

Opdracht 7.2 Energie een heel lastig onderwerp

Inleiding voor de docent: Onverwachte gaten in het curriculum en in BINAS

In deze opdracht gaat de aandacht naar **de samenhang tussen de processen die een rol spelen in de C-kringloop en in energiestromen, dus naar de samenhang tussen moleculaire processen, organismale processen en de processen op ecosysteemniveau.**

Eigenlijk is deze opdracht een reparatie- of verdiepingsopdracht voor leerlingen die zich bij het begrip energie weliswaar van alles voorstellen, maar uiteindelijk toch slechts een vaag beeld hebben van het wetenschappelijke begrip. In opdracht 7.2 wordt aan de hand van vragen en waarnemingen bij het verschijnsel verbranding (als visualisatie van de dissimilatie) geoefend met het nadenken over de weg van stoffen en de daarmee samenhangende energiestroom in een ecosysteem.

Wat blijkt moeilijk te zijn?

Opdracht 7.2 is evenals opdracht 5.3 (waar meer nadruk ligt op de koolstofkringloop) geïnspireerd door ontwikkeling van lesmateriaal en daaraan gekoppeld onderzoek dat de laatste 15 jaar aan de University of Michigan in de USA is uitgevoerd.

(Zie voor dit onderzoek en de vragen die daarbij gebruikt zijn: Thinking like a biologist, using diagnostic questions to help students reason with biological principles: <http://biodqc.org/>)

Uit het DQC onderzoek werd duidelijk dat eerstejaarsstudenten veel problemen hebben bij het begrijpen van energiestromen en kringlopen en de koppeling daarvan aan stofwisselingsprocessen die op cellulair en organismaal niveau plaats vinden:

- Studenten en ook leerlingen in de bovenbouw maken bij het denken over kringlopen en energiestromen in ecosystemen meestal gebruik van informeel denken. Bijvoorbeeld de wetten dat materie en energie nooit verloren gaan, worden niet gebruikt, tenzij studenten expliciet leren bij hun redeneringen over kringlopen en energiestromen de wetten van de thermodynamica te gebruiken.
- Tot in de eerste jaren van het hoger onderwijs denken sommige studenten dat materie in energie omgezet kan worden.
- Leerlingen kunnen vaak niet uitleggen waarom er ondanks de wet van behoud van energie toch voortdurend zonlicht nodig is om het leven op aarde in stand te houden.
- Studenten en leerlingen hebben niet duidelijk voor ogen wat huidige energie- en klimaatproblemen te maken hebben met kringlopen en energiestromen.

Waar in het curriculum leren leerlingen over opbouw en afbraak van koolstofverbindingen en het omzetten en doorgeven van energie?

Belangrijke onderdelen van de lesstof waar het omzetten en doorgeven van energie in en tussen organismen en de daaraan gekoppelde opbouw en/of afbraak van koolstofverbindingen, centraal staan zijn:

- 1 Fotosynthese (komt bij planten aan de orde);
- 2 Voeding en vertering (komt bij de mens aan de orde);
- 3 Dissimilatie (bij de celstofwisseling);
- 4 Voortgezette assimilatie en biosynthese (bij DNA en erfelijkheid, bij planten, bij de mens, soms zonder het begrip biosynthese of voortgezette assimilatie te noemen).

In het curriculum wordt op de plaatsen waar 1 t/m 4 aan de orde zijn, vooral aandacht gegeven aan de functie en werking van de processen op organisme- of cellulair niveau. Het verband tussen de vier processen binnen een organisme en het belang op ecosysteemniveau krijgt dan geen expliciete aandacht.

Hoe kijk je naar stofwisselingsprocessen op ecosysteemniveau (ecologisch kijken) ?

Op ecosysteemniveau wordt, anders dan op organisme-niveau, gekeken naar:

- de specifieke behoeften voor en producten van de stofwisseling van populaties van producenten, consumenten (herbivoren, carnivoren en omnivoren) en reducers;
- de hoeveelheden organische stoffen en energie die omgezet worden binnen een trofisch niveau of doorgegeven worden tussen trofische niveaus in ecosystemen;
- de betekenis van bovenstaande organismale en cellulaire stofwisselingsprocessen voor de energiestroom en de stofkringlopen in een ecosysteem of in de biosfeer.
- de koppeling van begrippen uit de stofwisseling met nieuwe begrippen op ecosysteemniveau: trofische niveaus (producenten, consumenten 1^{ste}, 2^{de}, 3^{de} orde), piramide van biomassa, piramide van energie, biomassa als maat voor energie en productiviteit, de betekenis van reducers. Bij het VWO ook aan assimilatie efficiëntie A/I_n , bruto primaire productie (BPP), netto primaire productie (NPP) en productiviteitsefficiëntie P_n/A . Deze begrippen spelen een belangrijke rol bij het begrijpen van vraagstukken in de ecologie (hoe lang kunnen voedselketens zijn? hoe groot is het gebied dat een populatie dieren nodig heeft?) en ook in contexten zoals, (efficiëntie van) voedselproductie en klimaat- en energieproblemen.

Wat voegt het ecologisch kijken naar stofwisselingsprocessen toe?

Ad 1 fotosynthese

Planten (en autotrofe bacteriën) maken organische stoffen voor alle levende organismen.

*Leerlingen leren op organisme-niveau dat groene planten autotroof zijn d.w.z. hun eigen voedsel maken. Maar planten zijn niet alleen de producenten van hun eigen voedsel. Alle dieren, schimmels en bacteriën beschikken via voedselwebben over de door de plant gemaakte organische stoffen en de energie die in die stoffen vastligt. Groene planten (foto-autotrofe organismen) zijn de basis van bijna al het leven. Zij zijn de organismen die in staat zijn om uit anorganische stof m.b.v. energie van buiten onze planeet (zonlicht) de organische stoffen te produceren waarin 99,9 % van de voor alle organismen bruikbare energie op aarde vastligt. De resterende 0,1 % van de energie voor organismen komt van chemo-autotrofe bacteriën. Zij zijn de producenten in ecosystemen zonder licht bijvoorbeeld in grotten en bij de 'black smokers' in de diepzee. Sommige chemo-autotrofe bacteriën leven overal in de bodem, bijvoorbeeld nitriet- en nitraatbacteriën.

*In een ecosysteem bepaalt de hoeveelheid energierijke organische stoffen die planten per jaar maken de hoeveelheid dieren die in dat ecosysteem kunnen leven. Deze **primaire productie (PP)** wordt uitgedrukt in energie (Joule per m² per jaar) of in biomassa (Gram per m² per jaar).

*Uit ecologisch onderzoek blijkt dat in alle ecosystemen de productie op een volgend trofisch niveau gemiddeld maar 10 % is van de productie op het niveau daaronder. Van een weiland waar 10.000 kg gras groeit (gevormd door fotosynthese) kan maar 1000 kg herbivoren (bijvoorbeeld muizen, geiten, rupsen) gevormd worden (door groei en/of voortplanting), wanneer de herbivoren al het gras opeten. Lang niet al het gras wordt dus

omgezet in dier. Uit die 1000 kg herbivoren kan maar 10 kg carnivoor (vogels, vossen, wespen) gevormd worden.

In een volgend trofische niveau neemt de hoeveelheid organische stof en de hoeveelheid bruikbare energie af (BINAS 93 E2 Piramide van biomassa/productiviteit en **piramide van energie** BINAS 93 A1 en 2).

Ad 2 Voeding en vertering

Organische stoffen uit planten kunnen niet zomaar ingebouwd worden bij de herbivoren en omnivoren die planten eten. Hetzelfde geldt voor carnivoren die herbivoren eten, schimmels die afval eten etc. De dieren, schimmels en bacteriën moeten de koolhydraten, eiwitten en vetten etc. die ze met hun voedsel binnen krijgen afbreken tot de bouwstenen (**vertering**) om daarna in hun cellen hun eigen soort koolhydraten, eiwitten, vetten en andere organische stoffen te kunnen maken (**biosynthese**). **Niet alle geproduceerde organische stof draagt bij aan de biomassa in een volgende trofisch niveau.**

Dat heeft twee redenen:

*Ten eerste. Bij vertering kunnen niet alle organische stoffen die met het voedsel opgenomen worden omgezet worden in voor het organisme bruikbare stoffen. Organische stof die niet gebruikt kan worden verlaat met de **ontlasting** het organisme. Dat is één van de redenen waarom een volgend trofische niveau in een ecosysteem minder biomassa produceert dan het voorgaande niveau (**Piramide van biomassa** BINAS 93 E2). Organische stoffen in de ontlasting bevatten ook energie. Dus ontlasting is ook één van de redenen waarom de hoeveelheid energie in een volgend trofisch niveau minder is dan in het vorige niveau (**piramide van energie** BINAS 93 A1 en 2).

Een maat voor het percentage van het voedsel dat bruikbaar is en in het bloed opgenomen wordt is de **assimilatie efficiëntie A/I_n** . **Hoe meer ontlasting t.o.v. in het bloed opgenomen voedsel, hoe minder de efficiëntie.** Assimilatie-efficiëntie kan bij verschillende dieren heel verschillend zijn en bij dezelfde dieren met verschillend voedsel ook. (BINAS 93A 2, welke dieren hebben de hoogste efficiëntie en waarom?).

De tweede reden heeft te maken met dissimilatie, zie hieronder.

Ad 3+4 Dissimilatie, voortgezette assimilatie en biosynthese

*Er is nog een tweede reden waarom de hoeveelheid biomassa en energie op een volgend trofisch niveau kleiner is. Met de organische stoffen die bij planten, dieren, schimmels en bacteriën in cellen belanden kunnen twee dingen gebeuren.

- De organische stoffen worden afgebroken tot CO_2 en H_2O (**dissimilatie**).
- De organische stoffen worden gebruikt als bouwstof bij voortplanting, groei en herstel (**voortgezette assimilatie of biosynthese, productiviteit**)

Bij de afbraak in de dissimilatie komt energie beschikbaar voor het maken van ATP, een molecuul dat bij opbouw en ook bij transport of beweging gebruikt wordt om afgestuurde pakketjes energie te leveren. Daarnaast verlaat een deel van de energie als warmte het organisme. Die energie kan niet meer door organismen gebruikt worden.

*Het % van de stoffen dat voor het ene of het andere proces gebruikt wordt is afhankelijk van soort en leeftijd van organismen. De productiviteitsefficiëntie (P_n/A) van volwassen warmbloedige gewervelden is bijvoorbeeld gemiddeld maar 0,02 (BINAS 93A2, tabel). Dat wil zeggen dat 98% van de energierijke moleculen die in het bloed wordt opgenomen

verdwijnt uit het organisme als CO₂ en H₂O bij de dissimilatie. Dus maar 2% van die moleculen die in het bloed van volwassenen, warmbloedige herbivoren en carnivoren wordt opgenomen wordt uiteindelijk gebruikt voor groei en voortplanting: nieuw gevormde biomassa.

*Er is aparte aandacht nodig voor energie omdat het ontstaan van warmte makkelijk wordt vergeten bij het leren over reacties die in cellen plaats vinden.

Bij het leren over biochemische reacties leren leerlingen vaak wel om na te gaan wat er gebeurt met de materie, maar er wordt niet apart aandacht besteed aan wat er gebeurt met de energie. Daarentegen wordt op ecosysteemniveau, in kringlopen en energiestromen, de weg van stoffen en van energie wel apart van elkaar bekeken.

Op het eenvoudigste niveau leren leerlingen dat bij instandhouding van een organisme verbranding nodig is en dat daarbij energie verloren gaat als warmte (VMBO syllabus).

In de HAVO/VWO syllabus, de boeken en in BINAS daarentegen wordt de overdracht van energie tussen chemische stoffen wel maar het ontstaan van warmte bij iedere chemische reactie niet benadrukt of zelfs niet eens genoemd of beschreven (BINAS 68 A-E)!!

Op cellulair niveau kunnen leerlingen via BINAS schema's (BINAS 68 A, B, C, D) leren dat één molecuul glucose bij aerobe dissimilatie energie oplevert om ongeveer 38 moleculen ATP te maken. De energie die bij die omzettingen in de vorm van warmte ontstaat komt niet in die schema's voor. Dat de 38 moleculen ATP samen minder energie bevatten dan 1 molecuul glucose zal lang niet iedere leerling bekend voorkomen. En dat ook bij de afbraak van ATP in ADP+P maar een deel van de energie naar het molecuul waar de P zich aan bindt gaat en een ander deel het organisme verlaat als warmte kan uit die schema's niet afgelezen worden.

Om de energiestroom in een ecosysteem te begrijpen is het weet hebben van het verlies van bruikbare energie in de vorm van warmte essentieel. In plaatjes van de **energiestroom** in een ecosysteem (BINAS 93 A1 en 2) wordt **warmteverlies of dissimilatie altijd beschreven als een belangrijke oorzaak van het energieverlies** op opeenvolgende trofisch niveaus.

Verwante opdrachten in het boek

In enkele andere opdrachten in het boek wordt ook aandacht besteed aan de processen die ten grondslag liggen aan kringlopen en energiestromen. Die opdrachten en opdracht 7.2 vullen elkaar aan.

- Opdracht 5.3

In opdracht 5.3 gaan leerlingen na hoe een koolstofatoom zich door een ecosysteem kan bewegen, steeds opnieuw gebruikt wordt, steeds onderdeel is van verschillende moleculen, steeds in andere processen een rol speelt. De leerlingen onderzoeken wat de functie is van die processen voor het organisme.

- Opdracht 8.2

In opdracht 8.2 wordt op een eenvoudig niveau aandacht besteed aan de weg van de koolstof in een voedselketen. Daarbij komen wel de koolstofkringloop en de bijbehorende processen maar niet de energiestroom aan de orde.

- Opdracht 8.1 en hoofdstuk 4

Naast de conceptuele samenhang blijken ook de figuren en modellen waarin kringlopen en energiestromen samengevat worden een hindernis bij het leren te zijn. Hoofdstuk 4 en opdracht 8.1 besteden daar aandacht aan.

- Opdracht 8.6

In opdracht 8.6 wordt via een context (vleesproductie) aandacht besteed aan de energie op verschillende trofische niveaus.