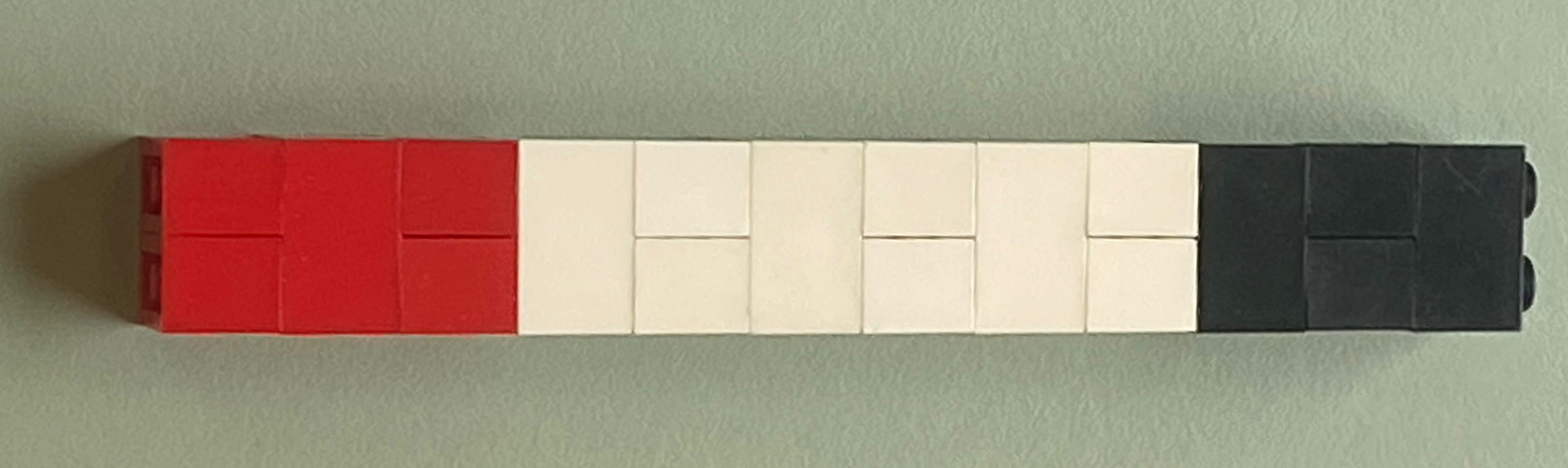
* + Koolstofdioxide (CO2)

Afbeelding met tekst

Automatisch gegenereerde beschrijving

* + Glucose (C6H12O6)

Afbeelding met Rechthoek, Papierprodcut, stilstaand

Automatisch gegenereerde beschrijving

* + ADP (adenosine-difosfaat)

Afbeelding met plastic, stilstaand

Automatisch gegenereerde beschrijving

* + ATP (adenosine-trifosfaat)

Afbeelding met speelgoed, plastic

Automatisch gegenereerde beschrijving

* Reactieschema: glucose en zuurstof 🡪 water en koolstofdioxide
* Reactievergelijking: C6H12O6 + 6O2 🡪 6H2O + 6CO2

**Activiteit 2. Glycolyse**

* Stel tijdens het werken prikkelende vragen over de inhoud.  
  “kun je aanwijzen in de binas waar je nu bent op de poster?”  
  allerlei vragen die beginnen met *Waarvoor*, *Waarom*, *Waar…* etc

**Activiteit 3. Decarboxylering**

* Leerlingen weten niet dat het vervoeren van pyrodruivenzuur naar het mitochondrium actief transport is en dus ATP kost. Dit staat niet in de boeken of in de BiNaS, dit is ook geen onderdeel voor het CSE. Mocht je hier een vraag over krijgen is het voor jezelf wel goed om dit te beseffen.
* Co-A is nodig om de citroenzuurcyclus binnen te komen. Dit is een tekortkoming in de poster. Tijdens activiteit 7 moet dit echt even aan de orde komen. Hopelijk hebben leerlingen het zelf ontdekt, anders is het noodzakelijk dat je dit zelf toevoegt.

**Activiteit 4. Citroenzuurcyclus**

* In de praktijk bleek dat leerlingen vanaf dit punt hun BiNaS eigenlijk niet meer lezen en blind op de groene en oranje vakjes van de poster vertrouwen. Daarom is NADH,H hier weergegeven als NADH. Leerlingen die het niet goed begrijpen vergeten hier een H weg te leggen waardoor ze aan het einde niet uitkomen. Probeer geen antwoorden te geven maar ze te sturen met prikkelende vragen.
* Een aantal leerlingen vergeten ook om oxaalazijnzuur samen te voegen met het bestaande molecuul. Dan komen ze uiteraard sowieso niet uit.
* Hier zou je kunnen vragen naar het gebruik van zuurstof zodat leerlingen zich gaan beseffen waar in het proces dit pas nodig is.

**Activiteit 5. Oxidatieve fosforylering**

* Antwoordmodel tabel:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ATP | NADH | FADH2 |
| Glycolyse | 2 *(-2 +4)* | 2 *(2x1)* | 0 |
| Decarboxylering | 0 | 2 *(2x1)* | 0 |
| Citroenzuurcyclus | 2 *(2x1)* | 6 *(2x3)* | 2 *(2x1)* |

**Activiteit 6. Enzymen**

* Deze heb ik nieuw bedacht en nog niet met leerlingen kunnen testen. Ik heb deze opdracht bedacht als aanvullende activiteit voor leerlingen die wat sneller klaar zijn dan de rest.

**Activiteit 7. Verwerken**

* Een erg krachtig middel die leerlingen laat nadenken over verschillen en overeenkomsten tussen het model (LEGO) en de werkelijkheid.
* Mogelijke antwoorden van leerlingen
  + **Model**Legobindingen zijn anders dan de werkelijkheid  
    Minder details  
    C3 geparkeerd  
    NADH moest NADH,H zijn  
    LEGO/papier/kleur/wieltjes/etc
  + **Overeenkomsten:**Zelfde stoffen (eind- en tussenproducten)  
    Volgorde glycolyse-decarboxylering-citroenzuurcyclus  
    Ombouwen molecuul  
    Moleculen die al aanwezig zijn of worden gevormd
  + **Werkelijkheid:**Co-A heeft een H en een S en verandert daarmee de structuurformule  
    **Co-A is noodzakelijk om de citroenzuurcyclus binnen te komen, dit zie je niet terug in de poster**Er vinden meerdere processen tegelijk plaats  
    Tijdsduur van de verschillende processen  
    De Oxidatieve fosforylering (ontbreekt bij LEGO)  
    In het echt zijn er enzymen nodig  
    Molecuul-niveau