

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU



MAX

BIOLOGIE 4B

VWO

NAAM EN KLAS

MALMBERG

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU

**Biologie voor
de bovenbouw**

4 VWO
deel B

EINDREDACTIE

Claud Biemans
Arthur Jansen

AUTEURS

Ronald Deumens
Robin Hulshof
Michelle Sparnaaij

MAX RELEASE 7.0

Malmberg 's-Hertogenbosch
www.biologievoorjou.nl

Deel A

Thema 1

INLEIDING IN DE BIOLOGIE

ORIËNTATIE

Museum blij met dode mus	8
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpjes	

BASISSTOF

1 Wat kun je met biologie?	10
2 Organen, weefsels en cellen	20
3 Plantaardige en dierlijke cellen	28
4 Organellen	35
5 Transport door membranen	47
6 Natuurwetenschappelijk onderzoek	60

SAMENHANG

Expeditie Spitsbergen	72
-----------------------	----

EXTRA STOF

Leven in zout water	
Wandzoekgedrag	

ONDERZOEK

Vaardigheden	74
Practica	81

AFSLUITING

Samenvatting	89
Examenopgaven	94

Thema 2

VOORTPLANTING EN SEKSUALITEIT

ORIËNTATIE

Ontstaan uit dezelfde cel	102
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpjes	

BASISSTOF

1 Ongeslachtelijke voortplanting	104
2 Geslachtelijke voortplanting	113
3 Hormonen	124
4 Zwanger	133
5 Seksualiteit (SE)	143
6 Soa's en geboorteregeling (SE)	152
7 Ongewenst kinderloos	161

SAMENHANG

Endometriose: een probleem van de samenleving	168
---	-----

EXTRA STOF

Embryonale ontwikkeling bij gewervelde dieren	
---	--

ONDERZOEK

Practica	170
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	173
Examenopgaven	178

Thema 3

GENETICA

ORIËNTATIE

Een vader met honderden donorkinderen	186
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpjes	

BASISSTOF

1 Fenotype en genotype	188
2 Genenparen	196
3 Monohybride kruisingen	206
4 Geslachtschromosomen	214
5 Dihybride kruisingen	220
6 Speciale manieren van overerven	230
7 Opvoeding of aanleg	239

SAMENHANG

De evolutie van huidskleur	246
----------------------------	-----

EXTRA STOF

Erfelijkheid in je familie	
Bio-informaticus	

ONDERZOEK

Practica	248
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	254
Examenopgaven	258

Deel **B**Thema **4****EVOLUTIE****ORIËNTATIE**

De cheeseburger-muis	8
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Ontwikkeling van het leven	10
2 Bacteriën, virussen en schimmels	21
3 De evolutietheorie	31
4 Evolutie in populaties	37
5 Ontstaan van soorten	48
6 Onderzoek naar evolutie	58

SAMENHANG

Komen mammoeten weer tot leven?	68
---------------------------------	----

EXTRA STOF

Fossielen	
Universitair docent	

ONDERZOEK

Practica	70
----------	----

AFSLUITING

Samenvatting	76
Examenopgaven	80

Thema **5****ECOLOGIE****ORIËNTATIE**

De bruidsvlucht van een verborgen mier	88
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Ecologie op alle organisatieniveaus	90
2 Populaties	100
3 Ecosystemen	113
4 Veranderende ecosystemen	125

SAMENHANG

Overleven in de stad	136
----------------------	-----

EXTRA STOF

Biodiversiteit	
Parasieten bij de mens	

ONDERZOEK

Practica	138
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	143
Examenopgaven	148

Thema **6****MENS EN MILIEU****ORIËNTATIE**

Plastic is overal, zelfs in ons lichaam	156
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Kringlopen	158
2 Voedselproductie	169
3 Versterkt broeikaseffect	184
4 Duurzame ontwikkelingen	195

SAMENHANG

Voedselbos combineert natuur en landbouw	206
--	-----

EXTRA STOF

Metingen aan water: fosfaatgehalte	
Invasieve uitheemse soorten	

ONDERZOEK

Practica	208
----------	-----

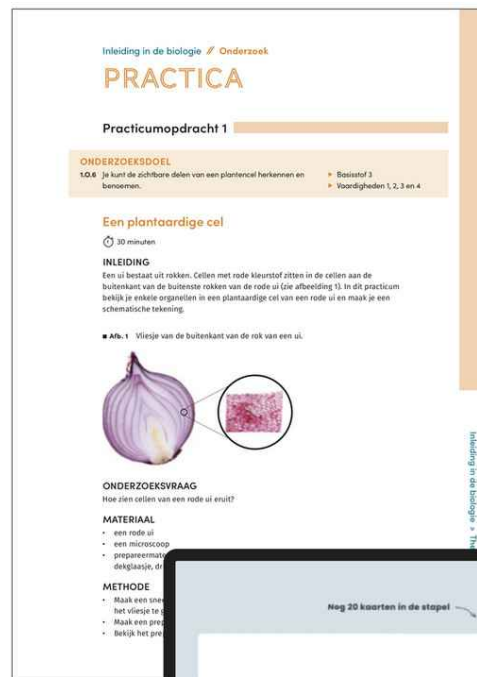
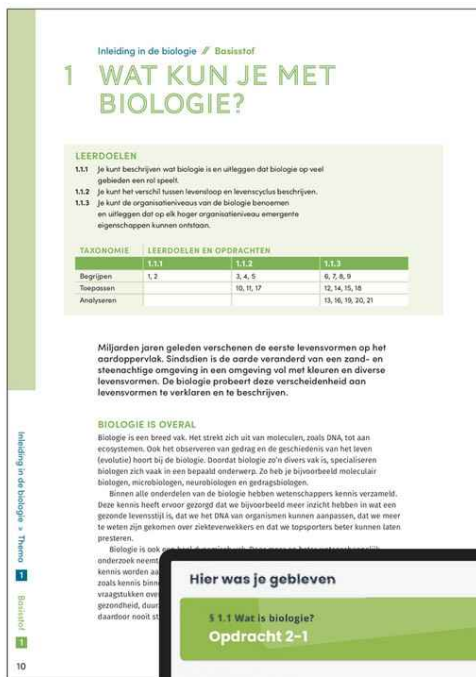
AFSLUITING

Samenvatting	210
Examenopgaven	214
Register	220
Colofon	222

EXAMENTRAINER

AAN DE SLAG MET BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie is overal om je heen. Met *Biologie voor jou* heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken! Je leert waar het vak om draait en welke rol biologie speelt in het dagelijkse leven.



WERK IN JE BOEK ÉN ONLINE!

Er zijn twee boeken per leerjaar en er is een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. Elk thema start met de Oriëntatie (inclusief *Voor-kennistoets* en *Voorkennisfilmpjes*), gevolgd door de *Basisstof*, *Samenhang*, *Extra stof*, *Onderzoek* en *Afsluiting*. Aan het begin van elke basisstof staat met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren en op welk taxonomieniveau je het geleerde oefent bij de opdrachten. In het onderdeel *Onderzoek* vind je de vaardigheden en ga je met practica aan de slag. In de *Afsluiting* vind je de samenvatting en examenopgaven ter voorbereiding op het examen.

VOORDELEN VAN ONLINE

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Examenopgaven*.
- Je kunt op een hoger of lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe het met je gaat.

SAMENHANG

Aan het einde van elk thema is er een onderdeel *Samenhang*. Met de *Samenhang* ontdek je hoe de leerstof van belang is in de wereld om je heen. Ook leer je verbanden te zien tussen de verschillende basisstoffen van het thema en is er aandacht voor de interactie tussen de verschillende organisatie-niveaus. Een goede oefening voor het examen!

Inleiding in de biologie // Samenhang

EXPEDITIE SPITSBERGEN

LEERDOELEN

1.5.1 Je kunt verschillende typen van natuurwetenschappelijk onderzoek toelichten voor verschillende organisatie-niveaus van de biologie.

1.5.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op planten en dieren.

In juli 2022 vertrok een grote groep wetenschappers in de richting van Spitsbergen om onderzoek te doen naar de gevolgen van klimaatverandering. Het idee voor deze Nederlandse poolexpeditie ontstond toen bioloog Maarten Loonen een kist met rendierschedels op een zolder van de Rijksuniversiteit Groningen vond. De rendierschedels waren afkomstig van eerder onderzoek op het eiland Edgeøya, dat ten oosten ligt van Spitsbergen (zie afbeelding 1). Van 1968 tot en met 1988 hebben Nederlandse wetenschappers door veel data verzameld over planten en dieren, een gevaarlijke klus vanwege de vele ijberen.

Afh. 1 Ligging van het eiland Edgeøya in Spitsbergen.

In 2015 en 2022 kreeg het onderzoeksproject een vervolg. Het klimaat is de afgelopen decennia milder geworden en het zee-ijs is veel eerder weg dan vroeger. Door nieuwe waarnemingen te vergelijken met oude waarnemingen is het mogelijk om de gevolgen van klimaatverandering op planten en dieren te bestuderen. Van bepaalde gebieden was precies bekend hoe de vegetatie er in 1977 uitzag. 'We hebben daar in 2015 weer geleken en we zijn verbaasd', zegt Loonen. 'Er zijn stukken die vroeger helemaal kaal waren en nu zijn begroeid, en omgekeerd. De vraag is natuurlijk of dit komt door de opwarming van het poolgebied of dat andere factoren een rol spelen.' Voor conclusies was het in 2015 nog te vroeg. 'We gaan met kisten vol onderzoeksmateriaal naar huis en moeten dat nog bestuderen en interpreteren.'

Lineke Woelders, paleo-ecoloog, bestudeert met haar team de invloed van klimaatverandering op de vegetatie van het poolgebied. Dit doet ze door te kijken naar de groei van groente in een meentje op temperatuurschillen. Onderzoekers schenken het poolgebied.

Test jezelf

Zo werkt Test jezelf

- Met Test jezelf leer je jouw kennis van leerdoelen.
- Je kunt tussenbeide stappen en later verder gaan.
- Als je klaar bent, zie je welke leerdoelen je beheerst en welke niet.
- Je krijgt geen rijfer voor een Test jezelf.

Leerdoel A

Je kunt organismen, organen, weefsels en cellen bij een mens herkennen en kenmerken en functies beschrijven.

Leerdoel B

Je kunt beschrijven dat groepen cellen in een weefsel, orgaan of organisme een gezamenlijke functie uitoefenen.

Leerdoel C

Je kunt bij (kleinere) organismen het verband aangeven tussen vorm en functie.

GOEDE VOORBEREIDING OP DE TOETS EN HET EXAMEN!

Een thema eindigt met een Afsluiting (*Samenvatting* en *Examenopgaven*). In de online leeromgeving vind je ook *Flitskaarten*, *Test jezelf* en de *Examentrainer*.

Inleiding in de biologie // Afsluiting

EXAMENOPGAVEN

HUIDMONDJES IN DE MIDDELEEUWEN

Bron: examen van 2013-1, vraag 21.

De cellen van verse bladeren die in een herbarium werden opgenomen, doorlopen als gevolg van uitdroging achtereenvolgens: verlies van turgor, grensplasmolyse, plasmolyse, celdood.

21. 1. Krimpt het blad als gevolg van verlies aan turgor? En krimpt het blad als gevolg van voortschrijdende plasmolyse?

Krimpt blad door verlies van turgor?	Krimpt blad door voortschrijdende plasmolyse?
A ja	ja
B ja	nee
C nee	ja
D nee	nee

VEROUDERING EN VERJONGING

Bron: examen van 2013-1, vraag 26.

Bij onderzoek naar veroudering bij mensen is sprake van een methodologisch probleem, de gemiddelde levensduur van een mens is namelijk langer dan de gemiddelde carrière van een wetenschapper.

Een oplossing is om cross-sectioneel onderzoek te doen. Een grote groep proefpersonen wordt daarbij verdeeld in leeftijdscategorieën en gedurende een bepaalde korte periode, bijvoorbeeld een jaar, per leeftijdscategorie onderzoek op verouderingsverschijnselen. Aan dit cross-sectioneel onderzoek kleven nadelen.

Twee aspecten van cross-sectioneel onderzoek zijn:

1. Doordat de proefpersonen niet allen in dezelfde periode zijn opgegrepen, kunnen gezondheidverschillen tussen de leeftijdscategorieën ook worden veroorzaakt door verschillen in omgevingsfactoren.
2. Personen die op jonge leeftijd een slechtere gezondheid hadden, zijn minder vertegenwoordigd in de hogere leeftijdscategorieën.

26. 2. Vermindert aspect 1 de betrouwbaarheid of de validiteit van het onderzoek? En aspect 2?

aspect 1	aspect 2
A betrouwbaar	ja
B betrouwbaar	nee
C valideit	ja
D valideit	nee

Opdracht 6

Koraal

Bron: polder examen 2013-1, vragen 21 en 22.

Lees bron 4.

De poliepen leven in helder water tot hooguit negentig meter diepte waarvan de temperatuur mag variëren tussen 25 °C en 29 °C. Dat koraal niet op grotere diepten voorkomt, komt doordat zij in symbiose met algen leven. Beide organismen profiteren van deze samenlevingsvorm.

4. Leg uit dat deze symbiose tussen poliep en alg niet op grotere diepten kan voorkomen.

VOORDELEN VAN HET BOEK

- Je hebt snel overzicht in wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.

BETEKENIS SYMBOLEN

- Deze opdracht maak je het best in je boek.
- Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.
- Een uitdagende opdracht uit de biologie-olympiade.
- Met dit practicum ben je zó lang bezig.



Thema 4

EVOLUTIE

In de loop van miljarden jaren zijn allerlei levensvormen op aarde ontstaan, veranderd en vaak ook weer verdwenen. Dat blijkt uit onderzoek naar fossielen en bestaande soorten. Darwin gaf met de evolutietheorie een verklaring voor deze veranderingen. Hij baseerde zich vooral op uiterlijke kenmerken van soorten. In dit thema leer je meer over resultaten uit de biochemie en de genetica die Darwins theorie bevestigen en verfijnen.

Inhoud

ORIËNTATIE

De cheeseburger-muis	8
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Ontwikkeling van het leven	10
2 Bacteriën, virussen en schimmels	21
3 De evolutietheorie	31
4 Evolutie in populaties	37
5 Ontstaan van soorten	48
6 Onderzoek naar evolutie	58

SAMENHANG

Komen mammoeten weer tot leven?	68
---------------------------------	----

EXTRA STOF

Fossielen	
Universitair docent	

ONDERZOEK

Practica	70
----------	----

AFSLUITING

Samenvatting	76
Examenopgaven	80

DE CHEESEBURGER-MUIS

Met de komst van de eerste Europeanen in Amerika kwamen ook de gewone huismuis (*Mus musculus*, zie afbeelding 1) en de bruine rat (*Rattus norvegicus*) mee. Deze knaagdieren waren gewend aan het leven in Europese steden. Toen in Amerika nieuwe steden werden gebouwd, hadden ze daarom geen enkele moeite om zich aan te passen.

Amerikaanse muizen, zoals bijvoorbeeld de goudbonte inheemse witvoetmuis (*Peromyscus leucopus*, zie afbeelding 2), konden zich in eerste instantie niet zo snel aanpassen en stierven in groten getale. Maar tegenwoordig zijn er overal grote populaties van deze inheemse muis, zowel in als buiten New York.

Evolutionair bioloog Stephen Harris en zijn collega's vroegen zich af of de witvoetmuizen in de steden genetisch waren veranderd ten opzichte van de in het wild levende muizen. Daarom onderzochten de wetenschappers mutaties in het DNA van witvoetmuizen in drie parken in New York en in drie natuurgebieden op ongeveer honderd kilometer van de stad.

In totaal vonden de wetenschappers negentien mutaties bij muizen in New York die niet voorkwamen bij muizen in natuurgebieden. Veel van deze mutaties zaten in genen die van invloed zijn op hoe muizen vetten en koolhydraten uit voedsel afbreken. Muizen in Central Park hadden bijvoorbeeld een afwijkend gen dat een rol speelt bij de vertering van vet voedsel. Deze genetische veranderingen zouden wel eens de reden kunnen zijn dat deze muizen voedselafval van mensen kunnen eten, een idee dat Harris 'de cheeseburger-hypothese' noemt. Maar het is ook mogelijk dat stedelijke muizen meer zaden en vruchten kunnen eten dan muizen in natuurgebieden. In de stadsparken van steden zoals New York komen wel struiken met vruchten voor, maar bijvoorbeeld geen herten. Muizen hebben daardoor minder concurrentie van andere diersoorten.

Verder onderzoek is nodig om aan te tonen dat de mutaties ervoor zorgen dat muizen het voedsel van mensen beter kunnen verteren. Maar eerst wil Harris achterhalen wat het dieet van de muizen is. Daarvoor wil hij de uitwerpselen van muizen analyseren met behulp van de DNA-barcoding-techniek. Met het gevonden DNA in de uitwerpselen kan vervolgens worden achterhaald wat de muizen hebben gegeten.

Het voorbeeld van de witvoetmuizen laat zien dat sommige dieren zich relatief snel kunnen aanpassen aan een veranderende omgeving, waardoor ze zich als soort in stand houden. Snelle veranderingen in het DNA zouden hierbij een rol kunnen spelen en kunnen verklaren waarom sommige soorten succesvoller zijn dan andere soorten.

Steeds meer wetenschappers doen onderzoek naar evolutie van soorten in steden. In het verleden dacht iedereen dat natuurlijke selectie een langzaam proces was. Niemand verwachtte dat veel soorten zich zouden aanpassen aan onze relatief nieuwe stedelijke omgeving. Steeds vaker blijkt dat sommige soorten zich wel snel aanpassen. Dat zijn dus niet alleen de organismen die in het verleden toevallig al over aanpassingen beschikten, waardoor ze in steden konden overleven. Het lijkt erop dat bepaalde soorten uitzonderlijk snel veranderingen in het DNA kunnen ondergaan die het mogelijk maken om in stedelijke gebieden te leven.

■ Afb. 1 De gewone huismuis.



■ Afb. 2 De witvoetmuis.



Opdrachten

- 1 Voordat de eerste Europeanen in Amerika voet aan wal zetten, kwamen er al witvoetmuizen voor. De populaties werden sinds de komst van de Europeanen steeds kleiner. Leg uit welke rol de verstedelijking speelde in het kleiner worden van de witvoetmuiskolonies.
- 2 Waardoor konden de gewone huismuis en de bruine rat uit Europa beter overleven in de steden die in Amerika werden gebouwd?
- 3 Witvoetmuizen die leefden in de gebieden in Amerika waar later steden werden gebouwd, ondervonden meteen al concurrentie van de gewone huismuis en de bruine rat. Waaruit bestond die concurrentie en wat was hiervan het gevolg voor de witvoetmuis?
- 4 In een opkomende stad als New York heeft de witvoetmuis zich in de loop der jaren aangepast, zodat deze soort nu weer grote populaties kent. Dat komt volgens het onderzoek van Stephen Harris mogelijk doordat de muis plotseling stedelijk voedsel kon verteren. Welk 'plotseling' proces zorgde ervoor dat muizen aangepast raakten aan een stedelijke omgeving?
- 5 Leg uit waarom een witvoetmuis (*Peromyscus leucopus*) en de huismuis (*Mus musculus*) niet tot dezelfde soort horen.

 [Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 ONTWIKKELING VAN HET LEVEN

LEERDOELEN

- 4.1.1** Je kunt benoemen uit welke periode de eerste levende organismen op aarde stammen. ► Vaardigheden 1, 2, 3 en 4 (thema 1)
- 4.1.2** Je kunt het ontstaan van prokaryoten en eukaryoten beschrijven. ► Practica 1 en 2
- 4.1.3** Je kunt het ordeningssysteem van organismen beschrijven en toepassen.

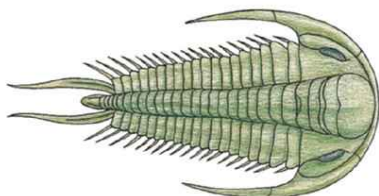
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	4.1.1	4.1.2	4.1.3
Begrijpen	2, 3, 13b	1	4, 5, 6, 7
Toepassen	12, 13ae	9ab	8
Analyseren	10, 13cd	9c, 11b	11a

Aan het begin van het bestaan van de aarde was er geen leven mogelijk. Op een zeker moment ontstond de eerste eencellige levensvorm. Sindsdien heeft deze eerste levensvorm zich ontwikkeld tot de enorme diversiteit van vandaag.

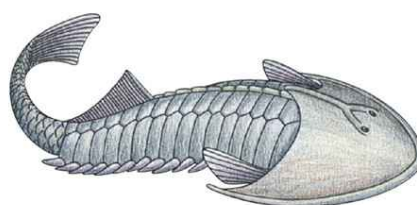
GESCHIEDENIS VAN HET LEVEN OP AARDE (SE)

De aarde bestaat ongeveer 4,6 miljard jaar. Naar schatting 3,8 miljard jaar geleden, in het precambrium, ontstonden de eerste eencellige vormen van leven. Pas ongeveer 670 miljoen jaar geleden verschenen de eerste meercelligen. De atmosfeer bevatte toen ongeveer 7% zuurstof. Zo'n 542 miljoen jaar geleden ontstonden gepantserde dieren (bijvoorbeeld weekdieren), geleedpotigen (bijvoorbeeld trilobieten, zie afbeelding 1.1) en stekelhuidigen (bijvoorbeeld zeesterren). Ook verschenen de eerste vissen (zie afbeelding 1.2). Vanaf dat moment leverden deze levensvormen fossielen op. Fossielen zijn resten of sporen van organismen in gesteenten.

- **Afb. 1** De eerste geleedpotigen en vissen.



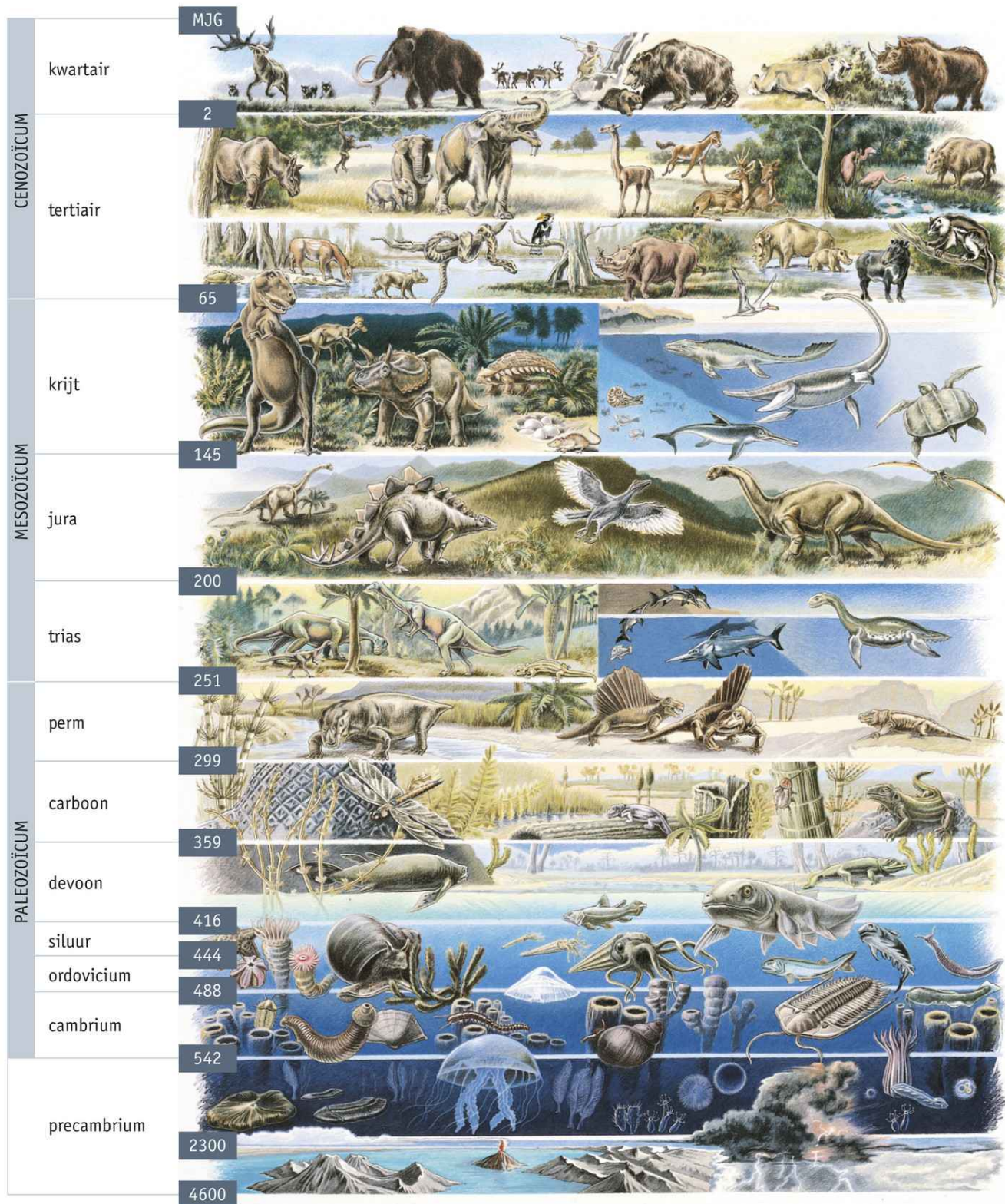
- 1** trilobiet, een uitgestorven geleedpotige die leefde van het cambrium tot en met het perm



- 2** placodermi, een uitgestorven pantservis die leefde van het siluur tot aan het late devoon

Tot in het siluur speelde alle leven zich af in zee (zie afbeelding 2 en **BiNaS** tabel 94A). De eerste landplanten ontstonden ongeveer 400 miljoen jaar geleden. Deze planten veroverden in korte tijd de kale vlakten. Vrij snel na de landplanten ontstonden ook landdieren, voornamelijk geleedpotigen. Zij werden 350 miljoen jaar geleden gevolgd door gewervelden, de amfibieën. Deze ontwikkelden zich vermoedelijk uit kwastvinnige vissen.

■ **Afb. 2** De geschiedenis van het leven (MJG = miljoen jaar geleden).



De eerste planten met vaatbundels ontstonden in dezelfde periode. Vaatbundels verbeterden het transport van stoffen in planten, waardoor grotere planten konden ontstaan. In het carboon ontstonden wouden met grote boomachtige varens en paardenstaarten. Ook ontstonden de eerste reptielen en maakten insecten een bloeiperiode door. Ongeveer 250 miljoen jaar geleden ontstonden zaadplanten.

Het mesozoïcum was het tijdperk van de reptielen. Reptielen waren de eerste echte gewervelde landdieren, omdat ze voor hun voortplanting niet meer afhankelijk van het water waren. Om hun eieren zit een schaal, waardoor ze op het land niet snel uitdrogen. Vooral tijdens de jura ontstond een grote verscheidenheid aan reptielen. Tijdens de bloeitijd van de sauriërs (sauros = hagedis) ontstonden de eerste zoogdieren en vogels. Die twee groepen warmbloedigen konden zich verder ontwikkelen in het cenozoïcum, toen door een langdurige klimaatverandering na een meteorietinslag de sauriërs waren verdwenen. De oudste fossielen met menselijke kenmerken zijn ongeveer 5 miljoen jaar oud.

ONTSTAAN VAN ORGANISCHE STOFFEN

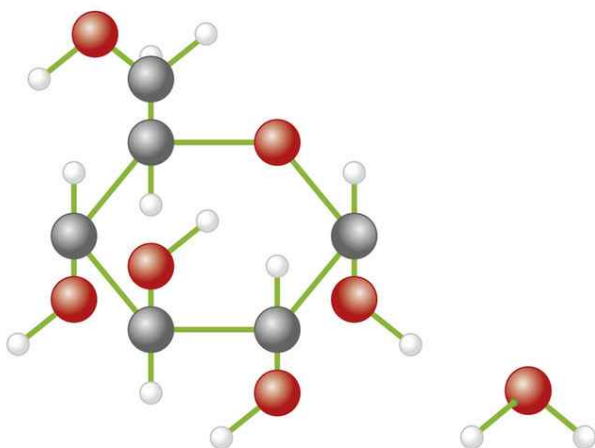
Aan het ontstaan van leven ging waarschijnlijk een **chemische evolutie** vooraf. Hierin werden de stoffen gevormd waaruit de eerste eencellige kon ontstaan. Tot ongeveer drie miljard jaar geleden bevatte de atmosfeer geen zuurstof. Deze oeratmosfeer was waarschijnlijk een mengsel van stikstofgas, waterdamp, koolstofmonoxide, koolstofdioxide, waterstofgas, ammoniak, methaan en waterstofsulfide. Een vergelijkbaar gasmengsel komt ook nu nog vrij bij vulkaanuitbarstingen.

Door toevoer van energie, bijvoorbeeld uit elektrische ontladingen, uv-straling en botsingen met meteorieten, kunnen deze gassen ioniseren. Daarbij ontstaan reactieve deeltjes van atomaire koolstof, waterstof, stikstof en zuurstof. Deze atomen reageren onmiddellijk met elkaar. Op die manier ontstonden in de oeratmosfeer uit anorganische stoffen de eerste organische stoffen.

Organische stoffen zijn meestal van organismen afkomstig. Ze hebben relatief grote, ingewikkeld gebouwde moleculen, die altijd een of meer atomen koolstof (C) en waterstof (H) en meestal zuurstof (O) bevatten. Daarnaast kunnen organische stoffen onder andere atomen stikstof (N), fosfor (P) en zwavel (S) bevatten. Voorbeelden van organische stoffen zijn eiwitten, vetten, en koolhydraten zoals glucose ($C_6H_{12}O_6$) (zie afbeelding 3.1).

Anorganische stoffen komen zowel voor in de levenloze natuur als in organismen. Deze stoffen zijn opgebouwd uit kleine, eenvoudig gebouwde moleculen. Koolstofmonoxide (CO), koolstofdioxide (CO_2), water (H_2O) (zie afbeelding 3.2), keukenzout (NaCl) en zuurstof (O_2) zijn voorbeelden van anorganische stoffen.

■ **Afb. 3** Een organisch en een anorganisch molecuul.

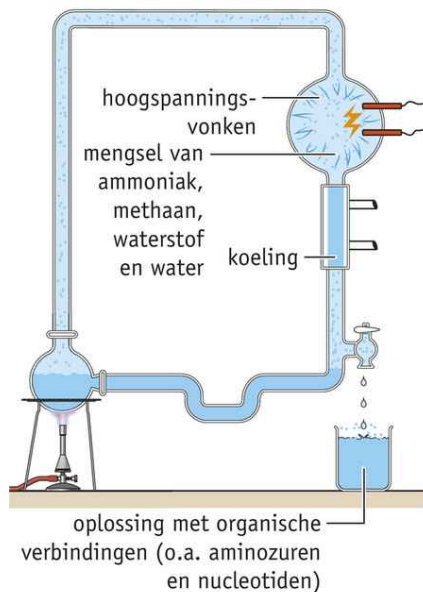


1 Een glucosemolecuul ($C_6H_{12}O_6$) is een organisch molecuul.

2 Een watermolecuul (H_2O) is een anorganisch molecuul.

In 1951 bootsten de Amerikanen Stanley Miller en Harold Urey het ontstaan van organische stoffen uit anorganische stoffen na in het laboratorium: het **Miller-Urey-experiment**. Zij stelden een mengsel van ammoniak, methaan, waterstofgas en waterdamp bloot aan elektrische ontladingen (zie afbeelding 4). Daarbij ontstonden onder andere aminozuren en nucleotiden. Uit aminozuren, nucleotiden (de bouwstenen voor DNA), sachariden en vetzuren kunnen in organismen belangrijke organische stoffen als eiwitten, DNA, koolhydraatketens en vetten worden gevormd.

■ **Afb. 4** Schematische weergave van de opstelling van het experiment van Miller en Urey.



Opdrachten **KENNIS**

- 1 De eerste dieren ontstonden honderden miljoenen jaren geleden in het water van oceanen of in modderpoelen. Tegenwoordig zijn dieren bij de voortplanting nog steeds afhankelijk van water.
 - a Leg uit dat dit geldt voor amfibieën.
 - b Beschrijf op welke manier embryo's van reptielen en vogels afhankelijk zijn van een waterige omgeving.
 - c Leg uit hoe embryo's van zoogdieren zich ontwikkelen in een waterige omgeving.
- 2 Er bestaan verschillende theorieën over de wijze waarop organische stoffen ontstonden tijdens de chemische evolutie op aarde.
Leg uit op welke manier tijdens het Miller-Urey-experiment organische stoffen ontstonden.
- 3
 - a Teken een lineaire tijdlijn van de laatste 3,8 miljard jaar, bijvoorbeeld een lijn van 19 cm, waarbij elke halve centimeter 100 miljoen jaar voorstelt.
Noteer op de juiste plaats langs de tijdlijn het ontstaan van: eencelligen, meercelligen, gepantserde dieren, landplanten, amfibieën, reptielen, zaadplanten en mensachtigen.
 - b Leg uit waarom het juist is dat mensachtigen als 'nieuwkomers' worden gezien.

ONTSTAAN VAN LEVENDE CELLEN

Volgens een theorie over het ontstaan van leven kwamen de eerste organische stoffen terecht in zee, waar ze zich ophoopten. Hierdoor ontstond een organische **oersoep**. In deze oersoep verenigden kleine organische moleculen zich tot grotere moleculen. De organische moleculen rangschikten zich in 'druppeltjes' (protobionten). Daaruit ontstonden de eerste cellen. Deze eerste cellen bevatten waarschijnlijk al een vorm van DNA voor het doorgeven van erfelijke informatie aan volgende generaties.

De vorming van cellen uit organische stoffen is een voorbeeld van **zelforganisatie**. Bij zelforganisatie ontstaan eenheden met nieuwe eigenschappen op een hoger organisatieniveau.

Volgens een recentere theorie kunnen protobionten ook zijn ontstaan bij **black smokers** op de bodem van oceanen. Dit zijn vulkanische schoorstenen waar water tot 400 °C, onder hoge druk, uit de zeebodem spuit. Door de aanwezige mineralen kleurt dit water zwart. Ook hier zijn de voorwaarden voor een chemische evolutie aanwezig. Een derde theorie is dat de bouwstenen voor leven afkomstig zijn uit de ruimte.

Van de allereerste levensvormen zijn geen fossielen gevonden, waarschijnlijk omdat deze eencelligen geen harde delen bezaten. De oudste fossielen zijn 3,5 miljard jaar oud. Alle fossielen ouder dan 1,4 miljard jaar zijn van **prokaryoten**: eencellige organismen zonder celkern. Hun erfelijk materiaal ligt los in het cytoplasma. Bij veel soorten bestaat het erfelijk materiaal slechts uit één groot **cirkelvormig chromosoom**. Ze hebben wel ribosomen, maar geen andere organellen.

De eerste prokaryote organismen waren **anaeroob**: ze konden uitsluitend leven in een milieu zonder zuurstof. Bovendien waren ze **heterotroof**: ze verkregen hun energie uit de opname en afbraak van organische stoffen uit de oersoep. Heterotrofe organismen zijn niet in staat organische stoffen te maken uit alleen anorganische stoffen. Ze moeten organische stoffen (vaak andere organismen) als voedsel opnemen. Uit deze organische stoffen maken ze hun eigen organische stoffen. Voor hun opbouw hebben ze ook anorganische stoffen nodig, die ze opnemen uit de omgeving.

Ongeveer 2,8 miljard jaar geleden ontstonden **bacteriën** die in staat waren tot fotosynthese: cyanobacteriën, ofwel blauwalgen. Dit waren de eerste **autotrofe** organismen. Autotrofe organismen hebben uit hun omgeving alleen anorganische stoffen nodig. Hieruit maken ze de organische stoffen waaruit ze bestaan. Door de toename van autotrofe organismen kon de hoeveelheid organische stof op aarde toenemen. Een andere eigenschap van de cyanobacteriën was dat ze zuurstof produceerden. Zuurstof is giftig voor anaerobe levensvormen en dat waren de meeste organismen in die tijd op aarde. Ongeveer 2 miljard jaar geleden waren er zoveel autotrofe bacteriën in de zeeën aanwezig dat de atmosfeer zuurstofrijker werd. De anaerobe organismen werden langzaam vergiftigd. Rond die tijd ontstonden de eerste **aerobe** heterotrofe bacteriën. Deze eencelligen gebruikten de beschikbare zuurstof om energierijke organische stoffen uit hun voedsel af te breken.

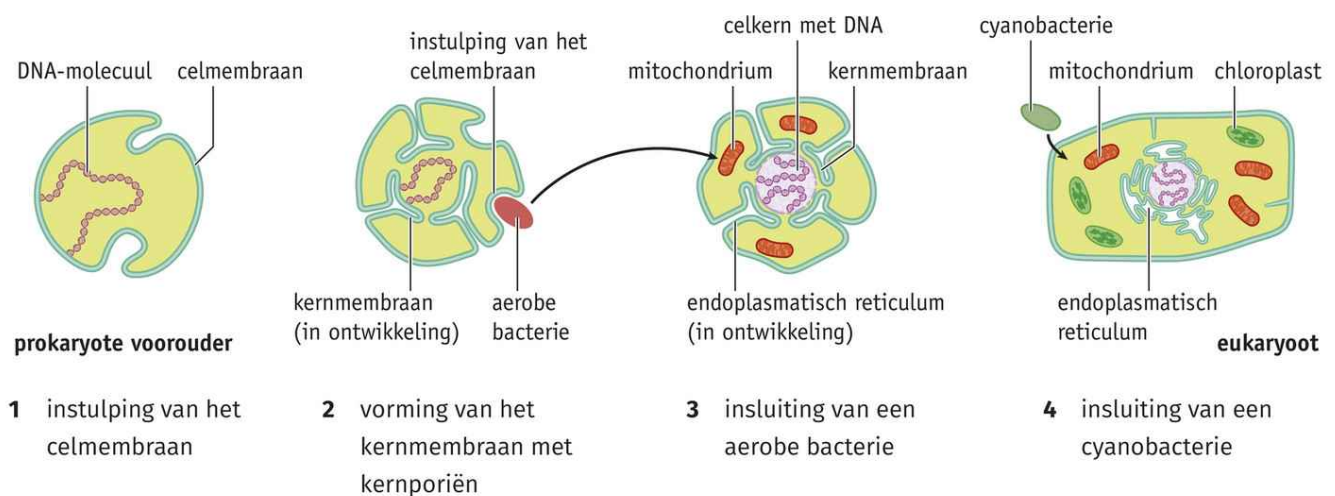
ONTSTAAN VAN EUKARYOTEN

Ongeveer 1,5 miljard jaar geleden ontstonden de eerste **eukaryoten**: cellen met een celkern, dubbele membranen en organellen. Biologen hebben aanwijzingen dat deze ontwikkeling heeft plaatsgevonden volgens de **endosymbiosetheorie** (endo = binnen, symbiose = samenleven; zie **BiNaS** tabel 94C). In afbeelding 5 is deze theorie schematisch weergegeven. Volgens de endosymbiosetheorie ontstonden eukaryoten uit relatief grote prokaryoten. Door instulping van het celmembraan rondom het DNA ontstonden een kernmembraan, de celkern en het endoplasmatisch reticulum.

De eerste eukaryoten namen kleine aerobe, heterotrofe bacteriën op in hun cel. Deze ontwikkelden zich daar tot mitochondriën. Op dezelfde manier ontwikkelden ingesloten (autotrofe) cyanobacteriën zich tot chloroplasten. Beide organellen hebben een cirkelvormig DNA-molecuul. Dat wijst erop dat mitochondriën en chloroplasten ooit vrij levende bacteriën waren. Zowel mitochondriën als chloroplasten bezitten een dubbel membraan. De bouw van het binnenste membraan komt overeen met de bouw van het celmembraan van prokaryote organismen. De celdeling verloopt bij mitochondriën en chloroplasten (plastiden) op eenzelfde manier als bij prokaryoten.

Ook het feit dat het cytoplasma van planten en dieren zelf geen mitochondriën of chloroplasten kan vormen, pleit voor de endosymbiosetheorie. Als een plantaardige of dierlijke cel zich deelt, delen ook de mitochondriën en chloroplasten zich. De deling van deze organellen is niet geprogrammeerd vanuit het DNA in de celkern, maar vanuit het eigen cirkelvormige DNA-molecuul. Dit DNA lijkt in samenstelling meer op het DNA van de nu levende bacteriën, dan op het DNA in de celkern.

■ **Afb. 5** De endosymbiosetheorie (schematisch).

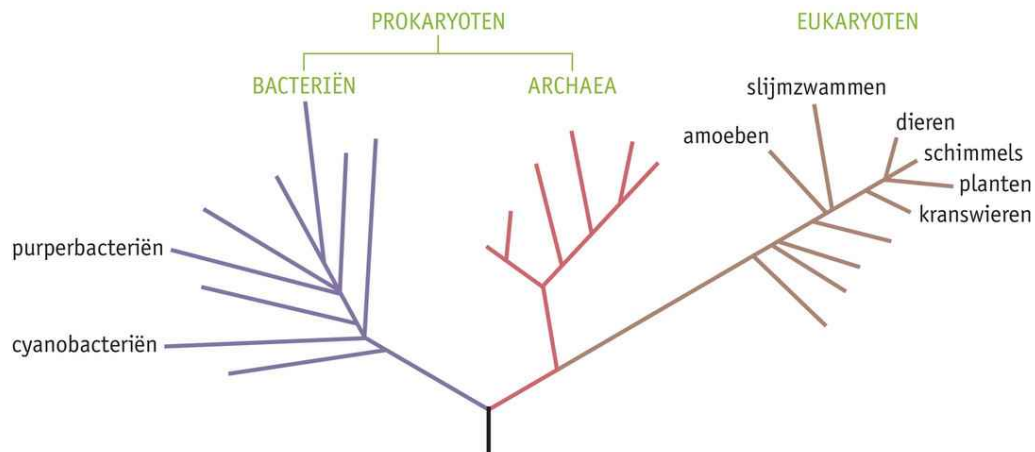


INDELING IN DOMEINEN

De ontwikkeling van levensvormen gedurende miljarden jaren heeft geleid tot een enorme **biodiversiteit**, een verscheidenheid aan organismen. Er zijn inmiddels ruim twee miljoen organismen beschreven. Schattingen van het aantal onbekende soorten lopen uiteen van tien tot honderd miljoen.

Met een goed ordeningssysteem kun je al die soorten en vormen bestuderen en overzicht houden. Taxonomen beschrijven, ordenen en benoemen groepen organismen. Systematici onderzoeken en beschrijven de (genetische) verwantschap van organismen op basis van gemeenschappelijke afstamming. Zij gebruiken daarvoor de uiterlijke kenmerken van organismen en cellen (morfologie) en moleculaire eigenschappen zoals de bouw van membranen, eiwitten en het erfelijk materiaal, onder andere DNA. De moleculaire eigenschappen zijn steeds vaker doorslaggevend bij het vaststellen van evolutionaire verwantschap. De inzichten over verwantschap tussen groepen zijn daardoor onderhevig aan verandering en discussie. Lange tijd werden alle organismen op basis van (microscopisch) zichtbare eigenschappen ingedeeld in vier rijken: bacteriën, schimmels, planten en dieren. Door vergelijking van de bouw van ribosomen bestaat de hoofdingeling van alle levensvormen nu uit drie domeinen: bacteriën, archaea en eukaryoten (zie afbeelding 6).

■ **Afb. 6** De drie domeinen.



PROKARYOTEN

De domeinen bacteriën en archaea bestaan uit eencelligen zonder celkern of andere door membranen begrensde organellen. Ze worden daarom tot de prokaryoten gerekend. Morfologische en anatomische kenmerken zijn voor een verdere indeling van de prokaryoten maar beperkt bruikbaar. De vormen van bacteriën verschillen weinig van elkaar. Microbiologen gebruiken daarom als indelingscriteria vooral de biochemische reacties in de cel, de bouw van het DNA en de bouw van de **celwand**.

Archaea kunnen overleven onder extreme milieuomstandigheden. Hun biochemie verschilt zoveel van andere vormen van leven dat zij als een apart domein worden beschouwd. Archaea zijn nauwer verwant aan de eukaryoten dan aan de bacteriën. De bouw van de celwand van bacteriën en archaea verschilt. Bepaalde vetten in het celmembraan van de archaea en de wijze waarop eiwitten worden gemaakt in de ribosomen komen meer overeen met eukaryoten.

EUKARYOTEN

Eukaryoten zijn organismen die in hun cellen een celkern hebben. Tot het domein van de eukaryoten behoren onder meer de schimmels, planten en dieren. De cellen van eukaryoten zijn complexer gebouwd dan die van prokaryoten. Schimmels en dieren hebben in hun cellen verschillende organellen, waaronder mitochondriën. Planten hebben daarnaast ook chloroplasten. Eukaryoten kunnen meercellig zijn. Cellen van dieren hebben geen celwanden, die van schimmels en planten wel. Schimmels en dieren zijn heterotroof. Organismen met **chlorofyl** (bladgroen), zoals planten, zijn autotroof. Bij planten bevindt het chlorofyl zich in de chloroplasten (bladgroenkorrels).

Moleculair onderzoek leidt tot nieuwe inzichten in de verwantschap van organismen. Daardoor delen systematici organismen soms in bij een andere groep of ze creëren zelfs nieuwe groepen of rangen. Aan het begin van deze eeuw werd het domein eukaryoten bijvoorbeeld verdeeld in drie rijken (dieren, planten en schimmels) en een restgroep van voornamelijk eencellige eukaryoten. De eukaryoten worden nu ingedeeld in een aantal 'supergroepen', waarbinnen de dieren, planten, schimmels en eencellige eukaryoten een nieuwe plaats hebben gekregen.

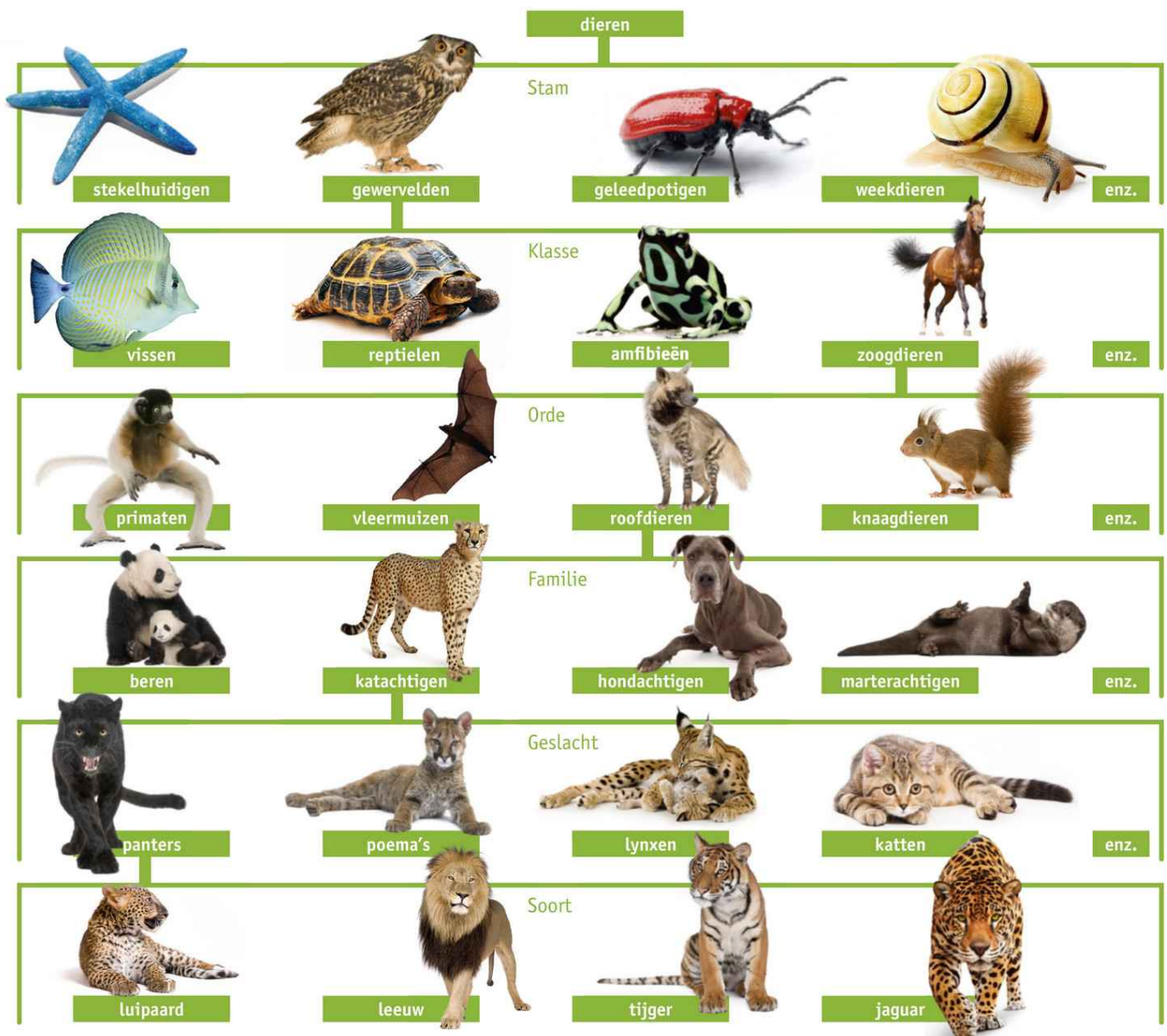
TAXONOMIE

Organismen worden ingedeeld in steeds kleinere groepen. Rijken worden onderverdeeld in stammen. Enkele voorbeelden van stammen van het dierenrijk zijn gewervelden, geleedpotigen en weekdieren. Een stam wordt verder ingedeeld in

klassen, orden, families, geslachten en soorten (zie afbeelding 7). Indelingsgroepen op verschillende niveaus noem je taxa (enkeltvoud: taxon). Een soort noem je ook wel species en een geslacht **genus** (meervoud: genera). Een **geslacht** bestaat uit soorten die zich uit eenzelfde voorouder hebben ontwikkeld. Een tijger bijvoorbeeld behoort tot de stam van de gewervelden, tot de klasse van de zoogdieren, tot de orde van de roofdieren, tot de familie van de katachtigen en tot het geslacht panter. Alle organismen die tot hetzelfde geslacht behoren, zijn nauwer aan elkaar verwant dan alle organismen die tot dezelfde stam behoren.

Soorten worden aangeduid met een wetenschappelijke naam. De Zweedse bioloog Carl Linnaeus heeft de wetenschappelijke naamgeving, ofwel binaire naamgeving, opgezet. Iedere soort kreeg een geslachtsnaam en een soortaanduiding. De geslachtsnaam staat voorop en wordt met een hoofdletter geschreven. De soortaanduiding komt daarachter en wordt met een kleine letter geschreven. Vaak staat er nog achter welke onderzoeker deze naam heeft gegeven. Een madeliefje bijvoorbeeld heeft als wetenschappelijke naam *Bellis perennis* L. De geslachtsnaam is *Bellis* en de soortaanduiding *perennis*. De L. staat voor Linnaeus, die het madeliefje deze wetenschappelijke naam gaf.

■ Afb. 7 De verdere indeling van het dierenrijk.



Opdrachten

KENNIS

- 4 Er is een enorme verscheidenheid aan levensvormen op aarde. Toch was de biodiversiteit in het verleden vele malen groter.
 - a Verklaar de afname van de biodiversiteit op aarde.
 - b Bekijk afbeelding 6.
Zijn bacteriën ontstaan uit archaea? Leg je antwoord uit met behulp van afbeelding 6.
- 5 Is het aantal soorten groter of kleiner dan het aantal geslachten? Leg je antwoord uit.
- 6 Heeft het DNA van dieren die tot hetzelfde geslacht behoren meer of minder overeenkomsten dan het DNA van dieren die tot dezelfde klasse behoren? Leg je antwoord uit.
- 7 Drie wetenschappelijke namen van organismen zijn: *Lepiota brunneolilacea*, *Lepiota josserandii* en *Russula emetica*.
Welke twee organismen zijn het meest verwant? Leg je antwoord uit.

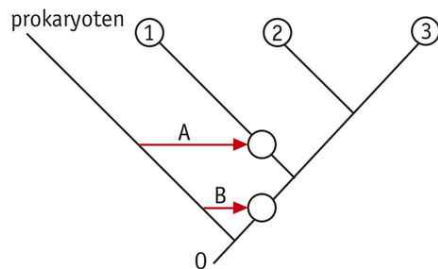
Opdrachten

INZICHT

- 8 Vier indelingscriteria zijn: celtype, aanwezigheid en bouw van de celwand, het aantal cellen en de voedingswijze.
 - a Leg met een voorbeeld uit dat je op grond van deze vier criteria niet altijd kunt vaststellen tot welk domein of tot welk rijk een organisme behoort.
 - b Leg met een voorbeeld uit dat deze vier criteria in sommige gevallen wel voldoende zijn om een organisme in te delen in de domeinen en de rijken.
- 9 Volgens de endosymbiosetheorie konden bepaalde organellen in oercellen ontstaan uit bacteriën die door deze oercellen werden opgenomen en de cel van bepaalde voordelen voorzagen.
 - a Noem een overeenkomst in de functie van mitochondriën en van chloroplasten in een cel.
 - b Noem een verschil tussen de functie van mitochondriën en van chloroplasten in een cel.
 - c Waarmee zal het buitenmembraan van chloroplasten en mitochondriën overeenkomen, als ze inderdaad zijn ontstaan volgens de endosymbiosetheorie?
- 10 Op Mars wordt onderzoek gedaan met behulp van robots. Onderzoekers proberen onder andere antwoord te krijgen op de vraag of er leven is of was op Mars. Een voorwaarde voor leven is de aanwezigheid van water, dat ooit op Mars aanwezig was. Voor het onderzoek nemen robots bodemonsters mee die worden geanalyseerd op de combinatie van koolstof, waterstof, stikstof, zuurstof, fosfor en zwavel. Deze elementen komen vaak voor in organische stoffen. Ze worden samen ook wel CHNOPS genoemd.
 - a Beredeneer waarom het aantreffen van vloeibaar water geen bewijs is dat er ooit leven op Mars is geweest.
 - b Leg uit waarom de combinatie CHNOPS in bodemonsters van Mars kan wijzen op leven.

- 11 In het schema van afbeelding 8 is O de oorsprong van het leven. De nummers 1, 2 en 3 stellen het tegenwoordige dierenrijk, plantenrijk en schimmelrijk voor. De letters A en B geven insluitingsprocessen uit de endosymbiosetheorie weer. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 94C.
- Stelt nummer 1 het plantenrijk of het dierenrijk voor? Beargumenteer je antwoord aan de hand van de processen die zijn aangegeven met de letters A en B.
 - Beredeneer dat een cel met mitochondriën een voordeel heeft door de opname van een fotosynthetiserende cel.

■ **Afb. 8** Schematisch overzicht van de ontwikkeling prokaryoten en eukaryoten.



- 12 De oeratmosfeer verschilt in samenstelling van de huidige atmosfeer. Welk verschil in de samenstelling is van groot belang voor de ontwikkeling van het leven op aarde? Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 30F en tabel 34.

📺 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Wetenschap

RUIMTESTEEN ALS OORSPRONG VAN LEVEN?

De Griekse filosoof Anaxagoras dacht zo'n 2500 jaar geleden dat je de oorsprong van het leven op aarde kon verklaren door kosmische panspermie. Dit concept houdt in dat leven door de hele kosmos heen bestaat en wordt verspreid door onder andere ruimtestof, meteorieten, asteroïden en kometen. Dit idee lijkt vrij onwaarschijnlijk, maar Japanse wetenschappers vonden het toch interessant genoeg om te onderzoeken.

De onderzoekers dachten niet dat ze levende organismen in ruimtesteen zouden vinden, maar mogelijk wel de bouwstenen voor levensvormen. Alle organismen op aarde worden 'gebouwd' aan de hand van erfelijke informatie die in het DNA van hun cel of cellen is te vinden. Een ander stofje, RNA, wordt gebruikt om de bouw van een organisme voor elkaar te krijgen op basis van de instructies in het DNA. DNA en RNA zijn elk opgebouwd uit ketens van vier stikstofbasen. In totaal worden daarvoor vijf verschillende stikstofbasen gebruikt. Hiermee worden de unieke reeksen van alle levensvormen op aarde gevormd.

De Japanse wetenschappers onderzochten het gruis van drie meteorieten (zie afbeelding 9) die in de vorige eeuw op Canadese, Amerikaanse en Australische bodem terechtkwamen. Met zeer gevoelige meetinstrumenten vonden ze alle vijf stikstofbasen. Twee daarvan, cytosine en thymine, kwamen in extreem kleine hoeveelheden voor, slechts een of enkele moleculen op een miljard andere deeltjes uit de meteoriet.

■ **Afb. 9** Een stukje van een meteoriet die een paar duizend jaar geleden in Argentinië terechtkwam.



Opdrachten

- 13
 - a Leg uit waarom volgens de tekst alle levensvormen aan elkaar verwant zijn.
 - b Welke stikstofbasen komen voor in DNA? En welke in RNA? Gebruik **BiNaS** tabel 71C en tabel 71A bij het beantwoorden van deze vraag.
 - c De hoeveelheid unieke reeksen in het erfelijke materiaal van organismen is haast oneindig. Alleen het DNA in menselijke cellen bevat al ongeveer drie miljard stikstofbasen die een reeks vormen. Hoeveel unieke DNA-reeksen zijn er mogelijk wanneer je slechts tien stikstofbasen opneemt in een reeks? Licht je antwoord toe.
 - d Sommige wetenschappers beweren dat de resultaten van de Japanse onderzoekers juist onderschrijven dat stikstofbasen niet alleen uit de ruimte komen. Op basis waarvan zouden deze wetenschappers dit beweren?
 - e Een van de theorieën over het ontstaan van leven is de theorie van de RNA-wereld. Die stelt dat het leven op aarde begon met RNA-moleculen die zichzelf vermeerderden. Welke vondst van de Japanse onderzoekers ondersteunt de theorie van de RNA-wereld? Gebruik **BiNaS** tabel 67H en tabel 71G bij het beantwoorden van deze vraag.

2 BACTERIËN, VIRUSSEN EN SCHIMMELS

LEERDOELEN

4.2.1 Je kunt kenmerken van bacteriën noemen.

4.2.2 Je kunt kenmerken van virussen noemen.

4.2.3 Je kunt kenmerken van schimmels noemen.

► Vaardigheden 5 en

7 (thema 1)

► Practicum 3

TAXONOMIE

LEERDOELEN EN OPDRACHTEN

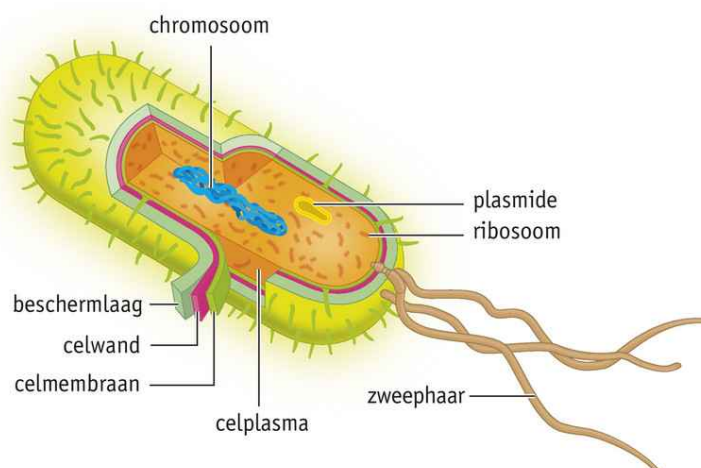
	4.2.1	4.2.2	4.2.3
Begrijpen	14, 15	16, 28a	17, 18
Toepassen	19, 22, 25	27, 28b	20
Analyseren	21, 24	26	23

Van sommige bacteriën, virussen en schimmels kun je ziek worden. Maar er zijn veel meer bacteriën en schimmels die nuttig zijn voor mensen. Je kunt ze bijvoorbeeld gebruiken bij de productie van voedingsmiddelen. Sommige virussen worden ingezet voor het bestrijden van schadelijke bacteriën.

ARCHAEA

De meeste archaea zijn zo klein dat ze alleen met een elektronenmicroscop goed zichtbaar zijn. Ze hebben geen kernmembraan. Archaea bevatten DNA en ribosomen (zie afbeelding 10). Aan de buitenzijde hebben ze een of meerdere **flagellen** (zweepstaart of zweephaar) voor de voortbeweging. Het domein archaea is klein; er zijn enkele honderden soorten bekend. Archaea worden wel extremofiel genoemd omdat ze vaak onder extreme omstandigheden worden aangetroffen, zoals in geisers en in zoutmeren. Maar vertegenwoordigers van de groep komen ook gewoon in de bodem voor en ze zijn zeer talrijk in de oceanen. In je darmen bevorderen archaea de vertering. Onder zuurstofarme omstandigheden produceren ze daar methaangas.

■ **Afb. 10** Archaeon (schematisch).



BACTERIËN

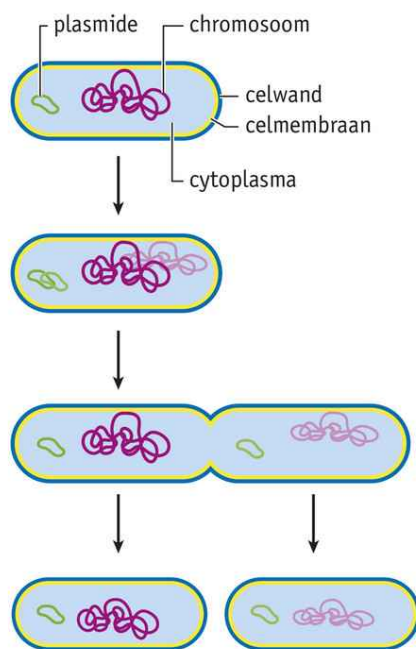
Bacteriën zijn ongeveer even klein als archaea. De kleinste bacteriën zijn ongeveer 1 µm groot (zie **BiNaS** tabel 78). Bij veel soorten bestaat het erfelijk materiaal uit één cirkelvormig chromosoom. Bij planten en dieren is elk chromosoom lineair, met een begin en een eind. Het DNA-molecuul ligt in een chromosoom spiraalsgewijs opgerold rond duizenden eiwitmoleculen. Bij bacteriën bevat een chromosoom geen eiwitmoleculen.

Sommige bacteriën hebben naast dit ene grote chromosoom ook **plasmiden**: kleinere cirkelvormige chromosomen. Op de plasmiden bevinden zich verschillende genen. Sommige van deze genen kunnen resistentie (ongevoeligheid) veroorzaken tegen bepaalde gifstoffen, bijvoorbeeld tegen antibiotica.

De meeste bacteriesoorten zijn heterotroof. Cyanobacteriën bevatten chlorofyl en zijn daardoor autotroof. Bacteriën komen in allerlei milieus voor, zowel in het water als op het land.

Bacteriën planten zich vooral ongeslachtelijk voort, door deling (zie afbeelding 11). Onder gunstige omstandigheden kunnen ze snel delen. Zoals bij alle organismen vindt voorafgaand aan de celdeling verdubbeling van het DNA plaats (DNA-replicatie). Bij bacteriën ontstaat daarbij echter geen spoelfiguur zoals bij eukaryoten. Elk van beide cirkelvormige DNA-moleculen zit op een bepaalde plaats vastgehecht aan het celmembraan. Daardoor ontvangt iedere dochtercel één chromosoom.

■ **Afb. 11** Deling bij prokaryoten.

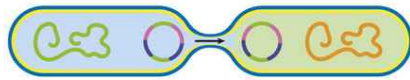


Bij bacteriën kan op verschillende manieren uitwisseling van genen plaatsvinden. Bacteriën kunnen DNA-fragmenten van een gestorven en uiteengevallen soortgenoot opnemen en gebruiken. Dit heet transformatie. De bacterie *Escherichia coli* komt bij mensen in de dikke darm voor. Deze bacterie kan een holle buis (pilum) vormen naar een soortgenoot (zie afbeelding 12). Een gerepliceerd plasmide gaat vervolgens via de buis van de ene naar de andere bacterie. Dit verschijnsel heet conjugatie. Bij transductie brengen virussen (bacteriofagen) DNA over van de ene bacterie naar de andere bacterie.

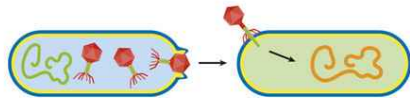
■ **Afb. 12** Manieren van DNA-uitwisseling tussen bacteriën.



- 1 transformatie: opname van DNA-fragmenten van een soortgenoot



- 2 conjugatie: opname van plasmide van de ene naar de andere bacterie



- 3 transductie: een bacteriofaag brengt DNA over van de ene naar de andere bacterie

BETEKENIS VOOR DE MENS

Bacteriën kunnen voor mensen en de natuur nuttig zijn. Bacteriën die melksuiker (lactose) omzetten in melkzuur, worden gebruikt bij de productie van yoghurt, kaas en zuurkool. Andere soorten bacteriën worden ingezet bij afvalwaterzuivering en bij de bestrijding van allerlei vormen van milieuverontreiniging. In de natuur ruimen heterotrofe bacteriën (en schimmels) de dode resten van organismen op. Ze zetten daarbij de organische stoffen van de dode resten om in anorganische stoffen.

Nadat het DNA van bacteriën door mensen is veranderd, kunnen ze onder andere wasmiddelenzymen, geneesmiddelen en hormonen produceren.

Er zijn ook schadelijke bacteriën die voedsel bederven en ziekten veroorzaken. Doordat onschadelijke bacteriën op je huid (huidflora) met in grote aantallen aanwezig zijn, vormen ze een natuurlijke bescherming tegen schadelijke bacteriën. Er is nauwelijks plaats voor schadelijke bacteriën. Ook je darmflora bevat veel nuttige bacteriën. Bij een verkeerde balans tussen nuttige en schadelijke bacteriën kunnen ontstekingen ontstaan. Tegen bacteriële infecties kun je antibiotica gebruiken, maar deze geneesmiddelen doden ook nuttige bacteriën. Daardoor kunnen ze ook de balans verstoren.

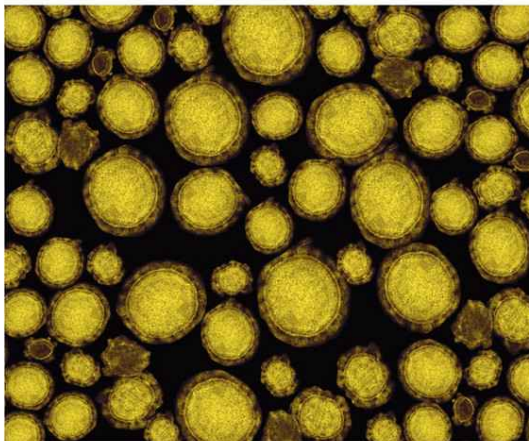
Cyanobacteriën (blauwalg) komen soms in zulke grote aantallen voor, dat het water een blauwgroene kleur heeft. Dat heet waterbloei. Een hoge dichtheid van blauwalg kan dodelijk zijn voor waterdieren en voor mensen die in dat water zwemmen.

VIRUSSEN

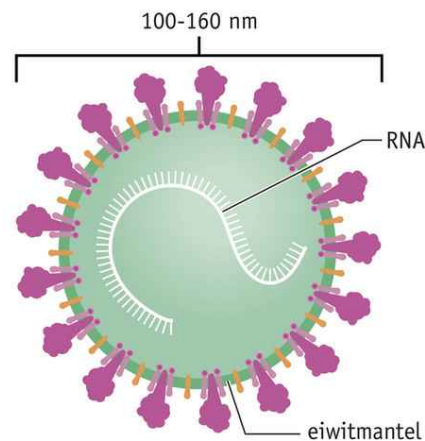
Een **virus** is erg klein: de grootste virussen zijn circa 0,1 μm groot. Dat is veel kleiner dan bacteriën. Virussen zijn alleen zichtbaar met een elektronenmicroscop (zie afbeelding 13.1). Virussen zijn geen organismen. Ze worden niet gezien als levend. Organismen bestaan uit cellen, virussen niet. Virussen hebben geen cytoplasma of kernplasma. In een geïsoleerd virus vinden geen stofwisselingsprocessen plaats. Een virus bestaat voor het grootste deel uit erfelijk materiaal: DNA in het geval van een **DNA-virus** en RNA in het geval van een **RNA-virus** (zie **BiNaS** tabel 77B). Bij alle virussen is dit molecuul omgeven door een **eiwitmantel** (capside) (zie afbeelding 13.2 en **BiNaS** tabel 77A). Virussen kunnen zich niet zelfstandig voortplanten, maar uitsluitend binnen specifieke gastheercellen. Dat kunnen bacteriën zijn of cellen van planten of dieren. Daardoor kan de gastheer ziek worden. Na infectie vermenigvuldigen de gastheercellen het virus. Afhankelijk van het type virus kan de gastheercel uiteindelijk openbarsten en komen de nieuwe virussen vrij (zie **BiNaS** tabellen 77C en 77D). De gastheercel gaat dan dood. Als de gastheercel niet openbarst, verliest hij zijn functie en wordt gebruikt om het virus te kunnen vermeerderen en af te snoeren. Een voorbeeld hiervan zijn witte bloedcellen die zijn geïnfecteerd met hiv.

Bij mensen worden, behalve griep, bijvoorbeeld ook COVID-19 en poliomyelitis (kinderverlamming) veroorzaakt door een virus.

■ **Afb. 13** Coronavirus.



1 afbeelding gemaakt met TEM

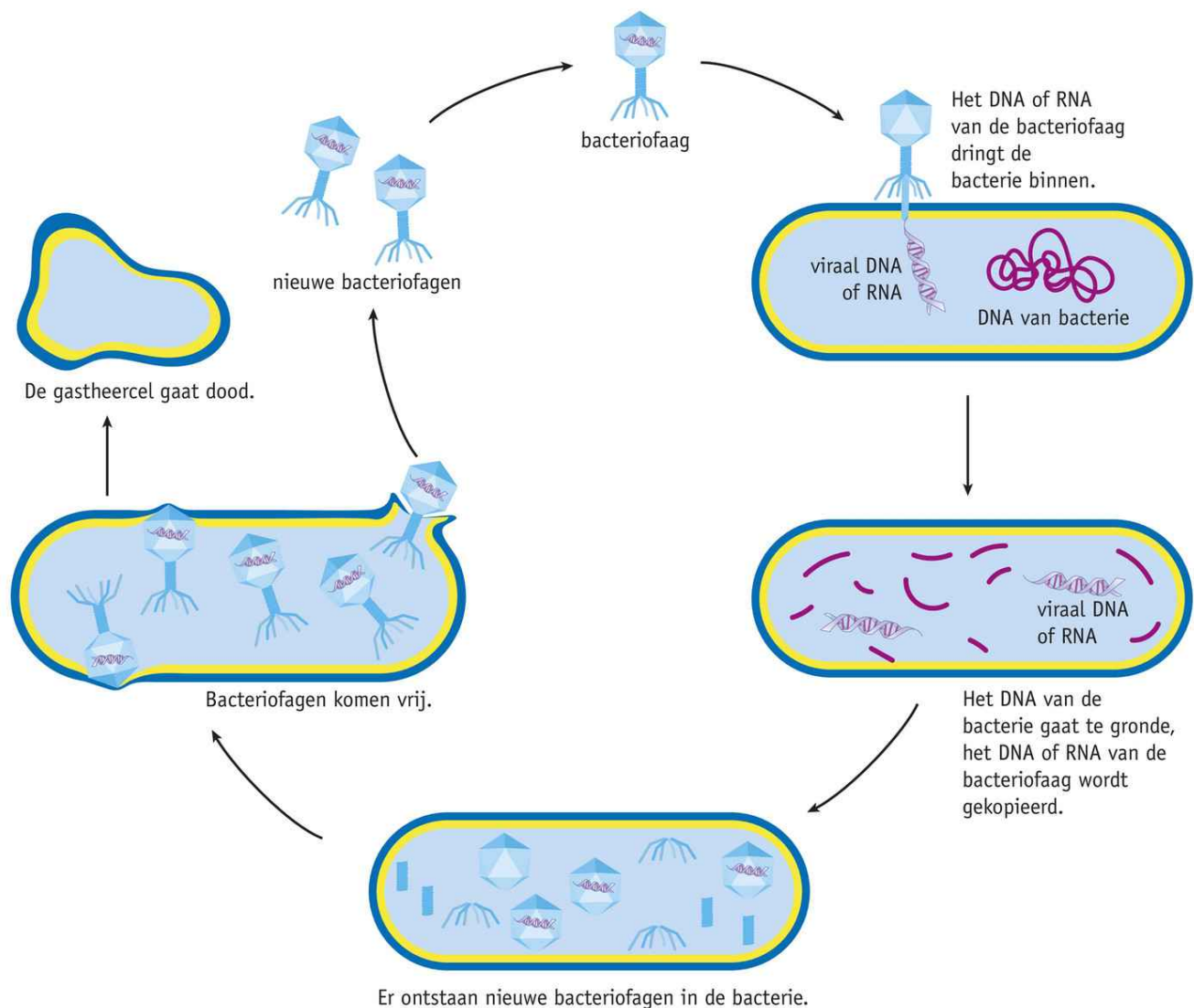


2 schematische weergave

BACTERIOFAGEN

Virussoorten die specifieke bacteriën als gastheer gebruiken, heten bacteriofagen. In afbeelding 14 zie je hoe een bacteriofaag een bacterie infecteert. Als de bacteriofaag terechtkomt op de bacterie, dringt het erfelijk materiaal van de bacteriofaag de bacterie binnen. Met behulp van enzymen van de bacterie of van de bacteriofaag ondergaat het erfelijk materiaal van de bacteriofaag replicatie. Door de ribosomen van de bacterie worden nieuwe capsiden gesynthetiseerd. Hierdoor ontstaan in de bacterie grote aantallen nieuwe bacteriofagen (veertig tot honderd per cel). De bacterie valt vervolgens uiteen. De vrijkomende bacteriofagen kunnen nieuwe bacteriën infecteren.

■ **Afb. 14** Voortplanting van een bacteriofaag in een bacterie (schematisch).



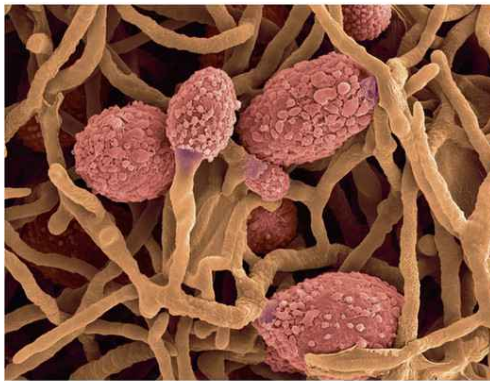
Opdrachten **KENNIS**

- 14 Waarom bederft voedsel in de koelkast minder snel dan bij kamertemperatuur?
- 15 De tyrannosaurus rex was een roofdinosaurus. Hij at andere dieren, waardoor er nog weleens stukken rottend vlees tussen zijn tanden bleven hangen. In dat rottende vlees kwamen onder meer bacteriën voor.
 - a Waarin onderscheiden bacteriën zich van de spiercellen, waaruit het vlees bestaat?
 - b Zijn deze bacteriën autotroof of heterotroof? Leg je antwoord uit.
 - c Verklaar hoe bacteriën eraan konden bijdragen dat een dier dat niet-dodelijk was gebeten door de tyrannosaurus rex, toch aan de verwondingen stierf.
- 16 Op welke manier kun je virussen, die niet schadelijk zijn voor mensen, gebruiken bij de bestrijding van bacteriën die mensen ziek kunnen maken?

SCHIMMELS

Schimmels vormen een van in totaal vier rijken die toebehoren aan het domein van eukaryoten (zie **BiNaS** tabel 78). Ze bezitten geen chlorofyl, zijn heterotroof en zijn belangrijk voor de afbraak van organische stoffen in de natuur tot anorganische stoffen, zoals voedingszouten. Gisten zijn eencellige schimmels. De celwanden van gisten en van de meeste schimmels bevatten chitine. Dat is een hoornachtige stof waaruit ook het uitwendige skelet van geleedpotigen grotendeels bestaat. Meercellige schimmels zijn meestal opgebouwd uit lange draden: de schimmeldraden of hyfen. De netwerken van hyfen zien er vaak pluizig uit. Zo'n netwerk heet een mycelium (zie afbeelding 15.1). Een beschimmelde boterham bijvoorbeeld bevat een of meer mycelia (zie afbeelding 15.2). Het grootste deel van het mycelium zit in de boterham. De hyfen scheiden enzymen af die de boterham verteren, waarna ze de voedingsstoffen kunnen opnemen.

■ **Afb. 15** Mycelium.



1 SEM van het mycelium en de sporen (voortplantingsstructuurtjes) van een schimmel



2 mycelium op een beschimmelde boterham

BETEKENIS VOOR DE MENS

Ook schimmels worden door de mens gebruikt bij de bereiding van voedingsmiddelen, bijvoorbeeld kaas en sojasaus. Bakkers voegen gist aan brooddeeg toe om het te laten rijzen. Gist wordt ook gebruikt voor de productie van alcohol in bier en wijn.

Net als bacteriën kunnen schimmels voedsel bederven. En sommige schimmelsoorten veroorzaken ziekten bij planten, dieren of mensen. Zo is zwemmerseczeem bij de mens een schimmelinfectie. Met behulp van schimmels kun je ook geneesmiddelen maken. Verschillende soorten penseelschimmels (*Penicillium*) produceren stoffen die als antibiotica worden gebruikt. Het antibioticum penicilline bijvoorbeeld bestrijdt bacteriële infecties doordat het bij bacteriën de vorming van celwanden verstoort.

Opdrachten **KENNIS**

- 17** In de bodem van bossen komen veel schimmels voor. Afgevalen takken die in het bos op de grond hebben gelegen, worden na een tijdje breekbaar en vallen gemakkelijk uit elkaar.
 - a** Leg uit hoe dit komt.
 - b** Planten hebben voedingszouten nodig voor hun groei.
Leg uit hoe de aanwezigheid van schimmels in het bos bijdraagt aan de plantengroei in het bos.

- 18** Gisten behoren tot het rijk van de schimmels. Gisten worden gebruikt voor de bereiding van bepaalde voedingsmiddelen. Zo wordt *Saccharomyces cerevisiae* (bakkersgist) gebruikt bij de bereiding van brood. Deze gist zet suikers in het deeg om in alcohol en koolstofdioxide, waardoor het deeg rijst.
- a** Als je deeg met bakkersgist een lange tijd laat staan, kun je met je blote oog geen gist zien. Laat je brood een lange tijd bij kamertemperatuur liggen, dan zie je wel schimmels. Leg uit hoe dit komt.
 - b** Leg uit of je een enkele gistcel of een enkele cel van een schimmel onder de microscoop van elkaar kunt onderscheiden.

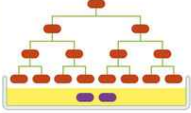
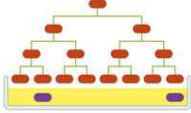
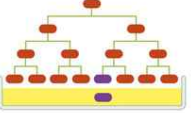
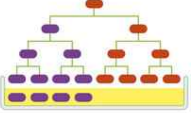
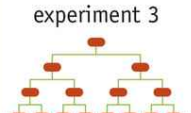
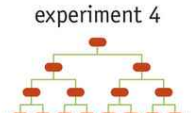
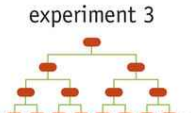
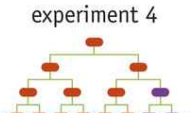
Opdrachten INZICHT

- 19** Een bacterie deelt zich iedere 20 minuten.
- a** Hoelang heeft een populatie van 100 bacteriën nodig om een grootte van meer dan 1 miljoen te bereiken als er geen bacteriesterfte optreedt?
 - b** In een startpopulatie van 100 bacteriën ontstaat in één bacterie een mutatie. De populatie ondergaat tien delingen. Verandert dan het percentage gemuteerde bacteriën door voortschrijdende delingen? Ga ervan uit dat de mutatie zich niet verspreidt via conjugatie of transformatie en dat de mutatie geen effect heeft op de celdeling of de overlevingskansen van de bacteriën.
- 20** Penicilline blokkeert het enzym dat peptidoglycaan vormt. Door het ontbreken van deze stof verzwakt de celwand van bacteriën. Hoewel schimmels ook celwanden rondom hun cellen hebben, tast penicilline deze niet aan. Verklaar hoe het komt dat de schimmelcellen ongevoelig zijn voor penicilline.
- 21** Krentenbaard is een besmettelijke huidinfectie die regelmatig voorkomt bij vooral jonge kinderen. De infectie wordt veroorzaakt door verschillende bacteriesoorten (stafylokokken of streptokokken) en zorgt meestal voor rode vlekken of bultjes rondom de neus en mond, vandaar de naam krentenbaard. Na besmetting met een relatief laag aantal stafylokokken kunnen symptomen zeer snel ontstaan. Leg uit hoe dit kan.
- 22** Bij bacteriën kan op verschillende manieren uitwisseling van genen plaatsvinden. Resistentie tegen antibiotica is een erfelijke eigenschap en kan van de ene bacterie op de andere bacterie worden overgebracht. Wat is in dit geval de meest waarschijnlijke manier van het uitwisselen van genen? Leg je antwoord uit.
- 23** Schimmels in de bodem breken organische stoffen af tot onder andere voedingszouten. Daarnaast kunnen schimmels voedingszouten langer vasthouden. Leg uit wat hiervan voor planten het voordeel is.

- 24** In afbeelding 16 lees je over een onderzoek naar het ontstaan van mutaties. Beantwoord de volgende vragen over dit onderzoek.
- Wanneer treden bij 'mogelijk resultaat 1' de mutaties op waardoor resistentie ontstaat?
 - Hoe kun je in het schema van 'mogelijk resultaat 2' zien dat sommige bacteriekolonies al resistent zijn voordat ze in aanraking zijn geweest met de bacteriofagen?
 - Wat zal de uitkomst zijn geweest van het experiment: resultaat 1 of 2?
 - Stel dat in een van de petrischalen zes van de acht kolonies al voorafgaand aan de infectie resistent waren.
Hoe zou het schema voor deze petrischaal er dan uitzien? Teken het schema.

Afb. 16 Onderzoek naar ontstaan van mutaties.

Onderzoek	Het ontstaan van resistentie bij bacteriën
Inleiding	Twee onderzoekers, Salvador Luria en Max Delbrück, onderzochten van 1940 tot 1943 bacteriofagen. Het bleek dat bacteriën soms resistent werden tegen deze virussen en dat die eigenschap erfelijk was. Nakomelingen van resistente bacteriën bleken ook resistent te zijn. Wanneer ontstond de resistentie? Werden de bacteriën resistent door de aanwezigheid van de bacteriofaag, of waren er al bacteriën resistent voordat ze in contact kwamen met het virus? Dit laatste zou erop wijzen dat mutaties toevallig optreden tijdens de reproductie (vermenigvuldiging) van de bacteriën.
Onderzoeksvraag	Ontstaat resistentie als reactie op een infectie of bestaat resistentie al voorafgaand aan infectie?
Hypothese	Resistentie treedt op door toevallige mutaties tijdens de vermenigvuldiging (reproductie) van de bacteriën voorafgaand aan infectie.
Experiment	<i>Verwachting</i> Als resistentie ontstaat als reactie op een infectie, zal het aantal resistente bacteriekolonies na iedere infectie ongeveer gelijk zijn. Als resistentie ontstaat door toevallige mutaties voorafgaand aan infectie, zal het aantal resistente bacteriekolonies bij iedere infectie sterk verschillen. <i>Werkplan</i> De onderzoekers kweekten vanuit niet-resistente bacteriën in een aantal stappen acht bacteriekolonies. In de eerste stap werd één bacteriekolonie gekweekt. Vanuit deze kolonie werden in de volgende stap twee kolonies gekweekt, daarna vier en ten slotte ontstonden er acht kolonies. Uit elke kolonie plaatsten ze een gelijke hoeveelheid bacteriën op een petrischaal die was geïnfecteerd met bacteriofagen. Vervolgens werd het aantal resistente bacteriekolonies op de petrischaal bepaald. Dit experiment herhaalden de onderzoekers vier keer.

	Hierna zijn schematisch twee mogelijke uitkomsten van het experiment weergegeven. De oranje delingen vinden plaats tijdens het kweken van de kolonies. De paarse rondjes stellen de resistente bacteriekolonies in de petrischaal voor.
Resultaten	mogelijk resultaat 1: experiment 1  experiment 2  mogelijk resultaat 2: experiment 1  experiment 2  experiment 3  experiment 4  experiment 3  experiment 4 
Conclusie	Resistentie treedt op door toevallige mutaties. De hypothese is juist.



25 Antibiotica gezocht!

Voorronde Biologie Olympiade 2020, vraag 16.

In de bodem komen veel soorten bacteriën en schimmels voor. Daaronder ook de actinomyceten. Dit zijn bacteriën die antibiotica produceren, waarmee ze vijandelijke bacteriën afweren. Vanwege hun pluizige uiterlijk werd vroeger gedacht dat actinomyceten schimmels waren. Ze vormen namelijk dezelfde lange, zich vertakkende draden als een schimmel.

Kenmerken van schimmels zijn: 1 eukaryoot, 2 aanwezigheid van een celwand, 3 aanwezigheid van ribosomen.

Welk van deze kenmerken geldt, of welke kenmerken gelden voor actinomyceten?



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Beroep

VIRUSSEN ALS MEDICIJN

Dr. Gabri van der Pluijm is wetenschapper en leidt een onderzoeksgroep die is betrokken bij onderzoek naar de bestrijding van kanker. Daarbij zet hij virussen in. Dit idee ontstond meer dan vijftig jaar geleden naar aanleiding van een artikel in het gerenommeerde wetenschappelijke tijdschrift *The Lancet*. Dat artikel beschreef hoe een Oegandees jongetje met een lymfekliertumor rond zijn rechteroog op miraculeuze wijze genas. De genezing viel samen met een infectie van het mazelenvirus. Wetenschappers vroegen zich toen af of het mazelenvirus ervoor heeft gezorgd dat de tumor verdween.

Dit idee staat bekend als virotherapie: het gebruik van virussen om ziekten te behandelen. De virussen die Van der Pluijm gebruikt, infecteren specifiek de tumorcellen en laten andere cellen met rust. Nadat de tumorcellen zijn geïnfecteerd, zorgt het virus ervoor dat de cellen virusdeeltjes vormen, waarna de cellen knappen. Daarbij komen niet alleen de virusdeeltjes vrij, maar ook tumoreiwitten. Dit blijft niet onopgemerkt voor het menselijke immuunsysteem, dat wordt geactiveerd om virusdeeltjes én tumorcellen aan te vallen en te vernietigen.

Van der Pluijm gebruikt onder andere een soort gorilla-verkoudheidsvirus dat nog relatief onbekend is voor het menselijk afweersysteem. Daardoor wordt het virus niet direct na toediening aan een patiënt

door het afweersysteem aangevallen en kan het dus zijn werk doen als 'kankermedicijn'.

Van der Pluijm houdt zich naast onderzoek ook bezig met het schrijven van wetenschappelijke artikelen, het aanvragen van subsidies, het begeleiden van jonge wetenschappers en het geven van onderwijs en lezingen.

■ Afb. 17 Dr. Gabri van der Pluijm.



Opdrachten

- 26 De tumorcellen worden door de virotherapie van Gabri van der Pluijm als het ware tijdelijke virusfabriekjes. Dit zorgt voor het verkleinen van het tumorweefsel.
 - a Waardoor neemt het tumorweefsel in omvang af?
 - b Noem een voorwaarde waaraan het virus moet voldoen om geschikt te zijn voor dit onderzoek.
- 27 Leg uit dat je virotherapie in dit geval ook als een vorm van immunotherapie (therapie die het immuunsysteem versterkt) kunt zien.
- 28
 - a Over welke vaardigheid moet een onderzoeker beschikken om een onderzoek te kunnen bekostigen?
 - b Zou dit werk iets voor jou zijn? Licht je antwoord toe.

3 DE EVOLUTIETHEORIE

LEERDOEL

4.3.1 Je kunt uitleggen wat de neodarwinistische evolutietheorie inhoudt.

- Vaardigheid 7 (thema 1)
- Practicum 4

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	4.3.1
Begrijpen	29, 30, 31, 40
Toepassen	32, 33, 34, 35a, 38a, 41, 42
Analyseren	35b, 36, 37, 38b, 39, 43

In de loop van miljarden jaren zijn levensvormen op aarde ontstaan, veranderd en verdwenen. De reizen van Charles Darwin op het schip de Beagle leidden tot een revolutie in de ideeën over de ontwikkelingsgeschiedenis van het leven.

ONTSTAANTHEORIE: EVOLUTIE

De meeste biologen zijn ervan overtuigd dat de levensvormen op aarde in de loop van zeer lange tijd zijn ontstaan en veranderd. Deze geleidelijke ontwikkeling noem je evolutie. De evolutietheorie is in de negentiende eeuw ontwikkeld. Tot die tijd dachten veel biologen dat de soorten organismen die op aarde leefden altijd zo hadden bestaan.

De Fransman Jean de Lamarck stelde in de achttiende eeuw een theorie over evolutie op. Hij was een van de eersten die geloofden in geleidelijke verandering van soorten. De lange nek van de giraf verklaarde hij bijvoorbeeld doordat het dier zijn nek voortdurend moest strekken om bladeren van bomen te eten (zie afbeelding 18). Daardoor zou de nek tijdens het leven iets langer worden. Elke generatie giraffen zou de grotere nek lengte doorgeven aan de volgende generatie.

In de tijd van De Lamarck was nog niet bekend dat tijdens het leven verworven eigenschappen de samenstelling van **genen** niet veranderen en dus niet aan de nakomelingen kunnen worden doorgegeven. Volgens nieuwe inzichten van de **epigenetica** kunnen **milieufactoren** wel de genexpressie van organismen beïnvloeden. **Genexpressie** is het tot uiting komen van genen in het **fenotype**. Genen die aanstaan, kunnen hierdoor worden uitgezet, en andersom. Deze verandering in genexpressie kan worden doorgegeven aan de nakomelingen. De genexpressie is omkeerbaar als de milieuomstandigheden veranderen.

■ **Afb. 18** Evolutie volgens De Lamarck.



De evolutietheorie van De Lamarck is vervolgens door verschillende onderzoekers verder ontwikkeld. De bekendste is Charles Darwin. Zijn boek *On the origin of species* uit 1859 betekende de doorbraak van de evolutietheorie. Toch werd Darwin door veel tijdgenoten belachelijk gemaakt vanwege zijn ideeën, vooral vanwege het idee dat de mens een gemeenschappelijke voorouder deelt met de mensapen. De ideeën van Darwin zijn later door andere onderzoekers uitgewerkt. De grondgedachten zijn nog steeds terug te vinden in de huidige evolutietheorie: de neodarwinistische evolutietheorie of het neodarwinisme.

NEODARWINISTISCHE EVOLUTIETHEORIE

De evolutietheorie verklaart hoe de erfelijke eigenschappen van populaties kunnen veranderen en hoe nieuwe soorten kunnen ontstaan. Organismen die het best zijn aangepast aan de leefomgeving hebben de meeste kans om te overleven. Dit verschijnsel heet **natuurlijke selectie** of *survival of the fittest*. De best aangepaste organismen kunnen zich voortplanten en geven vervolgens hun genen door aan hun nakomelingen.

Natuurlijke selectie is mogelijk doordat de organismen van een populatie een grote **genetische variatie** (verschillen in **genotypen**) hebben. Die variatie is het gevolg van recombinatie en mutaties.

- **Recombinatie** (het herverdelen van erfelijke eigenschappen) vindt plaats door **meiose** en **geslachtelijke voortplanting**. Hierdoor ontstaat bij bevruchting een nieuw genotype.
- **Mutaties** zijn veranderingen in de genen, die bijvoorbeeld kunnen plaatsvinden doordat er 'foutjes' ontstaan tijdens het kopiëren van chromosomen. Gemuteerde genen kunnen in voortplantingscellen terechtkomen en worden doorgegeven aan nakomelingen.

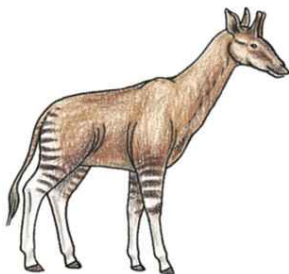
Door recombinatie en mutatie ontstaan verschillen in genotype en in fenotype. Door natuurlijke selectie hebben organismen met een slecht aangepast fenotype een kleinere **overlevingskans** en daardoor geen of minder kans om nakomelingen te krijgen en hun genen door te geven. Genetische variatie en natuurlijke selectie leiden ertoe dat de erfelijke eigenschappen van populaties kunnen veranderen.

Een geleidelijke verandering van een soort komt dus tot stand door:

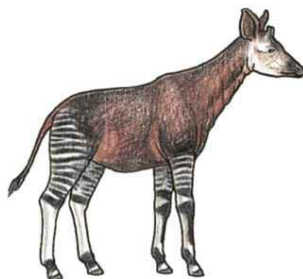
- 1 genetische variatie die is ontstaan door mutatie en recombinatie
- 2 natuurlijke selectie, waarbij de best aangepaste organismen overleven
- 3 voortplanting, waarbij de gunstige eigenschappen aan nakomelingen worden doorgegeven

Het is bijvoorbeeld mogelijk dat mutaties bij de voorouders van giraffen een variatie in de nek lengte hebben veroorzaakt. Een giraf met een iets langere nek kan dan in het voordeel zijn, doordat hij meer kan eten als er alleen hoog aan de bomen nog bladeren groeien. Bij concurrentie om voedsel heeft hij een grotere overlevingskans dan giraffen met de oorspronkelijke nek lengte. Door een opeenvolging van mutaties, recombinatie en natuurlijke selectie en het doorgeven van de gunstige eigenschappen aan hun nakomelingen, kunnen de huidige giraffen met lange hals zijn ontstaan (zie afbeelding 19).

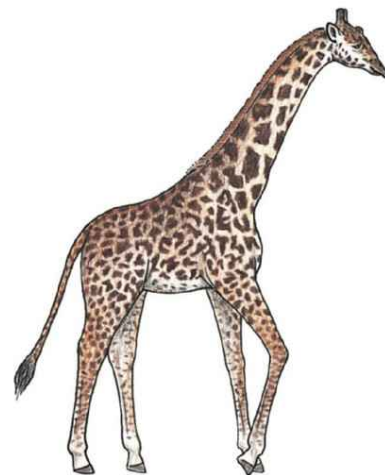
■ Afb. 19 De evolutie van giraffen.



1 *Decennatherium rex*, voorouder van de okapi en de giraf



2 okapi, de enige huidige verwant van de giraf



3 giraf

Door het optreden van recombinitie en mutaties wordt de genetische variatie binnen een populatie groter. De milieufactoren bepalen wat er met de verschillende genotypen en fenotypen in een populatie gebeurt. De invloed van milieufactoren op de genetische variatie in een populatie noem je **selectiedruk**. Is de selectiedruk laag, dan blijven veel verschillende varianten in leven. Als er bladeren in overvloed zijn, zullen ook de giraffen met de oorspronkelijke nek lengte in leven blijven en zich voortplanten. Maar als de selectiedruk hoog is, bijvoorbeeld in een droog jaar, zullen individuen met de oorspronkelijke nek lengte eerder sterven door voedselgebrek. De best aangepaste individuen zijn in dit geval de giraffen met de langste nek en zij hebben een grotere kans op meer nakomelingen. Dit zijn de dieren met de grootste **fitness** of **voortplantingssucces**. Onder de nakomelingen komt dan het genotype voor een langere nek vaker voor. De soort is dan geëvolueerd.

Als de genetische variatie in een populatie groot is, zullen enkele individuen een genotype bezitten dat een goede **adaptatie (aanpassing)** aan nieuwe milieumomstandigheden mogelijk maakt. Bij een besmetting met een onbekende ziekteverwekker bijvoorbeeld, is de kans groot dat enkele individuen de genen bezitten die een goede afweer mogelijk maken. Zij zorgen voor het voortbestaan van de populatie. Een populatie met een grotere genetische diversiteit heeft dus een grotere overlevingskans.

CREATIONISME

Naast de evolutietheorie is er een opvatting over het ontstaan van leven: het creationisme. Creationisten baseren zich op de uitleg van de Bijbel, Koran of Thora, waarin staat beschreven hoe de aarde en alle organismen zijn geschapen.

Opdrachten KENNIS

- 29 De evolutietheorieën van De Lamarck en Darwin geven beide een verklaring voor de geleidelijke veranderingen van fenotype binnen een soort. Omdat de veranderingen geleidelijk optreden, is er tijd nodig en evolutie is dan ook iets wat op een lange tijdschaal plaatsvindt.
Welke evolutietheorie, van De Lamarck of Darwin, veronderstelt dat de aarde ouder is? Verklaar je antwoord.
- 30 a Waarom spelen mutaties een belangrijke rol in de evolutie?
b Waarom zorgt selectiedruk voor *survival of the fittest*?
- 31 Bij dieren is het aantal nakomelingen per legsel (eierleggende dieren) of worp (levendbarende dieren) een van de factoren die van invloed zijn op de fitness. Geef nog twee andere factoren die de fitness bij dieren kunnen beïnvloeden.

Opdrachten INZICHT

- 32 Op de eilanden van Nieuw-Zeeland kwamen in het verleden geen op de grond levende roofdieren voor. Op die eilanden ontstonden door evolutie allerlei loopvogelsoorten uit vliegende vogelsoorten.
Leg uit hoe door natuurlijke selectie het vermogen om te vliegen bij deze vogels verloren kan zijn gegaan.
- 33 Dolfijnen zijn afstammelingen van de *Indohyus* (zie afbeelding 20.1). Dit was een landzoogdier dat zo'n vijftig miljoen jaar geleden in het water ging leven. In de loop der jaren ontwikkelde zich bij de voorouders van de dolfijn de staart, waardoor huidige dolfijnen een staartvin bezitten (zie afbeelding 20.2).
a Leg uit wat het voordeel van deze staartvin was.
b Leg uit hoe de staartvin in de loop van de evolutie steeds groter is geworden.

■ Afb. 20 Evolutie van de dolfijn.



1 Indohyus



2 Dolfijn

- 34 Welke diersoort is in de voedselkeuze het meest veranderd ten opzichte van de gemeenschappelijke voorouder: de giraffe of de okapi?
- 35 Bij sommige diersoorten komt camouflage voor. De huid of het pantser heeft dan een schutkleur (zie afbeelding 21). In een populatie dieren met schutkleur komen regelmatig mutanten met afwijkende kleuren voor.
a Hebben deze mutanten een grotere of een kleinere overlevingskans dan dieren met schutkleur, als het milieu onveranderd blijft?
b Leg uit dat voor het voortbestaan van de soort het toch van belang is dat er regelmatig mutanten met afwijkende kleuren blijven voorkomen.

■ **Afb. 21** Schutkleur van een wandelend blad
(*Phyllium letiranti*).



- 36** Er zijn aanwijzingen dat een meteoriet ter grootte van de grootste berg op aarde zo'n 65 miljoen jaar geleden insloeg ter hoogte van de golf van Mexico. De stofwolk maakte de aardse atmosfeer ondoordringbaar voor zonlicht. Dat zorgde er waarschijnlijk voor dat fotosynthese tot bijna een jaar na de inslag vrijwel onmogelijk was. Een aanzienlijk deel van het plantenleven op aarde ging verloren.
- a Beredeneer welke selectiedruk ervoor zorgde dat vele diersoorten in die tijd uitstierven.
 - b Verklaar waardoor ook diersoorten die een relatief grote massa hadden, een grotere kans op uitsterven hadden.
- 37** Enkele miljoenen jaren geleden veranderde het klimaat in Afrika, waardoor dichtbegroeide bossen veranderden in open savannes.
Leg uit dat dit een voordeel was voor mensachtigen.
- 38** MRSA is een huidbacterie waar mensen normaal gesproken geen last van hebben. MRSA staat voor meticilline-resistente *Staphylococcus aureus*. De bacterie is ongevoelig (resistent) voor een behandeling met meticilline. Dit is een bepaald type antibiotica dat vaak wordt gebruikt om bacteriën te doden. MRSA wordt ook wel ziekenhuisbacterie genoemd, omdat deze bacterie vooral in ziekenhuizen uitbraken veroorzaakt. In Nederland wordt relatief weinig antibiotica gebruikt en komt MRSA niet veel voor.
- a Hoe zorgt het gebruik van antibiotica ervoor dat het aandeel MRSA-bacteriën steeds verder toeneemt?
 - b Een onderzoek uit Denemarken en Zweden laat zien dat MRSA-bacteriën veel voorkomen op egels in de vrije natuur. Diezelfde egels dragen op hun huid een schimmel, *Trichophyton erinacei*, die een eigen antibioticum produceert. De onderzoekers vermoeden dat de langdurige samenleving van de bacterie met die schimmel, op de huid van de egel, ertoe heeft geleid dat de resistente bacterie is ontstaan. Waarom zou een langdurige samenleving tussen bacterie en schimmel belangrijk zijn in het ontstaan van een antibioticum-resistente bacterie?
- 39** In 2006 werd Knut, het jong van een ijsbeer in de Berlijnse dierentuin, kort na de geboorte door zijn moeder verstoten. Knut werd vervolgens door een dierenverzorger in leven gehouden, maar overleed op vierjarige leeftijd alsnog aan de gevolgen van een zeldzame auto-immuunziekte. Het is niet ongebruikelijk dat een moederdier haar jong doodt of verstoot, wanneer er met het jong iets mis is.
Leg uit wat het evolutionaire voordeel van dit gedrag is.

Context Leefwereld

EVOLUTIE VAN WARMBLOEDIGHEID

Meer dan 200 miljoen jaar geleden heeft zich bij dieren een eigenschap ontwikkeld die grote gevolgen had voor het dierenrijk: warmbloedigheid. Recentelijk hebben wetenschappers aangetoond dat deze eigenschap is ontstaan bij de voorouders van zoogdieren. Dit waren vermoedelijk cynodonten, een soort vroege ratten (zie afbeelding 22). Tegenwoordig komt warmbloedigheid voor bij zoogdieren, vogels en één vis. Het voordeel van het lichaam om zijn eigen lichaamswarmte te produceren is dat je niet afhankelijk bent van de buitentemperatuur. Kikkers, hagedissen of slangen kunnen pas in actie komen als de buitenlucht voldoende is opgewarmd. Warmbloedigen hoeven zich niet eerst op te warmen in de zon om in actie te kunnen komen. Deze eigenschap heeft een evolutionair voordeel, want vogels en zoogdieren komen overal op aarde voor in nagenoeg elk ecosysteem.

Maar hoe ontdek je nu dat warmbloedigheid zich meer dan 200 miljoen jaar geleden heeft ontwikkeld? Lichaamstemperatuur kun je immers niet in fossielen aflezen. Of toch wel? Wetenschappers kwamen daarvoor met een slim argument. Zij beredeneerden dat warmbloedige dieren beweeglijker zijn dan koudbloedige. Die beweeglijkheid moet je terug

kunnen zien aan het evenwichtsorgaan, dat balans en bewegingen registreert. Hun redenatie was dat bij het ontstaan van warmbloedigheid ook het evenwichtsorgaan veranderde.

De onderzoekers bogen zich over talloze gefossiliseerde binnenoren, waaronder tientallen binnenoren van de voorouders van zoogdieren. Zodoende konden ze achterhalen wanneer de overgang van koud- en warmbloedigen precies plaatsvond.

■ **Afb. 22** Replica van een cynodont, de vermoedelijke voorouder van de zoogdieren uit het trias.



Opdrachten

- | | |
|---|--|
| <p>40 De eigenschap warmbloedigheid is honderden miljoenen jaren geleden plotseling ontstaan. Welk proces heeft hiervoor gezorgd?</p> <p>41 Warmbloedigheid heeft veel voordelen. Geef drie voorbeelden.</p> <p>42 Aan warmbloedigheid zitten ook enkele nadelen. Geef een nadeel.</p> | <p>43 In de tijd dat sommige dieren overgingen tot een warmbloedig bestaan, kwamen er in dezelfde periode ook andere ontwikkelingen bij dieren tot stand, zoals een vacht, verendek en snorharen.</p> <p>a Leg uit wat het voordeel is van een vacht of een verendek voor een warmbloedig dier.</p> <p>b Met snorharen kunnen dieren in het donker hun omgeving waarnemen. Waarom hebben snorharen zich juist bij sommige warmbloedigen ontwikkeld?</p> |
|---|--|

4 EVOLUTIE IN POPULATIES

LEERDOEL

4.4.1 Je kunt uitleggen hoe allelen in een populatie overerven.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	4.4.1
Begrijpen	44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53
Toepassen	54, 56, 58, 59a, 63, 64, 65
Analysen	55, 57, 59b, 60, 61, 62, 66

Volgens de evolutietheorie kunnen de erfelijke eigenschappen van soorten en populaties veranderen onder invloed van het milieu. Als dat zo is, moet die verandering in een populatie ook op microniveau zichtbaar zijn.

SOORT EN POPULATIE

Organismen die veel op elkaar lijken, hoeven niet tot dezelfde soort te behoren. Een Indische en een Afrikaanse olifant bijvoorbeeld, behoren tot verschillende soorten (zie afbeelding 23).

■ **Afb. 23** Verschillende soorten.



1 Indische olifant (*Elephas maximus*)



2 Afrikaanse olifant (*Loxodonta africana*)

Een veelgebruikte omschrijving van een **soort** is: organismen behoren tot dezelfde soort als ze in staat zijn zich onderling voort te planten en daarbij vruchtbare nakomelingen voort te brengen. Een Indische en een Afrikaanse olifant bijvoorbeeld, krijgen bij kruising geen vruchtbare nakomelingen.

Maar er zijn twijfelgevallen. Soms is slechts een deel van de nakomelingen vruchtbaar en een ander deel onvruchtbaar. Als je bijvoorbeeld een paard met een ezel kruist, ontstaat een muildier (als de moeder een paard is) of een muilezel (als de moeder een ezel is, zie afbeelding 24). Vrouwelijke muildieren of muilezels zijn vruchtbaar, maar mannelijke muildieren of muilezels zijn onvruchtbaar.

■ **Afb. 24** Een muilezel.



Een soort bestaat uit een of meer populaties. Een **populatie** bestaat uit een groep individuen van dezelfde soort die leven in een bepaald gebied en zich onderling voortplanten. Populaties van dezelfde soort kunnen door natuurlijke barrières van elkaar zijn gescheiden, bijvoorbeeld door een bergkam, een rivier of een zee. Als twee individuen van een populatie zich geslachtelijk voortplanten, wisselen ze genen uit. Twee verschillende populaties wisselen alleen in bijzondere gevallen genen uit. Dat kan als er bijvoorbeeld individuen uit een populatie wegtrekken naar een andere populatie of als een natuurlijke barrière tussen twee populaties wegvalt, waardoor één populatie ontstaat. Het verschijnsel dat tussen twee populaties van dezelfde soort uitwisseling van genen plaatsvindt, heet **gene flow**.

De meeste soorten bestaan uit zeer veel populaties. Een betere omschrijving van het begrip soort is dan ook: de grootste verzameling van populaties waartussen gene flow plaatsvindt of kan plaatsvinden. Een pronkrug en een teckel (zie afbeelding 25) lijken op het eerste gezicht niet echt op elkaar, maar worden wel tot dezelfde soort gerekend. Het zijn twee verschillende rassen van de soort hond. Beide honden verschillen te veel in grootte om zich op natuurlijke wijze te kunnen voortplanten. Een pronkrug en een teckel kunnen wel paren met honden van tussenliggende grootte. De nakomelingen van deze kruisingen kunnen op hun beurt paren met pronkruggen en teckels. Zo kunnen de genen van beide hondenrassen op een natuurlijke wijze worden uitgewisseld. Bij een paard en een ezel daarentegen blijft de uitwisseling van genen beperkt tot één generatie.

■ **Afb. 25** Dezelfde soort: links een pronkrug (*Canis familiaris*) en rechts een teckel (*Canis familiaris*).



CONSTANTE ALLELFREQUENTIES

In een populatie komen veel verschillende genotypen voor. De verzameling van alle genen in een populatie is de **genenpool** van die populatie. Tot de genenpool behoren alle **allelen** van alle individuen van een populatie. De omvang van de genenpool is een maat voor de genetische variatie in een populatie. Als in een populatie van een bepaalde eigenschap maar één allel voorkomt, kan er geen natuurlijke selectie met betrekking tot dit allel plaatsvinden. De **allelfrequentie** geeft aan hoe vaak een allel in de populatie voorkomt. De allelfrequentie ligt tussen de waarden 0 en 1.

Als er geen enkele vorm van selectiedruk optreedt, worden de allelen op een willekeurige manier doorgegeven aan de nakomelingen. De kans dat een bepaald allel wordt doorgegeven aan de volgende generatie, hangt dan uitsluitend af van de allelfrequentie in de voorafgaande generatie. Binnen een (grote) populatie blijven daardoor de allelfrequenties door de generaties heen constant. Deze wetmatigheid wordt de **regel van Hardy-Weinberg** genoemd en kan gemakkelijk worden afgeleid (zie **BiNaS** tabel 93D3).

Stel, van een gen in een populatie komt allel A met allelfrequentie p voor en allel a met allelfrequentie q . Meer allelen zijn er niet van dit gen, dus geldt: $p + q = 1$. Bij de bevruchting kunnen gameten (geslachtscellen) de volgende combinaties vormen:

- $A \times A \rightarrow AA$
- $A \times a \rightarrow Aa$
- $a \times A \rightarrow aA$
- $a \times a \rightarrow aa$

De frequentie waarmee elke combinatie voorkomt, vind je door de allelfrequentie van beide allelen met elkaar te vermenigvuldigen:

	p (A)	q (a)
p (A)	p^2 (AA)	pq (Aa)
q (a)	pq (Aa)	q^2 (aa)

In de populatie is het totaal aan genotypen in de volgende generatie:

$p^2 + 2pq + q^2 = 1$, waarbij geldt:

- p^2 = de frequentie van AA
- $2pq$ = de frequentie van Aa
- q^2 = de frequentie van aa

Als deze nieuwe generatie gameten maakt, kun je uitrekenen welk deel van de gameten allel A bevat. Dat zijn alle allelen van AA (frequentie p^2) en de helft van de allelen van Aa (frequentie $2pq$).

$$\begin{aligned}
 p^2 + \frac{1}{2}(2pq) &= \\
 p^2 + pq &= \\
 p(p + q) &= \\
 p \quad (\text{want } p + q = 1)
 \end{aligned}$$

Op dezelfde manier kun je uitrekenen dat de allelfrequentie van allel a in deze gameten weer q is. De allelfrequenties blijven gelijk, ongeacht of een allel dominant of recessief is.

Niet alle allelfrequenties in een populatie kun je direct bepalen. Aan het fenotype is namelijk niet te zien of een individu **homozygoot** of **heterozygoot** is. Je kunt wel het percentage individuen vaststellen waarbij het recessieve kenmerk in het fenotype tot uiting komt. Hieruit kun je de allelfrequentie berekenen met de regel van Hardy-Weinberg (de frequentie van aa = q^2).

Opdrachten **KENNIS**

- 44 Zijn de suikereekhoorn (*Petaurus breviceps*) en een vliegende eekhoorn (*Pteromys volans*) verschillende rassen van dezelfde soort? Leg je antwoord uit.
- 45 De bevolking van Nederland bestaat uit bijna achttien miljoen mensen. Door onder andere immigratie heeft een deel van de bevolking een andere etnische achtergrond.
- Leg uit of je bij deze achttien miljoen mensen kunt spreken over een populatie.
 - Zal deze populatie van achttien miljoen mensen in een Hardy-Weinberg-evenwicht verkeren? Licht je antwoord toe.
- 46 Een ezelin wordt geplaatst bij een populatie paarden.
- Zal het plaatsen van de ezelin leiden tot een gene flow?
 - Een ezelin krijgt van verschillende hengsten nakomelingen. Verandert de genenpool binnen de paardenpopulatie? Leg je antwoord uit.
- 47 Zal door gene flow de genenpool eerder groter of kleiner worden? Licht je antwoord toe.
- 48 Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.
Een populatie is in een Hardy-Weinberg-evenwicht. In deze populatie komen twee allelen van een bepaald gen voor: B en b. De allelfrequentie van B is 0,7.
- Wat is de frequentie van allel b?
 - Wat is de frequentie van homozygote recessieve individuen?
- 49 Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.
Een populatie is in een Hardy-Weinberg-evenwicht. In deze populatie vertoont 16% van de individuen het recessieve fenotype.
- Wat is de frequentie van het recessieve allel in de populatie?
 - Wat is de frequentie van het dominante allel in de populatie?

VERANDERENDE ALLELFREQUENTIES

De regel van Hardy-Weinberg geldt alleen als geen andere factoren dan de allelfrequenties van de vorige generatie de allelfrequenties beïnvloeden. Bij vrijwel alle populaties en genen zijn er wel andere beïnvloedende factoren, waardoor allelfrequenties kunnen veranderen. Onder invloed van natuurlijke selectie (selectiedruk) kunnen verschillende allelen van een gen leiden tot verschillen in overlevingskansen voor het individu. In dat geval zal de frequentie van het allel dat de hoogste overlevingskansen geeft, toenemen in de populatie.

Allelfrequenties kunnen ook veranderen als door mutaties nieuwe varianten van een gen ontstaan. Een gemuteerd allel dat dominant is, komt direct in het fenotype tot uiting. Als zo'n mutatie nadelig is voor het individu (dat wil zeggen de overlevingskansen verkleint), zal het allel snel weer uit de populatie verdwijnen. Van een gemuteerd allel dat dominant is en dat de overlevingskansen vergroot, zal de frequentie toenemen.

Bij **seksuele selectie** spelen eigenschappen van seksuele partners een rol die de voortplantingskansen van de partners vergroten, maar niet altijd de overlevingskansen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de staart van de mannetjespauw. De pauwenvrouwtjes kiezen het mannetje met de mooiste staart. Hoewel deze staart geen overlevingsvoordeel oplevert, kan het mannetje wel zijn genen doorgeven aan de volgende generatie. Bij zeeleeuwen of herten hebben de vrouwtjes geen keuze. Mannetjes wedijveren met elkaar om te kunnen paren. De winnaar paart met de vrouwtjes en de verliezer heeft minder kans op voortplanting. Bij deze soorten zijn de mannetjes vaak groter dan de vrouwtjes.

Ook bij mensen komt seksuele selectie op bepaalde eigenschappen voor. De bloedgroep speelt geen rol bij de partnerkeuze. Daardoor bepaalt het toeval welke allelen voor de bloedgroep worden doorgegeven aan de volgende generatie. Dit hoeft echter niet voor alle genen zo te zijn. De huidskleur of de lichaamslengte kan bijvoorbeeld wel de partnerkeuze beïnvloeden. Welke allelen voor deze eigenschappen worden doorgegeven aan de volgende generatie, is in die gevallen niet geheel willekeurig. Daardoor kunnen de allelfrequenties voor deze eigenschappen veranderen.

Ook bij **kunstmatige selectie** spelen de overlevingskansen geen voorname rol in de voortplantingskans, maar gaat het om de smaak en wensen van mensen. Het meest bekende voorbeeld is het fokken van honden, waarbij mensen de eigenschappen selecteren die ze bijvoorbeeld schattig of stoer vinden.

De verandering van allelfrequenties in een populatie heet micro-evolutie. Macro-evolutie is het ontstaan van nieuwe soorten. In sommige gevallen kan micro-evolutie tot snelle veranderingen leiden, zoals bij de berkenspanner in Engeland (zie afbeelding 26). Deze van oorsprong lichtgekleurde mottensoort, ontwikkelde in de Engelse industriegebieden een donkere variant die minder opviel op de door roet donkergekleurde boomstammen. Toen de roetuitstoot van de industrie door milieumaatregelen sterk verminderde, nam de frequentie van de lichte variant weer toe. Andere soorten blijven miljoenen jaren vrijwel onveranderd. De degenkrab bijvoorbeeld ziet er nog hetzelfde uit als 360 miljoen jaar geleden (zie afbeelding 27).

■ **Afb. 26** Berkenspanner (*Biston betularia*). De lichte variant op een donkere ondergrond.



■ **Afb. 27** Levend fossiel.



1 nu levend individu



2 fossiel

Soms beïnvloedt een evoluerende soort een andere soort die daardoor ook evolueert. Dit verschijnsel heet **co-evolutie**. Als bijvoorbeeld door een mutatie in een plant een stof wordt gevormd die voor rupsen giftig is, is de plant resistent geworden tegen rupsenvraat. Door natuurlijke selectie blijven de resistente planten in leven en evolueert de soort. Het gevolg kan zijn dat bij de rupsen ook een natuurlijke selectie optreedt: alleen de rupsen die toevallig ongevoelig zijn voor de giftige stof blijven leven. Ook de rupsensoort is dan geëvolueerd. Bij plantensoorten waarvan de bloemen slechts door één soort insect worden bestoven, treedt vaak co-evolutie op.

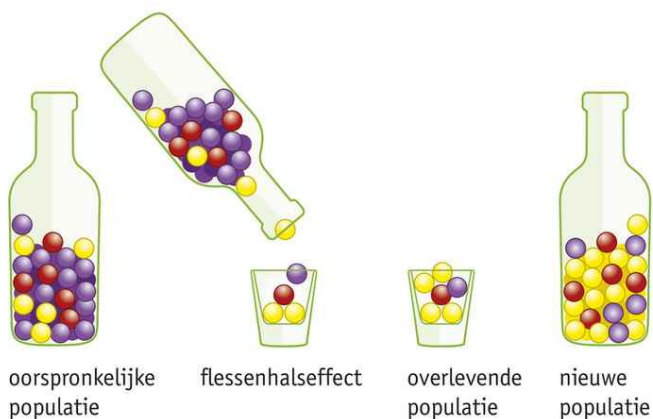
GENETIC DRIFT

De meeste gemuteerde allelen zijn recessief. In een grote populatie kunnen deze allelen zich zeer lang handhaven zonder dat ze bij individuen in het fenotype tot uiting komen. Zolang ze niet tot uiting komen, zullen ze in het algemeen de overlevingskansen van individuen niet vergroten of verkleinen. Als een kleine groep individuen van een soort geïsoleerd raakt, kan de allelfrequentie van een gemuteerd recessief gen snel toenemen. In een kleine populatie is de kans groot dat individuen die een recente gemeenschappelijke voorouder hebben, met elkaar paren. Als de parende individuen beide een recessief gemuteerd gen van de voorouders hebben gekregen, kan dit gen bij de nakomelingen tot uiting komen ($Aa \times Aa \rightarrow aa$). Dit heet **inteeft**. Het verschijnsel dat in kleine populaties door toeval grote verschuivingen in allelfrequenties kunnen optreden, noem je **genetic drift**. Twee vormen van genetic drift komen relatief vaak voor: het flessenhalseffect en het founder effect.

Wanneer het aantal individuen van een soort door bepaalde gebeurtenissen sterk terugloopt, kan de kleinere genenpool een andere samenstelling krijgen dan de oorspronkelijke genenpool. Dit heet het **flessenhalseffect**, of **bottleneck effect** (zie afbeelding 28). Dit effect kan optreden wanneer een groot deel van een populatie uitsterft door een invloed uit het milieu, zoals ingrijpen door mensen of een natuurramp. Zo stierven in Amerika de cheeta's uit, zo'n 11 000 jaar geleden aan het einde van de laatste ijstijd. Er bleven alleen enkele individuen in Afrika en Azië over. Dit leidde tot een sterke afname in de genetische variatie van cheeta's. Een gevolg hiervan is dat cheeta's in dierentuinen moeilijk zijn te fokken. De jongen sterven vaak kort na de geboorte.

Genetic drift kan ook optreden doordat een klein deel van een populatie zich vestigt in een nieuw gebied. In zo'n geval is sprake van het **stichtereffect**, of **founder effect**. Een bekend voorbeeld hiervan vormen de *Amish*, een uit Zwitserland afkomstige groep strenggelovigen, die zich in de achttiende eeuw in Pennsylvania (VS) vestigde. De Amish vormen een groep met alleen gennutwisseling binnen de gemeenschap. Daardoor komen bepaalde afwijkingen vaker voor dan elders.

■ Afb. 28 Het flessenhalseffect.



Opdrachten **KENNIS**

- 50** De haaksnavelkolibrie (*Eutoxeres aquila*) komt voor in onder andere Costa Rica en Colombia. Met zijn haakvormige snavel is hij in staat om nectar uit bloemen met een gebogen kroonbuis te halen (zie afbeelding 29). Daarbij komt stuifmeel van de bloem op zijn verendek.
- a** Waarom is er hier sprake van co-evolutie?
 - b** Waarom zijn de kolibrie en de plant van elkaar afhankelijk?

■ **Afb. 29** De haaksnavelkolibrie.



- 51** In 1814 vestigde een kleine groep Engelse kolonisten zich op het eiland Tristan da Cunha, een kleine groep eilanden in de Atlantische Oceaan. Een van deze kolonisten had een zeldzaam recessief allel voor retinitis pigmentosa. Dit is een progressieve vorm van blindheid. Honderdvijftig jaar later had 1 op de 58 mensen op dit eiland deze vorm van blindheid, terwijl wereldwijd dit 1 op de 4000 keer voorkomt. Welke vorm van genetic drift is hier opgetreden? Leg je antwoord uit.
- 52** In 1775 werd het Micronesische eiland Pingelap in de Stille Oceaan getroffen door een orkaan. Slechts twintig mensen overleefden deze tropische storm. Een van de overlevenden was drager van het recessieve autosomale allel voor achromatopsie. Achromatopsie staat bekend als totale kleurenblindheid en komt wereldwijd 1 op de 30 000 keer voor en op Pingelap 1 op de 12 keer.
- a** Welke vorm van genetic drift is hier opgetreden? Leg je antwoord uit.
 - b** Waardoor is bij zowel bij het stichtereffect als het flessenhalseffect de kans groter dat een recessieve aandoening vaker voorkomt?
 - c** Hoe noem je dit verschijnsel ook wel?
- 53** Leg uit dat op eilanden sneller afwijkende vormen of nieuwe soorten kunnen ontstaan dan op het vasteland.

Opdrachten INZICHT

- 54** Drie voorbeelden van evolutie zijn:
- Het percentage bruine bosuilen neemt toe ten opzichte van witte bosuilen door het warmere klimaat.
 - In malariagebieden is het percentage mensen met sikkelcelanemie hoger dan in niet-malariagebieden.
 - Een kolibrie met lange snavel en tong zuigt nectar uit een lange buisvormige bloem.
- Geef bij elk van de drie voorbeelden aan of sprake is van co-evolutie, micro-evolutie of macro-evolutie.
- 55** De Darwin-orchidee (*Angraecum sesquipedale*) heeft door de jaren heen een lange buis ontwikkeld met onderin nectar. Met een oprolbare tong van 28 cm is de pijlstaartvlinder *Xanthopan morgani* het enige insect dat deze nectar via de bloem kan bemachtigen (zie afbeelding 30). Via co-evolutie hebben de pijlstaartvlinder en de Darwin-orchidee zich aan elkaar aangepast.
- De pijlstaartvlinder is het enige insect dat de Darwin-orchidee kan bevruchten.
- a** Wat is hiervan het voordeel?
- b** Leg uit op welke manier de evolutie tussen de Darwin-orchidee en de pijlstaartvlinder heeft kunnen plaatsvinden. Ga er hierbij van uit dat eerst een orchidee een langere buis ontwikkelde.

■ **Afb. 30** De orchidee *Angraecum sesquipedale* en de pijlstaartvlinder *Xanthopan organii*.

- 1 De pijlstaartvlinder ontrolt zijn tong en vliegt naar voren om zijn tong in de buis te brengen.



- 2 De vlinder kan met zijn tong net bij de nectar door tegen de bloem aan te duwen, waarbij stuifmeelkorrels op zijn lichaam komen. Door dit proces bij een volgende orchidee te herhalen, vindt bestuiving plaats.

- 56** Volgens genetici vond tussen 440 000 en 270 000 jaar geleden een ernstige bacterie-epidemie plaats. De soort mens stierf bijna uit. Alle nu levende mensen missen sindsdien twee genen die sommige bacteriën kunnen gebruiken als 'ingang' om organismen te besmetten.
- Is dit een vorm van genetische drift of van natuurlijke selectie? Leg je antwoord uit.
- 57** Tussen 1719 en 1729 vestigde een kleine groep Duitsers zich in Pennsylvania (VS) in een geïsoleerde gemeenschap: de Dunkers. Van de Dunkers heeft 60% bloedgroep A, terwijl in Duitsland 45% bloedgroep A heeft en in de VS gemiddeld 40%.
- Leg uit waardoor het percentage mensen met bloedgroep A onder de Dunkers zo afwijkend is van dat van de overige Amerikanen en van de Duitsers.

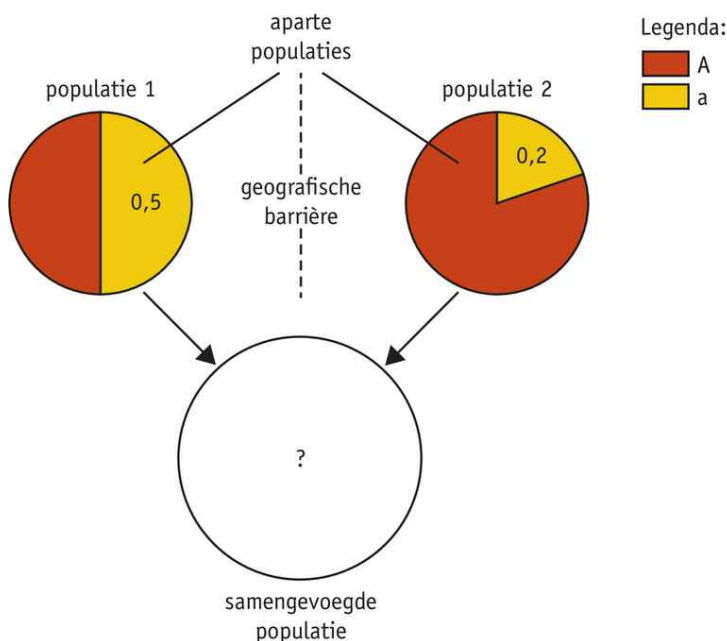
58 Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Door de aanleg van een tunnel wordt de geografische scheiding tussen twee populaties mensen in een bergachtig gebied in één keer opgeheven. Vanaf dat moment gaan de bergbewoners uit beide populaties zoveel sociale en economische relaties aan, dat er al snel sprake is van één populatie.

Beide oorspronkelijke populaties waren even groot. In beide populaties komt een dominant allel (A) en een recessief allel (a) voor. In populatie 1 is de frequentie 0,5 van zowel allel A als van allel a, terwijl in populatie 2 de frequentie van allel A 0,8 is en de frequentie van allel a 0,2 (zie afbeelding 31).

- a Bereken op twee decimalen nauwkeurig de frequenties van allel A en allel a in de populatie bergbewoners die is ontstaan direct na het samengaan van de populaties 1 en 2.
- b Bereken op drie decimalen nauwkeurig de frequentie van het genotype Aa in de nieuwe populatie.

■ **Afb. 31** Allelfrequenties bij het samenvoegen van populaties.

**59** Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Bij de bepaling van bloedgroepen is er sprake van een resusfactor. Je bent resuspositief of resusnegatief. Mensen die resusnegatief zijn, hebben genotype dd. Resuspositieve mensen hebben het genotype DD of Dd. In Midden-Europa is de genfrequentie van d = 0,4.

- a Welk percentage van de Midden-Europese bevolking is resusnegatief? Welk percentage heeft genotype DD en welk percentage heeft genotype Dd?
- b Bij 7,68% van de zwangerschappen in Midden-Europa is een resusnegatieve vrouw zwanger van een kind, verwekt door een man met het genotype Dd. Bij 5,76% van de zwangerschappen in Midden-Europa is een resusnegatieve vrouw zwanger van een kind, verwekt door een man die homozygoot resuspositief is. Bereken het percentage van de zwangerschappen in Midden-Europa waarin een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind.

60 Gebruik voor deze opdracht **BiNaS** tabel 93D3.

Een wetenschapper bestudeert bij erwtenplanten twee eigenschappen: de kleur en de vorm van de erwten. De kleur van de erwten wordt bepaald door twee allelen, geel en groen, waarbij het dominante groene allel twee keer zoveel voorkomt als het gele allel in de grote erwtenplantenpopulatie. De vorm van de erwten is glad of geplooid, waarbij het allel glad recessief is. In de populatie heeft het gladde allel een frequentie van 0,9. Er worden willekeurige erwtenplanten uit deze populatie met elkaar gekruist en er ontstaan 100 nakomelingen.

Hoeveel van die nakomelingen zullen voor beide eigenschappen heterozygoot zijn?



61 **Allelen die gunstig zijn voor het maken van kaas**

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2019, vraag 21.

Van het kappa-caseïne-gen zijn drie allelen (A, B en E) bekend. De eiwitten die hierdoor worden gecodeerd, zijn niet allemaal even geschikt voor het maken van kaas. Het B-allel is het meest gunstig voor het stremmingsproces en het E-allel het minst. In 2010 was de populatie Holsteinrunderen in Nederland en Vlaanderen vrij stabiel voor de caseïne-allelen. Het aantal EE-dieren lag op 0,3%, het aantal AE-dieren op 6,7% en het aantal BE-dieren op 4,0%.

Wat was het percentage BB-dieren in Nederland en Vlaanderen in 2010? Je mag hier de regel van Hardy-Weinberg toepassen (zie **BiNaS** tabel 93D3).

Geef je antwoord in hele procenten.



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Leefwereld

EVOLUTIE VAN DE MENS IN DE MODERNE TIJD

Sommige wetenschappers denken dat er in de laatste 50 000 jaar geen biologische veranderingen meer zijn geweest bij de mens. Zij zeggen dat we onze cultuur en beschaving met hetzelfde lichaam en dezelfde hersenen hebben gebouwd. De meeste evolutiebiologen zijn het daar niet meer mee eens. Zij zeggen dat natuurlijke selectie nog steeds werkt op mensen en zij kunnen deze bewering onderbouwen met bewijs.

Neem bijvoorbeeld de genetische variant van levenslange lactosetolerantie, nu aanwezig in 35% van de wereldbevolking. Die eigenschap ontstond ongeveer 10 000 jaar geleden, nadat de mens overging op veeteelt en de melk van koeien ging drinken. Of neem de mensen die een allel bezitten dat hen beschermt tegen de dodelijke ziekte malaria. Zij vergroten hiermee de overlevingskansen voor zichzelf en, als ze dit allel doorgeven, ook voor hun kinderen.

Hoewel de mens dus nog wel degelijk evolueert, gaat het anders dan bij andere soorten: het draait meer om voortplanting en minder om overleving. Een grote rol daarin speelt de verbeterde gezondheidszorg.

De mens gaat er door toenemende medische mogelijkheden op lange termijn genetisch op achteruit, zo stelde hoogleraar erfelijkheidsleer Rolf Hoekstra al in 2010. De toename van in-vitrofertilisatie (zie afbeelding 32) kan bijvoorbeeld leiden tot meer onvruchtbaarheid. Dat zal niet vliegensvlug gaan, maar wel een stuk sneller dan dat natuurlijke selectie nodig heeft voor evolutie. Nieuwe technieken kunnen ook leiden tot grotere mensen. Door keizersneden worden nu kinderen geboren die zo groot zijn dat ze niet door het geboortekanaal kunnen komen.

■ Afb. 32 In-vitrofertilisatie.



Opdrachten

- 62 Hoe kan de toename van in-vitrofertilisatie ervoor zorgen dat genetische onvruchtbaarheid bij de mens toeneemt?
- 63 Maar liefst 65% van alle mensen op aarde kan alleen als baby melk verteren. Daarna verliezen zij het vermogen om de melksuikers (lactose) af te breken. Vanaf 10 000 jaar geleden kregen steeds meer mensen het vermogen om levenslang melk te verteren dankzij een mutatie in het lactasepersistente gen (LP-gen). Hierdoor blijven zij hun hele leven het enzym lactase aanmaken, waarmee ze melkproducten kunnen verteren.
 - a Leg uit hoe door een mutatie van het LP-gen lactosetolerantie kan ontstaan.
 - b Verklaar de snelle toename van de frequentie van deze mutatie in populaties melkveehouders.
- 64 De gene flow tussen verschillende populaties mensen is nu veel groter dan vroeger. Leg uit welke ontwikkeling hieraan heeft bijgedragen.
- 65 Leg uit welke milieufactoren bij mensen in Nederland sinds honderd jaar een kleinere rol in het evolutieproces spelen.
- 66 Dankzij de verbeterde gezondheidszorg worden Nederlanders gemiddeld ouder dan honderd jaar geleden. Toch komen ouderdomsziekten zoals dementie en hartfalen nog vaak voor. Leg uit dat ouderdomsziekten waarschijnlijk geen selectienadeel hebben.

5 ONTSTAAN VAN SOORTEN

LEERDOEL

4.5.1 Je kunt manieren van reproductieve isolatie uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	4.5.1
Begrijpen	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 83a
Toepassen	76b, 77, 79a, 81, 83b
Analysen	75, 76a, 78, 79b, 80, 82, 84

Door de verandering van allelfrequenties binnen populaties alléén, ontstaat nog geen nieuwe soort. Daar is nog wel wat meer voor nodig.

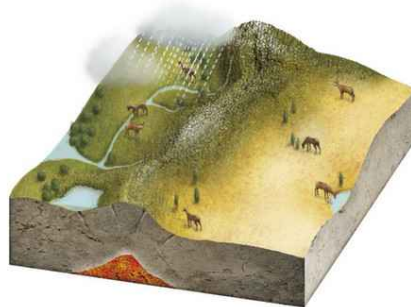
REPRODUCTIEVE ISOLATIE

Voor het ontstaan van een nieuwe soort is **reproductieve isolatie** nodig tussen populaties van dezelfde soort. Er vindt dan gedurende lange tijd geen voortplanting plaats en dus geen gene flow tussen de individuen van twee of meer populaties. Mutaties die in de ene populatie optreden, bereiken de andere populatie niet. Omdat de verschillende populaties door verschillen in de natuurlijke omgeving blootstaan aan een andere selectiedruk, zullen de mutaties die via voortplanting aan de nakomelingen worden doorgegeven ook verschillen tussen de populaties. In de loop van veel generaties kunnen de genetische verschillen tussen de populaties zo groot worden dat onderlinge voortplanting niet meer mogelijk is, of dat er bij onderlinge voortplanting geen vruchtbare nakomelingen ontstaan. Op dat moment zijn er verschillende soorten ontstaan.

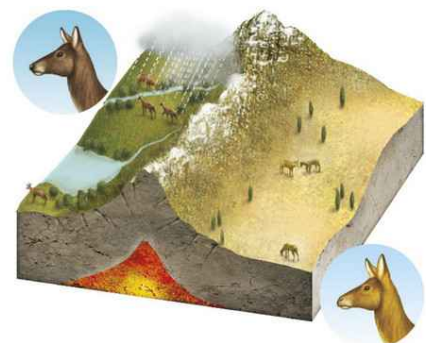
■ **Afb. 33** Soortvorming (allopatrisch) door geografische scheiding.



1 Een populatie herten leeft in een bepaald gebied.



2 Er ontstaat een bergketen, waardoor de populatie in tweeën wordt gesplitst.



3 Door verschillende milieuomstandigheden aan beide kanten vindt natuurlijke selectie plaats. Na vele generaties verschillen de populaties zo sterk, dat twee soorten zijn ontstaan.

Reproductieve isolatie kan op verschillende manieren plaatsvinden. Meestal is geografische isolatie van populaties de oorzaak van soortvorming, bijvoorbeeld door een bergketen, rivier of zee (zie afbeelding 33). Deze vorm van soortvorming noem je **allopatrische soortvorming** (Grieks: *allos* = ander, *patra* = vaderland). Geografische isolatie treedt ook op wanneer een deel van een populatie wordt meegevoerd naar een eiland waar deze soort tot dat moment niet voorkwam, bijvoorbeeld door een storm of via drijvende boomstammen.

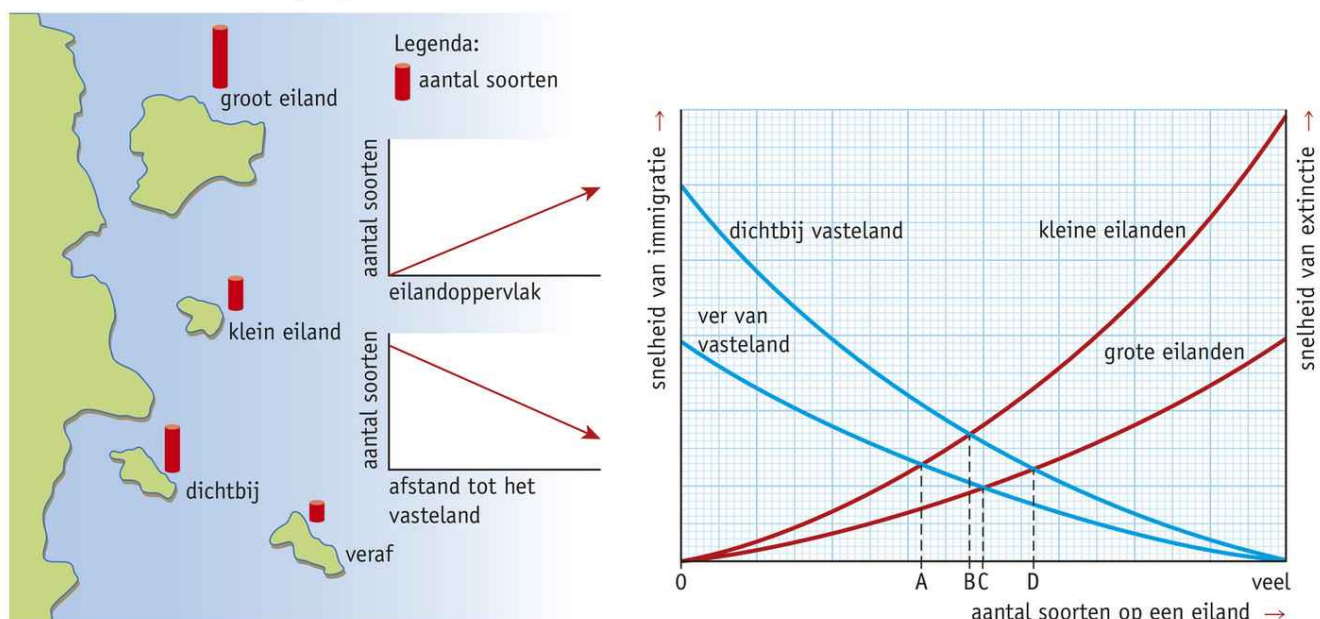
EILANDTHEORIE

Een klassiek voorbeeld van allopatrische soortvorming is dat van de Darwinvinken. Hieruit is de **eilandtheorie** voortgekomen. Darwin ontdekte veertien vinkensoorten op de Galapagoseilanden, een eilandengroep op ongeveer duizend kilometer voor de westkust van Zuid-Amerika. De vinken lijken sterk op elkaar. Alleen de bouw van de snabels verschilt.

Darwin veronderstelde dat deze vinken uit één vooroudersoort waren ontstaan. Waarschijnlijk is miljoenen jaren geleden een kleine groep vinken van het vasteland van Zuid-Amerika op de eilanden terechtgekomen. Er heeft adaptatie plaatsgevonden: de bouw van de snabel heeft zich via mutaties en natuurlijke selectie aangepast aan het beschikbare voedsel. Dit voedsel is op de diverse eilanden verschillend. Door reproductieve isolatie konden verschillende soorten ontstaan.

Darwin hield nauwkeurig bij hoeveel soorten hij op verschillende eilanden aantrof. Hij zag hier een bepaalde wetmatigheid in. Hoe groter een eiland is, hoe groter het aantal soorten. Darwin veronderstelde ook dat het aantal soorten op een eiland kleiner is naarmate de afstand van het eiland tot het vasteland groter is (zie afbeelding 34). Uit recenter onderzoek blijkt dat er gemiddeld twee keer zoveel soorten voorkomen op een eiland dat tien keer zo groot is. Het diagram van afbeelding 34 wordt ook wel het eilandbiogeografiemodel genoemd.

■ Afb. 34 Het eilandbiogeografiemodel.

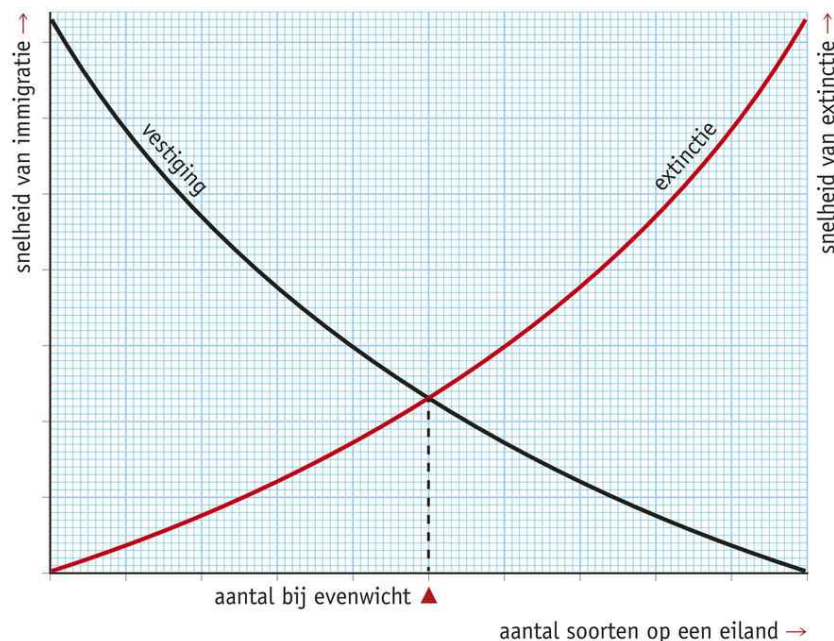


In 1965 hebben Robert MacArthur en Edward Wilson de eilandtheorie van Darwin uitgebreid. Zij veronderstelden dat het aantal soorten (een maat voor biodiversiteit) op een eiland wordt bepaald door twee factoren: immigratie (het aantal soorten dat zich vanuit het vasteland op het eiland vestigt) en extinctie (het aantal soorten dat van het eiland verdwijnt door uitsterven).

Afbeelding 35 geeft hun theorie grafisch weer. Als het aantal soorten op een eiland klein is (links op de x-as), kunnen veel nieuwe soorten zich vestigen door immigratie en sterven weinig soorten uit, bijvoorbeeld doordat er weinig concurrentie is. Als het aantal soorten groot is, geldt precies het omgekeerde. Waar de twee krommen elkaar snijden, is sprake van evenwicht: er komen evenveel soorten bij door immigratie als er verdwijnen door extinctie.

Immigratie en extinctie worden beïnvloed door de grootte van het eiland en de afstand van het eiland tot het vasteland. Hoe kleiner het eiland, hoe minder immigratie van nieuwe soorten (de kans is kleiner dat het eiland wordt gevonden) en hoe groter de kans op extinctie (hoe kleiner het eiland, hoe minder voedselbronnen en hoe kwetsbaarder een soort is voor bijvoorbeeld een natuurramp). Hoe groter de afstand tot het vasteland, hoe lager de immigratie (minder kans dat het eiland wordt gevonden) en hoe groter de extinctie (lagere kans dat een soort zich na uitsterven opnieuw zal vestigen op het eiland). Het werk van MacArthur en Wilson is een voorbeeld van modelleren.

■ **Afb. 35** De invloed van vestiging en extinctie op de soortenrijkdom van een eiland.



Opdrachten

KENNIS

- 67 De Grand Canyon in Amerika bestaat uit een noord- en zuidkant die door de Coloradorivier van elkaar zijn gescheiden (zie afbeelding 36). De afstand tussen beide kanten is ongeveer 20 km. Aan de noord- en zuidkant van de Grand Canyon leven verschillende populaties dieren en planten.
- a Is er bij de Grand Canyon sprake van geografische isolatie voor vogels? Leg je antwoord uit.
 - b En is er sprake van geografische isolatie voor eekhoorns? Leg je antwoord uit.
 - c Zal er in de Grand Canyon eerder allopatrische soortvorming optreden bij vogels of bij kleine zoogdieren? Leg je antwoord uit.

■ Afb. 36 De Grand Canyon.



- 68 Speelt natuurlijke selectie een rol bij allopatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.
- 69 Zal allopatrische soortvorming eerder plaatsvinden op een eiland dicht bij het vasteland of op een eiland ver van het vasteland?
- 70 De biodiversiteit op eilanden wordt slechts voor een deel verklaard door inheemse soorten.
Welke soorten, naast inheemse soorten, dragen bij aan de biodiversiteit van een eiland?

SYMPATRISCHE SOORTVORMING

Soortvorming kan ook optreden zonder dat er sprake is van een geografische scheiding van populaties. Soortvorming zonder geografische scheiding noem je **sympatrische soortvorming** (Grieks: sym = samen of zelfde). Reproductieve isolatie kan bijvoorbeeld ook ontstaan door verschillen in gedrag.

Veel dieren vertonen baltsgedrag voordat ze gaan paren. Baltsgedrag bestaat uit een serie handelingen en signalen waarmee dieren zich voorbereiden op de paring. De opeenvolging van deze signalen is specifiek voor elke soort. Door de balts herkennen dieren elkaar als soortgenoot.

Twee verschillende soorten albatrossen broeden vaak dicht bij elkaar op dezelfde eilanden (zie afbeelding 37). In het verleden behoorden deze albatrossen waarschijnlijk tot dezelfde soort. Door het verschil in gedrag paren ze niet meer met elkaar en hebben zich twee soorten gevormd. De laysanalbatros-partners haken bijvoorbeeld hun snavels zachtjes in elkaar, terwijl zwartvoetalbatrossen hun snavels krachtig tegen elkaar slaan.

Een ander voorbeeld van verschillend gedrag is te zien bij leeuwen en tijgers. Deze nauw verwante soorten leefden ooit in overlappende gebieden. Leeuwen hebben zich gespecialiseerd in jagen op open graslanden. Tijgers jagen in bosrijke gebieden. Het verschil in gedrag vermindert concurrentie. In de natuur komt geen voortplantingsgedrag tussen leeuwen en tijgers voor. In gevangenschap kunnen leeuwen en tijgers wel voortplantingsgedrag vertonen. Zo heeft dat in dierentuinen soms geleid tot vruchtbare nakomelingen (lijger of teeuw).

■ **Afb. 37** De laysanalbatros en de zwartvoetalbatros.



1 laysanalbatros (*Phoebastria immutabilis*)

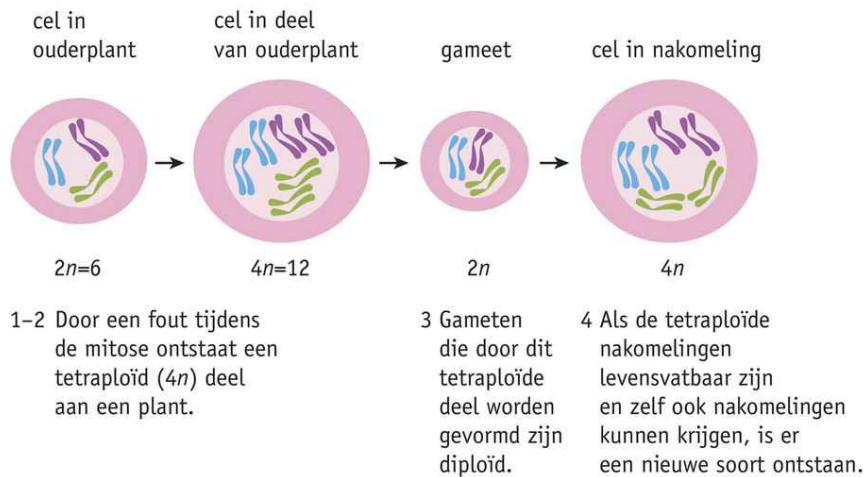


2 zwartvoetalbatros (*Phoebastria nigripes*)

Ook verschillen in voortplantingsactiviteit kunnen leiden tot reproductieve isolatie. Twee soorten bananenvliegjes bijvoorbeeld leven in hetzelfde gebied, maar paren nooit met elkaar. De *Drosophila pseudoobscura* vertoont alleen 's avonds paringsgedrag en de *Drosophila persimilis* alleen 's ochtends. Bij planten komen vaak nauw verwante soorten voor die in verschillende seizoenen bloeien. Onder laboratoriumomstandigheden blijken deze soorten zich samen goed voort te planten. Hetzelfde geldt voor verwante soorten die tegelijkertijd bloeien, maar door verschillende soorten insecten worden bestoven. De lengte en de kromming van de nectarbuizen bij verschillende soorten van het geslacht akelei (*Aquilegia*) komen overeen met die van de tongen van de verschillende soorten insecten, en de snavel van de kolibrie die ook een akeleisoort bestuift.

Soms gaat er bij een plant iets mis tijdens de mitose, waardoor de plant een tetraploïd ($4n$) deel krijgt, bijvoorbeeld een blad, tak of bloem. Dit verschijnsel heet **polyploïdie** (zie afbeelding 38). Polyploïdie kan ook ontstaan doordat chromosomen tijdens de meiose niet scheiden. Doordat een tetraploïd organisme niet kan kruisen met een normaal diploïd organisme, ontstaan er in de populatie twee groepen, waartussen geen gene flow mogelijk is. Uiteindelijk kan dit leiden tot twee sympatrische soorten. Als er meerdere tetraploïde organismen zijn, kunnen deze zich wel onderling voortplanten.

■ **Afb. 38** Polyploïdie: het ontstaan van tetraploïde organismen.



Het ontstaan van een nieuwe soort komt dus tot stand door:

- 1 reproductieve isolatie, veroorzaakt door geografische isolatie, gedrag of andere activiteiten
- 2 genetische variatie die is ontstaan door mutatie en recombinatie
- 3 natuurlijke selectie, waarbij de best aangepaste organismen overleven
- 4 voortplanting, waarbij de gunstige eigenschappen aan nakomelingen worden doorgegeven

Opdrachten **KENNIS**

- 71 Bij welke manier van soortvorming is de gene flow het kleinst? Bij allopatrische of sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.
- 72 In het Victoriameer in Afrika leven twee nauwverwante soorten cichliden: *Pundamilia pundamilia* en *Pundamilia nyererei*. Onderlinge paring in kunstmatige omstandigheden levert levensvatbare en vruchtbare nakomelingen op. Onder natuurlijke omstandigheden hebben de vrouwtjes van *Pundamilia pundamilia* voorkeur voor hun mannetjes met blauw getinte rug. Vrouwtjes van *Pundamilia nyererei* hebben voorkeur voor hun mannetjes met rood getinte rug. Is hier sprake van allopatrische of sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

- 73** Zo'n drie miljoen jaar geleden ontstond de landengte van Panama: het gebied dat Noord-Amerika verbindt met Zuid-Amerika (zie afbeelding 39). Hierdoor werden de Atlantische Oceaan en de Stille Oceaan van elkaar gescheiden. Aan beide kanten van de landengte ontstonden daarna nieuwe soorten.
- Vond er allopatrische of sympatrische soortvorming plaats?
 - Leg uit hoe soortvorming plaatsvond. Gebruik in je antwoord de begrippen isolatie, mutatie en natuurlijke selectie.

■ **Afb. 39** De landengte van Panama.



- 74** Wanneer een tetraploïde en een diploïde plant met elkaar worden gekruist, kunnen zij samen geen vruchtbare nakomelingen krijgen. Leg dit uit.

Opdrachten INZICHT

- 75** Zal de genenpool van inheemse soorten op een eiland dicht bij het vasteland meer of minder onder druk staan dan de genenpool van een eiland van vergelijkbare grootte ver van het vasteland? Leg je antwoord uit.
- 76** In de grafiek van afbeelding 34 zie je vier letters A, B, C en D. Gegeven zijn vier eilanden:
- P is een groot eiland dicht bij het vasteland.
 - Q is een klein eiland dicht bij het vasteland.
 - R is een groot eiland ver van het vasteland.
 - S is een klein eiland ver van het vasteland.
- Op elk van de eilanden is het aantal soorten dat immigreert even groot als het aantal soorten dat uitsterft.
- Met welke letters in de grafiek komen deze eilanden P, Q, R en S overeen?
 - Op welk eiland komen de meeste soorten voor?

- 77** De Noord-Amerikaanse appelvlieg legt haar eitjes onder andere in de meidoorn. Toen ongeveer tweehonderd jaar geleden uit Europa de appel werd ingevoerd in de VS, ontstond er een ras van de appelvlieg dat zich richtte op de appel. Dit nieuwe ras heeft nu geen voorkeur meer voor de meidoorn om eitjes in te leggen en het oorspronkelijke ras heeft geen voorkeur voor appels. Uit genetisch onderzoek blijkt dat de rassen onderling verschillen.
- Is in dit voorbeeld sprake van (al dan niet voltooide) sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.
 - Op de Galapagoseilanden hebben zich uit de daar aangekomen dieren zowel een bijzondere schildpaddensoort (*Geochelone elephantopus*) als een bijzondere leguanensoort (*Conolophus subcristatus*) ontwikkeld. Beide soorten verschillen sterk van hun verwante soorten op het Zuid-Amerikaanse vasteland. Is in dit voorbeeld sprake van (al dan niet voltooide) sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.
 - In het noordoostelijke deel van de Grote Oceaan zijn twee populaties van orka's. De populatie die daar permanent verblijft, mijdt de populatie van trekkende orka's die daar langskomt. Er vinden geen paringen plaats tussen individuen van de twee populaties. De twee populaties jagen op verschillende prooien, hebben een ander dieet, maken andere geluiden en leven in onderling verschillende sociale verbanden. Is in dit voorbeeld sprake van (al dan niet voltooide) sympatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.
- 78** Omdat snelwegen een barrière zijn voor wilde dieren, worden voorzieningen zoals ecoducten en faunatunnels aangebracht. Deze voorzieningen verbinden de verschillende zijden van een snelweg met elkaar.
- Leg uit in hoeverre ecoducten en faunatunnels een rol spelen in de genetische variatie binnen populaties.
 - Ecoducten en faunatunnels kunnen twee door de snelweg gescheiden populaties weer bij elkaar brengen. Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de genetische variatie binnen de nieuw ontstane populatie.
- 79** Brazilië staat bekend om het Amazonegebied met zijn rijke natuur. Het heeft van alle landen ter wereld de grootste biodiversiteit. Zo leven hier de meeste soorten zoetwatervissen en zoogdieren ter wereld. Naast het Amazonegebied heeft Brazilië ook veel (brede) rivieren.
- Wat kan een reden zijn dat er in Brazilië zoveel verschillende soorten zoogdieren voorkomen?
 - Leg uit waardoor in Brazilië zoveel verschillende soorten zoetwatervissen voorkomen.
- 80** Lees eerst het onderzoek in afbeelding 40. Sommige biologen menen dat eivlekken in de loop van de evolutie ontstaan zijn uit kleine parelvormige vlekjes die bij veel soorten cichliden voorkomen.
- Leg uit op welke wijze cichlidesoorten met eivlekken volgens de evolutietheorie kunnen zijn ontstaan.
 - Welk(e) van de genoemde onderzoeksresultaten ondersteunt (ondersteunen) de hypothese?
 - Wat is de conclusie van dit onderzoek?

Afb. 40 Onderzoek naar eivlekken.

Onderzoek	Eivlekken bij de tanganyikacichlide
Inleiding	Bij bepaalde vissoorten, zoals de tanganyikacichlide <i>Astatotilapia burtoni</i>, ontwikkelen de eieren zich in de bek van het vrouwtje. Tijdens de paringsdans neemt het vrouwtje de door haar geproduceerde eieren in haar bek. Vervolgens spreidt het mannetje zijn anale vin en produceert sperma. Op zijn anale vin heeft hij een aantal opvallende geeloranje vlekken die een sterke gelijkenis vertonen met de eieren (zie afbeelding 41). Het vrouwtje hapt naar de 'eivlekken' op de vin, waarbij een deel van het geproduceerde sperma wordt opgehaapt. Dit gedrag vergroot de kans op bevruchting van de eieren. Sommige biologen menen dat de kans op bevruchting groter is naarmate de vlekken op de anale vin meer op eieren lijken. Andere onderzoekers trekken deze veronderstelde functie van de eivlekken in twijfel vanwege het ontbreken van een precieze overeenkomst in kleur, vorm en afmeting van eieren en eivlekken. Zij gaan ervan uit dat het soortspecifieke vlekkenpatroon een vrouwtje in staat stelt een partner van de eigen soort te herkennen.
Onderzoeksvraag	Wat is de functie van de eivlekken?
Hypothese	De vlekken op de anale vin hebben een herkenningsfunctie voor soortgenoten.
Experiment	Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de functie van de eivlekken.
Resultaat	De onderzoeken hebben de volgende resultaten opgeleverd: 1 Soorten waarvan de eivlekken duidelijk groter en opvallender zijn dan de eieren, baltsen merendeels in dieper water waar het zicht geringer is. 2 Bij soorten met eivlekken die weinig gelijkenis vertonen met de eieren, hapt het vrouwtje tijdens de balts in dezelfde mate naar de anale vin als bij soorten met goed gelijkende eivlekken. 3 Het verwijderen van de eivlekken van de anale vin heeft geen invloed op de mate waarin het vrouwtje tijdens de balts naar de anale vin hapt.
Conclusie	

Afb. 41 Een cichlide met eivlekken.

📺 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Wetenschap

EEN MIX VAN DRIE SOORTEN

Op een zonnige dag in mei filmde vogelspotter Lowell Burket in Pennsylvania een kleurig vogeltje. Op het eerste gezicht leek het om een normaal zangvogeltje te gaan, maar toen Burket het filmpje terugkeek, merkte hij iets ongewoons op. Het dier had de kleuren van zowel een geelvleugelzanger (*Vermivora chrysoptera*, zie afbeelding 42) als een blauwvleugelzanger (*Vermivora cyanoptera*), maar zijn lied klonk als dat van een roestflankzanger (*Setophaga pensylvanica*).

Nadat hij de vogel een aantal keren had gespot, rapporteerde Burket zijn ontdekking op de website van the Cornell Lab of Ornithology van de Cornell-universiteit. Een van de onderzoekers, David Toews, reageerde snel en nam een bloedmonster van de vogel.

De genen die coderen voor de kleuren van de vogel werden onderzocht. Die wezen uit dat de moedervogel een mix was van de blauw- en geelvleugelzanger. Genetisch onderzoek toonde ook aan dat de vader een roestflankzanger was. Burket had dus gelijk: deze vogel bestaat uit drie verschillende soorten. Een hybride van een hybride als het ware.

Ornitholoog Jente Ottenburghs (Universiteit van Uppsala), gespecialiseerd in vogelhybriden, noemt het dier een bijzonder geval. 'Kruisingen tussen

geelvleugelzangers en blauwvleugelzangers komen regelmatig voor,' vertelt hij, 'maar dat een hybride exemplaar vervolgens met een roestflankzanger paart, is onverwacht. Het is zo bijzonder, omdat de geel- en blauwvleugelzangers en de roestflankzanger tot verschillende geslachten behoren. Meestal vinden kruisingen plaats tussen soorten van hetzelfde geslacht. Deze geslachten zijn al meer dan tien miljoen jaar geleden uit elkaar gegaan. Ter vergelijking: de splitsing tussen mens en chimpansee vond zo'n zeven miljoen jaar geleden plaats.'

Bron: Laurien Onderwater, 'Deze vogel bestaat uit drie soorten', *Kijkmagazine*, 12-11-2018.

■ Afb. 42 Geelvleugelzanger.



Opdrachten

- 81 Leg uit waarom de gespottede vogel een hybride van een hybride was.
- 82 Bestaat er meer verwantschap tussen roestflankzangers en geel- en blauwvleugelzangers of tussen mensen en chimpansees? Leg je antwoord uit.
- 83 De tekst gaat over drie soorten vogels: de geelvleugelzanger, de blauwvleugelzanger en de roestflankzanger.
 - a Leg uit of je op basis van de naamgeving kunt afleiden of de drie soorten in de taxonomie tot hetzelfde geslacht behoren. Zo ja, welke soorten behoren tot hetzelfde geslacht?
 - b Waarom is het taxonomisch opvallender dat twee vogels die tot een verschillend geslacht behoren met elkaar paren, dan twee vogels die tot een verschillende soort behoren?
- 84 Ornitholoog Christaan Both van de Rijksuniversiteit Groningen vindt de gemixte vogel ook erg interessant. Vooral omdat deze vogel volgens hem aangeeft dat biologische definities soms aan herziening toe zijn. Welke biologische definitie zou op basis van de ontdekking van de gemixte vogel niet meer juist zijn? Leg je antwoord uit.

6 ONDERZOEK NAAR EVOLUTIE

LEERDOELEN

- 4.6.1** Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van verschillende diersoorten. ► Vaardigheid 7 (thema 1)
- 4.6.2** Je kunt enkele onderzoeksmethoden naar verwantschap uitleggen. ► Practicum 5
- 4.6.3** Je kunt een stamboom en een cladogram aflezen en construeren.

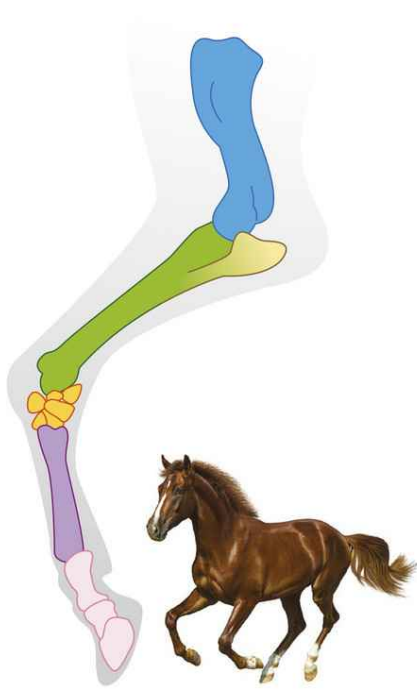
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	4.6.1	4.6.2	4.6.3
Begrijpen	85, 86	89, 95a	87, 88
Toepassen	92	90, 95c, 96b	91
Analyseren	94	93d, 95b, 96a	93abc

Er zijn veel wetenschappelijke argumenten die de evolutietheorie ondersteunen. Bijvoorbeeld de vergelijkende anatomie, DNA-analyse en fossielen.

ANATOMIE EN VERWANTSCHAP

De vergelijkende anatomie bestudeert gelijkenissen en verschillen tussen organismen. Door de overeenkomsten en verschillen tussen verschillende soorten organismen te onderzoeken, kun je verwantschap aantonen. Homologie speelt hierbij een belangrijke rol. **Homologie** betekent gelijkenis. De voorpoot van een paard, de voorvin van een dolfijn, de vleugel van een vleermuis en de arm van een mens lijken bijvoorbeeld erg verschillend, maar hebben dezelfde bouw. Deze ledematen zijn homologe structuren (zie afbeelding 43). Naast ledematen kunnen ook organen, orgaanstelsels en genen homologe structuren zijn. Organen of ledematen die homologe structuren zijn, zijn ontstaan uit dezelfde grondvorm en zijn daarom een teken van verwantschap tussen organismen. Door aanpassing aan verschillende milieus hebben organen of ledematen een verschillende functie gekregen. Zo verandert bijvoorbeeld de functie van ledematen van landzoogdieren die gaan leven in het water, net als de ledematen van landzoogdieren die gaan vliegen. Het gemeenschappelijk bouwplan verandert niet (zie afbeelding 43). Dit wordt ook wel **divergentie**, of divergente evolutie genoemd. Homologie duidt op **verwantschap** van organismen: de organismen hebben een (recente) gemeenschappelijke voorouder.

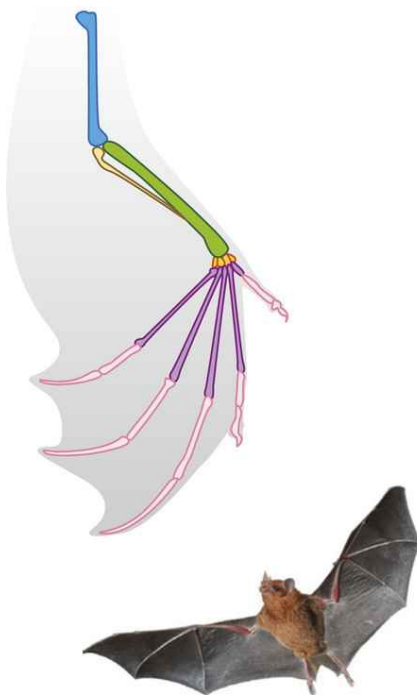
■ **Afb. 43** Homologe structuren bij verschillende diersoorten.



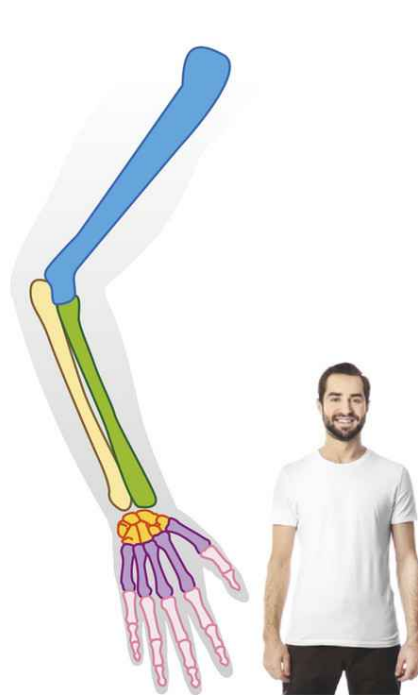
1 de voorpoot van een paard



2 de voorvin van een dolfijn



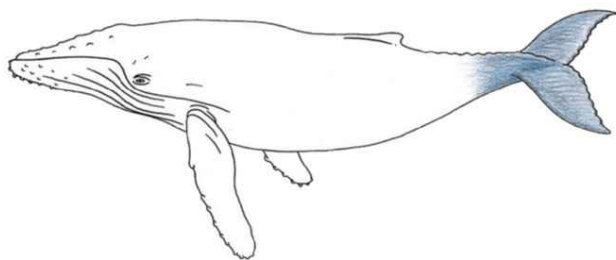
3 de vleugel van een vleermuis



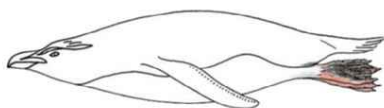
4 de arm van een mens

In afbeelding 44 zijn enkele organen getekend met een overeenkomstige vorm en functie, die niet berust op verwantschap. Bij deze organen gaat het om **analogie**. Analoge structuren zijn niet ontstaan uit dezelfde grondvorm. Door aanpassing aan hetzelfde milieu zijn bij niet-verwante organismen organen met een vergelijkbare functie ontstaan. Dit wordt ook wel **convergentie**, of convergente evolutie genoemd. Naast homologie is analogie een belangrijk argument voor de evolutietheorie.

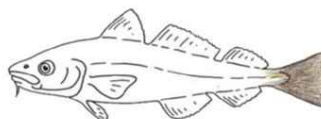
■ **Afb. 44** Analoge ledematen binnen de groep gewervelden.



1 de staart van een walvis



2 de poten met zwemvliezen van een pinguïn



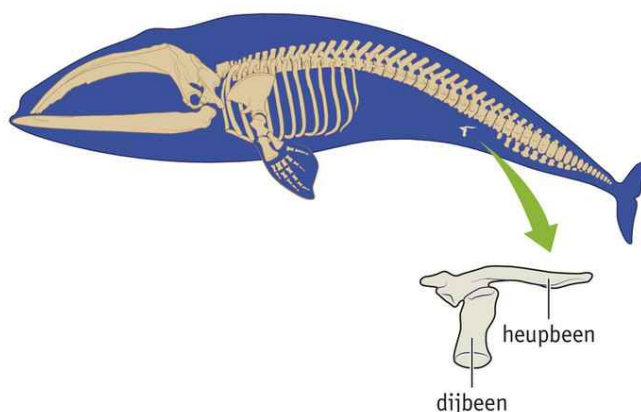
3 de staartvin van een vis

Ten slotte zijn rudimentaire structuren (ledematen, organen en orgaanstelsels) ook een argument voor de evolutie. Door aanpassing aan het milieu kunnen lichaamsdelen hun functie verliezen. Je noemt ze dan rudimentaire ledematen, organen, orgaanstelsels, of rudimenten. Vaak zijn het organen die in de loop van de evolutie verdwijnen. Voorbeelden van rudimenten bij dieren zijn het bekken bij een walvis en de pootresten bij sommige reuzenslangen (zie afbeelding 45). Rudimentaire organen ontstaan op dezelfde manier als homologe organen bij verwante soorten. Ze komen echter niet meer tot ontwikkeling en hebben geen functie meer. Veel plantenetende zoogdieren hebben een lange blindedarm die een functie bij de vertering heeft. Bij de mens is de blindedarm rudimentair. Rudimentaire lichaamsdelen kunnen aantonen dat verschillende soorten organismen een gemeenschappelijke voorouder hebben gehad.

■ **Afb. 45** Rudimenten bij dieren.



1 python met rudimentaire poten



2 walvis met rudimentair bekken

Opdrachten **KENNIS**

- 85** Mensen hebben een staartbeentje en staartwervels.
- a** Leg uit waarom dit rudimentaire structuren zijn.
 - b** Waarom hadden deze structuren voor onze voorouders een voordeel, maar zijn deze bij de mens rudimentaire structuren geworden?
- 86** Leg bij de volgende vragen steeds je antwoord uit.
- a** Zijn de staart van een walvis en de staartvin van een zalm homologe of analoge structuren?
 - b** Zijn de poten van insecten en de poten van zoogdieren homologe of analoge structuren?
 - c** Zijn de staart van een krokodil en de staart van een muis homologe of analoge structuren?

DNA-ANALYSE

Tijdens de ontwikkeling van het leven op aarde zijn allerlei soorten organismen ontstaan. Soorten die een gemeenschappelijke voorouder hebben, vertonen verwantschap. **DNA-analyse** van de organismen speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de mate van de verwantschap. Bij DNA-analyse wordt de specifieke nucleotidenvolgorde van DNA (de DNA-sequentie) bepaald. Omdat niet alle genetische veranderingen in het fenotype zichtbaar worden, is rechtstreekse bestudering van het DNA een veel nauwkeuriger manier om de mate van verwantschap tussen organismen te bepalen. Het zoeken naar overeenkomsten en verschillen in DNA heet evolutionaire genetica. Door DNA van twee of meer verschillende soorten organismen met elkaar te vergelijken, kun je de **afstamming** van een soort bepalen. Hoe meer de DNA-sequenties overeenkomen, hoe groter de verwantschap.

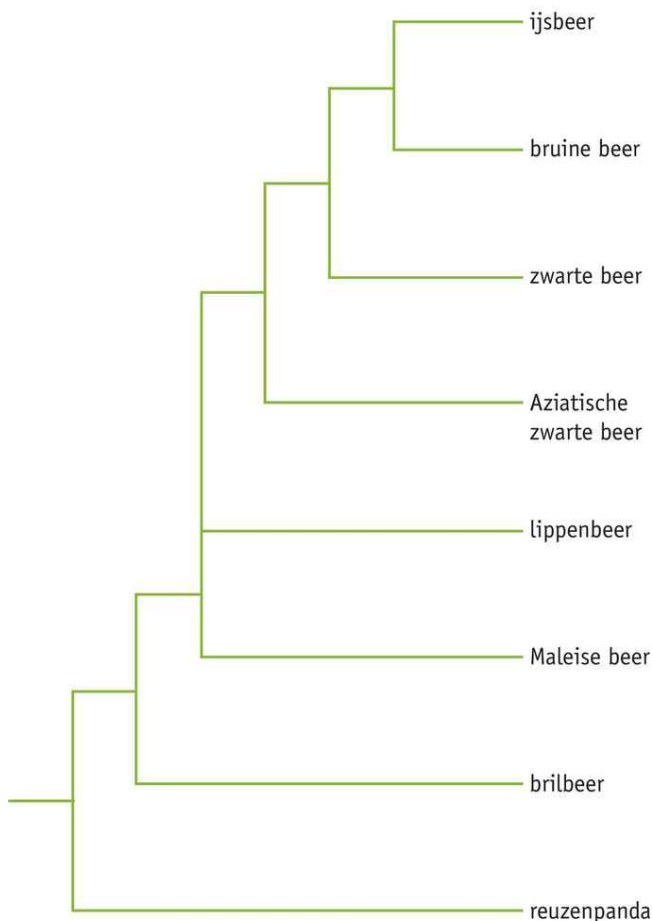
Door DNA-sequencing ontstaan nieuwe inzichten over de verwantschap van organismen. Een belangrijk uitgangspunt is of een groep monofyletisch is: afkomstig van een gemeenschappelijke voorouder.

CLADISTIEK

Een groep soorten die bestaat uit een voorouder en alle nakomelingen daarvan, noem je een **clade** (Grieks: klados = tak). De schematische weergave van de verwantschap tussen de soorten van een clade heet een **cladogram**. Een cladogram kun je maken door vergelijking van uiterlijke, anatomische, biochemische of genetische kenmerken. Deze onderzoeksmethode heet cladistiek.

In een cladogram geef je de verwantschap weer met behulp van verbindingslijnen tussen de verschillende soorten (zie afbeelding 46). Bij elke splitsing zijn uit een gemeenschappelijke voorouder nieuwe soorten ontstaan en is er één kenmerkende eigenschap waarin de soorten in de vertakkingen van elkaar verschillen. Hoe verder naar links, hoe langer geleden. En hoe langer geleden de gemeenschappelijke voorouder leefde, hoe kleiner de verwantschap.

De volgorde van de organismen van boven naar beneden vertegenwoordigt niet de volgorde van ontstaan.

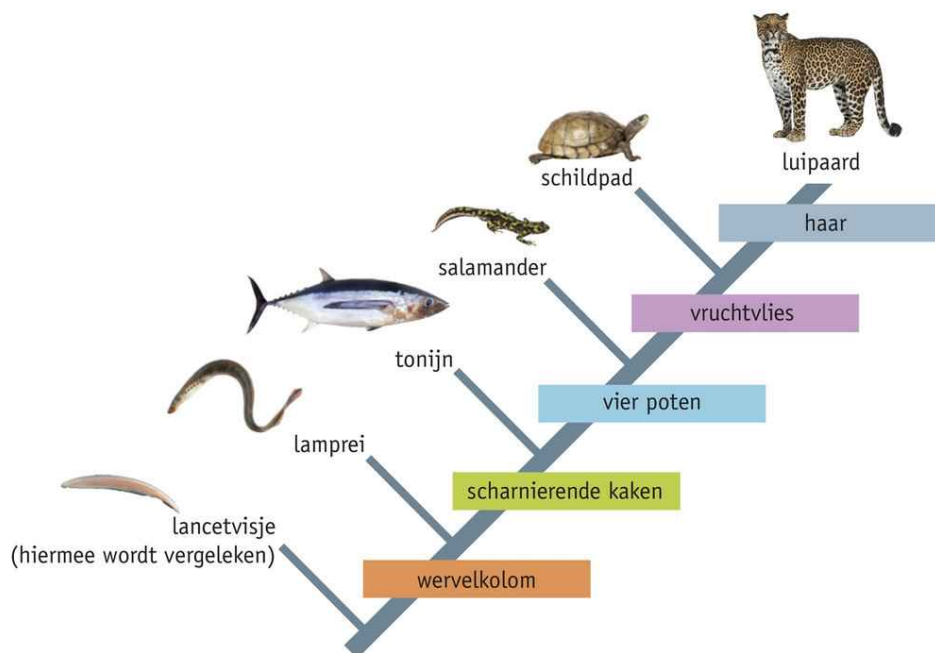
■ **Afb. 46** De evolutionaire stamboom van beren.

Op basis van de kenmerken van een aantal diersoorten (zie tabel 1) is een cladogram gemaakt (zie afbeelding 47). Het lancetvisje bijvoorbeeld verschilt van de overige soorten doordat het geen wervelkolom heeft en de overige soorten wel. De lamprei of prik is een vis zonder kaken.

Tabel 1 Vergelijking van eigenschappen van zes diersoorten.

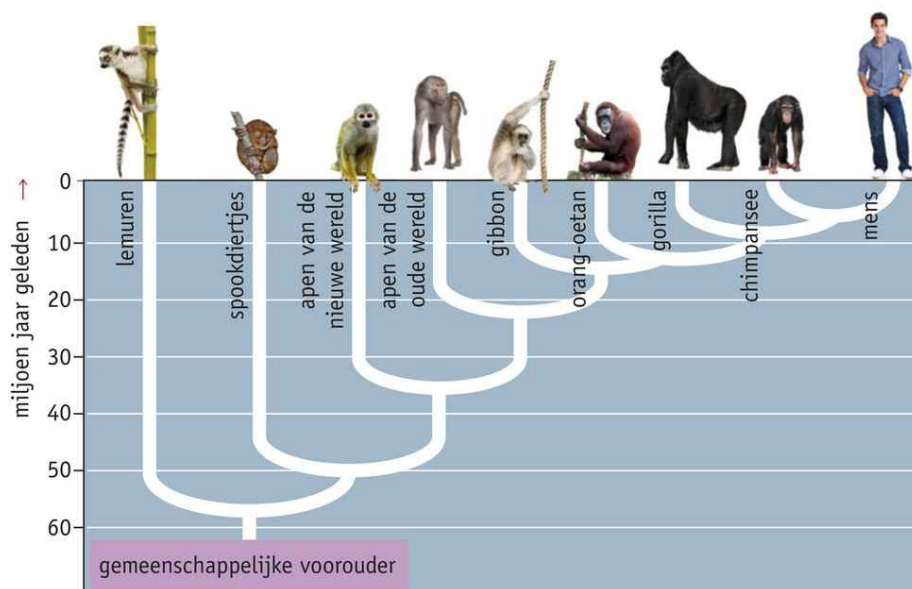
Eigenschap	Lancetvisje	Lamprei	Tonijn	Salamander	Schildpad	Luipaard
Haar	0	0	0	0	0	1
Een vruchtvlies tijdens de embryonale ontwikkeling	0	0	0	0	1	1
Vier poten	0	0	0	1	1	1
Scharnierende kaken	0	0	1	1	1	1
Wervelkolom	0	1	1	1	1	1

■ **Afb. 47** Een cladogram van zes diersoorten.



In afbeelding 48 zie je een stamboom van primaten. Waar een cladogram alleen een relatie van verschillende soorten tot een voorouder laat zien, gaat een stamboom iets verder: die laat ook het tijdsaspect van de relatie zien (hoe onderscheidde de soort zich in de loop van een bepaalde tijd van de voorouder). Een stamboom is onder andere gebaseerd op een vergelijking van de bouw van soorten, en op fossielen. Als je ervan uitgaat dat de mens en de weergegeven apensoorten een recente gemeenschappelijke voorouder hebben, kun je op basis van deze gegevens een stamboom maken.

■ **Afb. 48** De ontwikkeling van primaten.



FOSSIELEN

Fossielen zijn overblijfselen van organismen uit het verleden. Ze zijn versteend of zichtbaar als afdruk in gesteenten (zie afbeelding 49). Veel fossielen worden gevonden in gesteentelagen. Meestal liggen de jongste gesteentelagen het dichtst aan de oppervlakte. Oudere gesteentelagen liggen dieper in de aardkorst.

Fossielen van sommige soorten komen voor in één type gesteentelaag. Ze zijn niet aanwezig in oudere en jongere gesteentelagen. Blijkbaar hebben deze soorten organismen alleen in een bepaalde periode geleefd en zijn daarna uitgestorven. Hieruit blijkt dat er tijdens de geschiedenis van de aarde soorten zijn ontstaan en weer zijn verdwenen. Fossielen laten soms ook zien dat soorten veranderen.

De ouderdom van fossielen kun je vaststellen aan de hand van **radioactieve isotopen**. Dat zijn instabiele atomen die langzaam uiteenvallen in andere atomen. Onder invloed van zonnestraling bijvoorbeeld wordt een klein deel van de koolstof in de atmosfeer radioactief (^{14}C). Planten nemen koolstofdioxide uit de lucht op voor de fotosynthese. Dit koolstofdioxide bevat naast normale koolstofatomen (^{12}C) ook de isotoop ^{14}C . De plant maakt van beide typen koolstofatomen organische moleculen. Als de plant wordt gegeten, komen beide typen koolstofatomen terecht in de organische moleculen van de planteneter. Gaan planten of dieren dood, dan vallen de ^{14}C -atomen in de dode resten langzaam uiteen en worden ze stabiele stikstofatomen (^{14}N). Na 5730 jaar is de helft van de ^{14}C -atomen uiteengevallen. Deze periode noem je de halfwaardetijd van een isotoop. Na nog eens 5730 jaar is opnieuw de hoeveelheid radioactieve isotopen gehalveerd en is dus nog maar een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid ^{14}C in de dode resten van de organismen aanwezig.

Door de verhouding tussen ^{12}C en ^{14}C in een gevonden fossiel te vergelijken met de verhouding in levende organismen, kun je vaststellen hoe oud een fossiel is. Deze aanpak heet koolstofdatering. Omdat de halfwaardetijd van ^{14}C op een evolutionaire tijdschaal best kort is, kun je op deze manier alleen fossielen die maximaal 60 000 jaar oud zijn betrouwbaar dateren. Van oudere fossielen kun je de leeftijd vaststellen door de ouderdom te bepalen van gesteente waarin het fossiel is gevonden.

Soms kun je de ouderdom van gesteente afleiden uit de fossielen die je erin aantreft. Dat is het geval bij fossielen van soorten die zich in een relatief korte tijd over grote gebieden hebben verspreid en daarna zijn uitgestorven. Gesteenten waarin fossielen van deze soorten voorkomen, zijn dus alle van ongeveer gelijke ouderdom. Deze fossielen noem je gidsfossielen.

■ **Afb. 49** Een fossiel: een versteend bot van een dinosaurus.



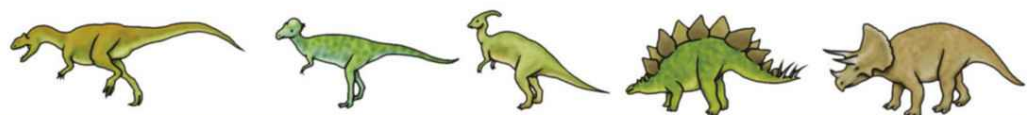
Opdrachten **KENNIS**

- 87 a Waarin verschilt een stamboom van een cladogram?
 b De evolutionaire relaties tussen alle soorten kun je via één fylogenetische stamboom weergeven.
 Leg aan de hand van het begrip 'stamboom' uit dat alle soorten op aarde uiteindelijk aan elkaar verwant zijn.
- 88 Bekijk afbeelding 48.
 a Is de orang-oetan meer verwant aan de gorilla of aan de gibbon?
 b Welke primate is later ontstaan, de lemur of het spookdier?
- 89 a Waardoor is het lastig voor onderzoekers om aan twee nagenoeg identieke fossielen te zien of ze tot dezelfde soort behoren?
 b DNA-onderzoek geeft soms nieuwe informatie over verwantschap die niet overeenkomt met stambomen die tot stand zijn gekomen door onderzoek naar fossielen.
 Leg uit of deze nieuwe informatie aanleiding zou moeten geven tot aanpassing van de stamboom.

Opdrachten **INZICHT**

- 90 Het pantoffeldiertje werd lange tijd tot het dierenrijk gerekend, omdat het niet in staat is tot fotosynthese. Op grond van biochemisch onderzoek kan het pantoffeldiertje worden ingedeeld bij de fotosynthetiserende algen.
 Wat betekent dit voor de voorouders van het pantoffeldiertje, als je ervan uitgaat dat de groep fotosynthetiserende algen monofyletisch is?
- 91 Door het bestuderen van fossiele resten van dinosauriërs is veel bekend geworden over de bouw van de skeletten van deze dieren. Afbeelding 50 geeft een overzicht van een aantal kenmerkende eigenschappen van het skelet van vijf verschillende genera (geslachten). Met een plus of min is aangegeven of de eigenschap wel of niet aanwezig is.
 Teken een cladogram op basis van de gegevens in afbeelding 50.

■ Afb. 50 Saurussoorten.



	Allosaurus	Pachycephalosaurus	Parasaurolophus	Stegosaurus	Triceratops
Gat in kom heupgewricht	+	+	+	+	+
Uitsteeksel heupbeen	–	+	+	+	+
Afwijkend tandglazuur	–	+	+	–	+
Rand aan schedelbasis	–	+	–	–	+

- 92 a** Welke functie heeft het bekken bij de meeste zoogdieren?
b Een vis heeft geen bekken.
 Zijn walvissen (zie afbeelding 45) in de evolutie waarschijnlijk ontstaan uit vissen of uit landzoogdieren?
- 93** In deze opdracht werk je een voorbeeld van cladistisch onderzoek uit aan de hand van cytochroom c. Cytochroom c is een enzym dat een rol speelt bij de verbranding in mitochondriën. Enzymmoleculen zijn (net als alle andere eiwitmoleculen) opgebouwd uit een groot aantal aan elkaar gekoppelde aminozuurmoleculen. Er zijn twintig verschillende aminozuren. Door mutaties in de genen kunnen veranderingen in de aminozuurvolgorde ontstaan.
 In tabel 2 zie je de aminozuursamenstelling van het cytochroom c van vier zoogdiersoorten. Alleen de aminozuren die verschillend zijn, zijn vermeld. Op de onderste rij zie je de aminozuursamenstelling van de gemeenschappelijke voorouder van deze soorten.
 De volledige namen van de aminozuren vind je in **BiNaS** tabel 67H en tabel 71G.
- a** Bij positie 19 en 20 zijn de aminozuren van mens en resusaap wel veranderd en die van hond en kangoeroe niet.
 Voor hoeveel posities geldt hetzelfde?
- b** Teken het cladogram zoals dat eruit zou zien op basis van alleen deze posities.
- c** Op positie 66 is bij de mens en de kangoeroe dezelfde verandering opgetreden. Dit zou betekenen dat de mens en de kangoeroe voor een deel een gemeenschappelijke ontwikkeling hebben meegemaakt die de hond en de resusaap niet hadden. Toch is dit zeer onwaarschijnlijk.
 Welke andere verklaring is mogelijk voor dit gegeven?
- d** Leg uit dat cytochroom c niet voorkomt in bacteriën en archaea.

Tabel 2 De aminozuursamenstelling van het cytochroom c van vier zoogdieren.

Soort	Nummer (positie) van aminozuur													
	19	20	23	41	43	53	55	58	66	70	91	96	97	111
Mens	Phe	Met	Ser	His	Leu	Tyr	Ser	Ala	Ile	Asp	Val	Lys	Glu	Asn
Rhesusaap	Phe	Met	Ser	His	Leu	Tyr	Ser	Ala	Thr	Asp	Val	Lys	Glu	Asn
Hond	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr	Glu	Ala	Thr	Gly	Lys
Kangoeroe	Val	Gln	Ala	Asn	Ile	Phe	Thr	Asp	Ile	Asp	Ala	Lys	Gly	Asn
Voorouder	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr	Asp	Ala	Lys	Gly	Asn

- 94** Bacteriën die ongevoelig (resistent) zijn voor de meeste antibiotica noem je bijzonder resistente micro-organismen (BRMO). MRSA is een van de bekendste resistente bacteriën. Een andere groep staat bekend onder de naam CPE-bacteriën. Dit is een groep van verschillende soorten bacteriën die het enzym carbapenemase bezitten dat bepaalde soorten antibiotica kan afbreken.
 Zijn de resistenties bij verschillende soorten CPE-bacteriën een voorbeeld van homologie of analogie? Leg je antwoord uit.

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Wetenschap

VOETEN GEZOCHT

De mens heeft heel wat evolutionaire voorouders, zo vertellen de fossielen ons. Onze voorouders van 300 miljoen jaar geleden waren amfibieën en die van 400 miljoen jaar geleden primitieve vissen. Darwins evolutietheorie stelt dat soorten ontstaan uit andere soorten, stap voor stap.

Over de betekenis van fossielen was nog weinig bekend toen Darwin in 1859 zijn evolutietheorie schreef. Het leek alsof fossielen van vogels in gesteenten uit het niets waren verschenen. Het was ook onbekend hoe vissen gedurende de evolutie in staat waren uit zee te kruipen om aan land te gaan leven. Fossielen ontbraken van soorten die deze belangrijke veranderingen in de evolutie markeren. Om Darwins evolutietheorie te toetsen, zoeken wetenschappers naar deze overgangsfossielen, ook wel missing links genoemd.

Zo ontdekte Neil Shubin van de University of Chicago de missing link tussen vissen en de eerste landdieren. In 2004 vond hij met zijn team dicht bij de Noordpool in Canada 375 miljoen jaar oude gesteenten met een rijkdom aan fossielen van tropische vissen. Maar ze vonden ook een heel bijzonder fossiel dat ze Tiktaalik noemden (zie afbeelding 51). Tiktaalik had schubben

en vinnen als een vis, maar ook een nek, waardoor het hoofd apart van de romp kon bewegen. Ook had Tiktaalik ogen aan de bovenzijde van het platte hoofd, net als een krokodil. De botten in de vinnen van Tiktaalik kwamen overeen met het bouwplan van landdieren. Hij had een schouder, elleboog en pols, waardoor hij waarschijnlijk met zijn vinnen op het land kon lopen. Tiktaalik was een ware missing link.

■ **Afb. 51** Het model van Tiktaalik in het natuurhistorisch museum Lee Kong Chian.

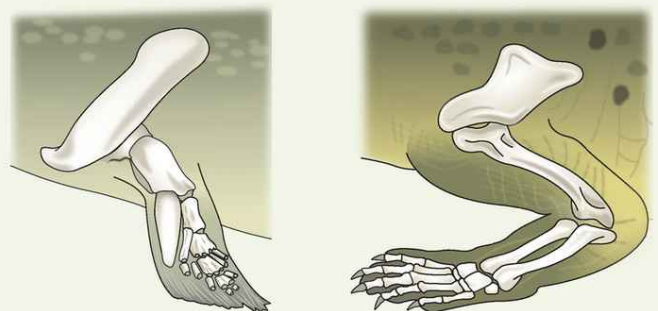


Opdrachten

- 95** De plek waar Shubin zijn ontdekking van Tiktaalik deed, was nogal opmerkelijk, omdat hij vooral fossielen van tropische dieren vond.
- Wat is er zo opmerkelijk aan de vondstplek?
 - Fossielen van tropische dieren werden gevonden in het arctisch gebied. Wat kun je hieruit afleiden over het klimaat in het arctisch gebied ten tijde van de Tiktaalik?
 - Leg uit wat Tiktaalik een ware missing link maakt.
- 96** In de tekst staat dat de zoektocht naar een missing link eigenlijk een zoektocht is naar bewijs voor de evolutietheorie van Darwin.
- Waardoor is het ontbreken van een missing link tussen vissen en landdieren een probleem voor de evolutietheorie van Darwin?

- b** In afbeelding 52 zijn de poten van Tiktaalik en een krokodil afgebeeld. Is de overeenkomst voldoende bewijs dat de krokodil afstamt van Tiktaalik? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 52** De poten van Tiktaalik en een krokodil.



1 Tiktaalik

2 krokodil

KOMEN MAMMOETEN WEER TOT LEVEN?

LEERDOEL

4.S.1 Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op het uitsterven en opnieuw creëren van de mammoet.

Het opnieuw creëren van een uitgestorven soort kan toch alleen in een sciencefictionfilm? Zo was het tot leven wekken en klonen van dinosaurussen een fluitje van een cent voor de miljardair John Hammond en een aantal wetenschappers in de film *Jurassic Parc*. Hammond toonde de dinosaurussen als toeristische attractie aan het publiek op een eiland aan de kust van Costa Rica.

Ruim dertig jaar later wil George Church van het Amerikaanse bedrijf Colossal Biosciences de uitgestorven wolharige mammoet 'terughalen'. Deze keer niet in een film, maar in het echt. Wolharige mammoeten (zie afbeelding 1) behoorden tot een geslacht van de olifantachtigen. Zij leefden gedurende de ijstijden, totdat ze ergens tussen de vijf- en tienduizend jaar geleden uitstierven. Klimaatveranderingen zorgden voor een einde aan de ijstijden. Doordat de temperatuur op aarde steeg, konden bomen beter groeien en veranderden toendra's in bossen, zodat de mammoet zijn leefgebied verloor. Uiteindelijk is de mammoet waarschijnlijk door gebrek aan voedsel uitgestorven. Hij liet botten en enorme slaganden achter, die door natuurwetenschappers zijn verzameld.

Voor het opnieuw creëren van de mammoet wil Colossal Biosciences huidcellen nemen van de Aziatische olifant en het DNA daarin met behulp van DNA-technologie zodanig aanpassen dat het stamcellen worden die mammoet-DNA bevatten. Mammoet-genen die in het olifanten-DNA worden ingebracht, zijn onder meer betrokken bij de vorming van mammoethaar, isolerende vetlagen en andere aanpassingen aan extreme koude. De embryo's die uit deze cellen ontstaan, wilde George Church oorspronkelijk inbrengen in draagmoeders. Daarvoor had hij olifantenkoeien (vrouwelijke olifanten) van de Aziatische soort op het oog. Maar dat idee heeft hij losgelaten. Voor het fokken van een kudde zouden ze wel erg veel draagmoeders nodig hebben. Mogelijk gaat Colossal Biosciences werken met kunstbaarmoeders.

De herrezen mammoeten, die eigenlijk geen echte mammoeten zijn, maar olifanten met mammoetkenmerken, moeten dan de toendravlaktes van Noord-Siberië opnieuw bevolken. Russische ecologen hebben al eerder bizonen en andere soorten ingevoerd in een natuurreservaat in Siberië, in de hoop de toendra weer in grasland te veranderen. George Church hoopt dat herrezen wolharige mammoeten dit efficiënter kunnen doen. Het herstelde grasland zou dan het smelten en eroderen van de bodem kunnen tegengaan en de uitstoot van het broeikasgas kooldioxide kunnen verminderen. Andere wetenschappers hebben kritiek op en ethische vragen over het onderzoek. Zij vragen zich bijvoorbeeld af of het wel een goede zaak is dat er mammoeten worden losgelaten om het ecosysteem van de toendra's ingrijpend te veranderen.

■ **Afb. 1** De wolharige mammoet.



Opdrachten

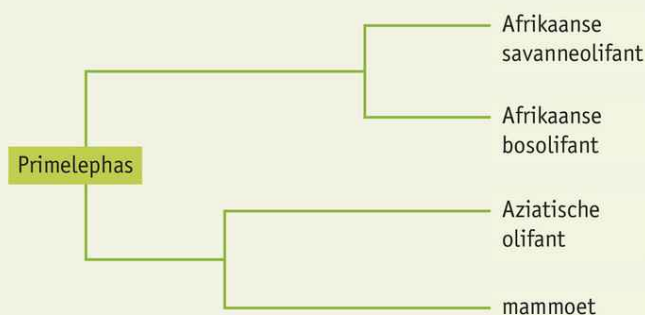


- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau:
 Aziatische olifant – bossen – botten – dinosaurussen – DNA – draagmoeder –
 embryo's – huidcel – slagstanden – stamcellen – toendra's – vetlagen –
 wolharige mammoet.

Organisatieniveau	Begrip
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Weefsel	
Cel	
Molecuul	

- 2 De wetenschappelijke naam van de wolharige mammoet is *Mammuthus primigenius*; die van de Aziatische olifant is *Elephas maximus*.
 Behoren beide organismen tot hetzelfde geslacht en dezelfde soort?
- 3 De gemeenschappelijke voorouder van de Aziatische en Afrikaanse olifant is *Primelephas* (zie afbeelding 2).
- Waarom wil Colossal Biosciences gebruikmaken van cellen van de Aziatische olifant en niet de Afrikaanse olifant?
 - Zijn de Aziatische en Afrikaanse olifant ontstaan door sympatrische of allopatrische soortvorming? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 2** Verwantschap van olifanten en de mammoet.



- 4 De Aziatische olifant komt voor in bosrijke gebieden en heeft kleinere oren dan de Afrikaanse olifant die voorkomt op savannes. De oren van de olifant dienen onder andere voor het afvoeren van warmte.
 Beschrijf een manier waarop de verschillen in grootte van het oor tussen deze twee olifantensoorten konden ontstaan.
- 5 Er bestaan twijfels of bestaande olifanten wel willen paren met de 'nieuwe mammoeten'. Drie vormen van selectie zijn: natuurlijk, kunstmatig en seksueel.
 Van welke vorm van selectie zou sprake zijn wanneer de Aziatische olifanten niet willen paren met 'de nieuwe mammoeten'? Licht je antwoord toe.
- 6 Als de nieuwe mammoet een nieuwe soort blijkt te zijn, zou je dan kunnen spreken over allopatrische of sympatrische soortvorming?

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

4.O.1 Je kunt de zichtbare delen van boomalg herkennen en benoemen.

- ▶ Basisstof 1
- ▶ Vaardigheden 1, 2, 3 en 4 (thema 1)

Boomalg (*Protococcus Viridis*)

 30 minuten

INLEIDING

Anders dan de meeste algen leven boomalgen niet in het water, maar op de schors van bomen. In dit practicum onderzoek je hoe boomalgen er onder een microscoop uitzien.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe ziet een boomalg eruit onder een microscoop?

MATERIAAL

- stukje boomschors met groene aanslag (boomalg)
- microscoop
- prepareermateriaal

METHODE

- Schrap wat groene aanslag van het stukje boomschors en maak hiervan een preparaat. Druk met je wijsvinger licht op het dekglasje en maak een draaiende beweging.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Je ziet losse boomalgcellen met celwanden. Je ziet ook groepjes boomalgcellen die aan elkaar vastzitten. Dat komt doordat de cellen na deling niet meteen loslaten van elkaar. Soms zie je ook delende boomalgcellen.
- Maak tekeningen van losse boomalgcellen en van groepjes boomalgcellen.

RESULTAAT

- Tekeningen van losse boomalgcellen en van groepjes boomalgcellen bij een vergroting van 400×.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

4.O.2 Je kunt de zichtbare delen van een pantoffeldiertje herkennen en benoemen.

- ▶ Basisstof 1
- ▶ Vaardigheden 1, 2 en 4 (thema 1)

Pantoffeldiertje (*Paramecium spec.*)

 30 minuten

INLEIDING

Pantoffeldiertjes zijn eencelligen die in zoetwater leven. In dit practicum onderzoek je hoe pantoffeldiertjes er onder een microscoop uitzien.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe ziet een pantoffeldiertje eruit onder een microscoop?

MATERIAAL

- kant-en-klaar preparaat van pantoffeldiertjes
- microscoop
- tekenmateriaal

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100× of 400×.
- Maak een tekening van een pantoffeldiertje met een vergroting van 400×.
- Optioneel: schrijf de woorden trilharen, cytoplasma en celmembraan op de juiste plaats in de tekening.

RESULTAAT

- Tekening van een pantoffeldiertje bij een vergroting van 100×.

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

4.O.3 Je kunt met een experiment de invloed van snijbloemenvoedsel op de bacteriegroei in bloemenwater bepalen.

- ▶ Basisstof 2
- ▶ Vaardigheid 5 en 7 (thema 1)

Bacteriegroei in bloemenwater

 3 × 20 minuten

INLEIDING

Als je bij de bloemist een bos bloemen koopt, krijg je daar meestal een zakje snijbloemenvoedsel bij. Het zakje bevat niet alleen voedsel voor de snijbloemen, maar ook middelen die de groei van bacteriën remmen. Bacteriën kunnen namelijk goed groeien in een vaas met leidingwater en bloemstelen.

Op het zakje snijbloemenvoedsel staat dat je de inhoud van het zakje moet oplossen in een halve liter water. Veel boeketten komen echter terecht in een vaas met meer dan een halve liter water. De concentratie snijbloemenvoedsel is dan te laag. De fabrikant van snijbloemenvoedsel wijst de bloemisten er voortdurend op dat zij hun klanten voldoende zakjes snijbloemenvoedsel meegeven, omdat er anders te veel bacteriën in het bloemenwater groeien. De boeketten zullen daardoor veel minder lang houdbaar blijven bij de consument, stelt de fabrikant.

Een bloemist wil weten of het waar is wat de fabrikant van het snijbloemenvoedsel beweert. Bovendien wil hij weten of er sowieso meer bacteriën in het bloemenwater groeien als er helemaal geen snijbloemenvoedsel wordt gebruikt.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van snijbloemenvoedsel op de ontwikkeling van het aantal bacteriën in bloemenwater?

HYPOTHESE

- 1 Formuleer de hypothese van de bloemist. Formuleer ook de bijbehorende verwachting.

MATERIAAL

- drie bossen bloemen
- drie vazen of bakken met water (0,5 tot 1 liter)
- twee zakjes snijbloemenvoedsel
- drie steriele petrischalen met voedingsbodem
- entnaald of ijzerdraad
- brander
- 70% alcohol
- broedstoof

METHODE

- Zet de bloemen in de drie bakken met ieder 0,5 liter water.
- Voeg aan vaas 1 geen snijbloemenvoedsel toe, aan vaas 2 een half zakje en aan vaas 3 een compleet zakje snijbloemenvoedsel.
- Laat de bloemen een week in het water staan.
- Houd het oog van de entnaald of het uiteinde van een metaaldraad in de vlam van een brander en daarna in 70% alcohol. Steek nu de entnaald in vaas 1 en strijk voorzichtig over de gehele voedingsbodem van een petrischaal. Sluit de schaal snel en noteer: vaas 1. Herhaal de procedure voor de vazen 2 en 3.
- Zet de drie petrischalen gedurende twee dagen in een broedstoof bij 37 tot 40 °C. Tel daarna het aantal kolonies of bepaal het gedeelte van de schaal dat is bedekt met kolonies van de bacteriën.

RESULTAAT

- 2 Geef in een tabel de aantallen kolonies of de bedekkingsgraad per bak weer.

CONCLUSIE

- 3 Is de hypothese bevestigd?
- 4 Wat zou de oorzaak kunnen zijn als er in alle drie petrischalen veel bacteriegroei is opgetreden?

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

- 4.O.4** Je kunt met een experiment onderzoeken of de kleurvariatie bij een populatie prooidieren verandert onder invloed van roofdieren.
- Basisstof 3
 - Vaardigheid 7 (thema 1)

Natuurlijke selectie gesimuleerd

 30 minuten

INLEIDING

Natuurlijke selectie speelt een belangrijke rol in de evolutietheorie. Binnen een populatie met diverse eigenschappen hebben de best aangepasten meer kans om bedreigingen uit hun omgeving te overleven. Bedreigingen zijn bijvoorbeeld honger, kou, ziekten of roofdieren. In dit practicum onderzoek je de invloed van roofdieren op het kleurpatroon van een prooidier.

ONDERZOEKSVRAAG

Verandert de verdeling in kleurvariatie bij een prooidier onder invloed van roofdieren?

HYPOTHESE

Afhankelijk van de kleur van de omgeving zullen prooidieren met bepaalde kleuren meer worden gevangen dan anders gekleurde prooidieren.

MATERIAAL

- tweehonderd papieren rondjes in verschillende kleuren
- gebloemde lap of stuk behangpapier met kleurig bloemenmotief
- zonnebril

METHODE

- Je voert dit practicum in duo's uit. Ieder duo krijgt een gebloemde lap of een stuk behangpapier.
- Strooi daarop twintig rondjes van elk van de volgende tien kleuren: rood, geel, oranje, blauw, groen, roze, paars, wit, zwart en bruin.
- Schud de rondjes over het gehele vlak uit.
- Nu speelt een van de twee het roofdier. Hij of zij pakt steeds zo snel mogelijk een duidelijk zichtbaar rondje en legt dat op tafel. De ander telt en geeft een stopteken als er veertig rondjes zijn 'gevangen' of als er twee minuten voorbij zijn.
- Noteer hoeveel rondjes van elke kleur zijn gevangen.

Voeg nu ongeveer veertig nieuwe rondjes toe. Is een bepaalde kleur niet gevangen, dan doe je daarvan zeven rondjes erbij. Bij een, twee of drie keer gevangen doe je er vier rondjes bij. Bij meer keren gevangen geen rondjes. Schud ze uit over het gehele vlak.

- Herhaal deze werkwijze twee keer.
- Tel nu het eindresultaat dat op het vlak ligt.

Wissel van rol. Deze keer zet degene die roofdier is een zonnebril op (een roofdier dat alles in zwart-wit ziet). Het roofdier pakt weer zo snel mogelijk een voor een de duidelijk zichtbare rondjes en legt deze op tafel. De ander telt en geeft een stopteken als er veertig rondjes zijn 'gevangen' of als er twee minuten voorbij zijn.

RESULTAAT

- 1 Geef de resultaten weer in een tabel. Zet in kolom 1 van de tabel de tien kleuren, in kolom 2 het aantal met zonnebril en in kolom 3 het aantal zonder zonnebril.

CONCLUSIE

- 2 Verklaar het resultaat dat na een paar generaties is bereikt.
- 3 Leg uit hoe het verschil tussen experiment 1 (zonder zonnebril) en experiment 2 (met zonnebril) is ontstaan.

Practicumopdracht 5

ONDERZOEKSDOEL

4.O.5 Je kunt met een onderzoek de lichaamslengte bepalen van twee volwassen exemplaren van *Australopithecus afarensis* aan de hand van hun voetstappen.

- Basisstof 6
- Vaardigheid 7 (thema 1)

Lichaamslengte schatten aan de hand van gevonden voetafdrukken

 50 minuten

INLEIDING

In 1978 vond Mary Leakey in Laetoli (Tanzania) afdrukken van voetsporen van drie hominiden (aapmensen) van de soort *Australopithecus afarensis* (zie afbeelding 1). Onderzoek aan de voetsporen gaf informatie over de lichaamsbouw en de manier van lopen. In dit practicum onderzoek je wat de lichaamslengte van deze hominiden was.

- **Afb. 1** Reconstructie van twee volwassen exemplaren van *Australopithecus afarensis*.



ONDERZOEKSVRAAG

Wat was de lichaamslengte van de twee volwassen exemplaren van *Australopithecus afarensis* waarvan in Laetoli alleen de voetstappen zijn gevonden?

Tabel 1 Afmetingen van twee paar Laetoli-voetafdrukken.

	Volwassene 1	Volwassene 2
Lengte van de voet	21,5 cm	18,5 cm
Breedte van de voet	10 cm	8,8 cm
Paslengte (afstand tussen de afdrukken)	47,2 cm	28,7 cm
Geschatte lichaamslengte	134-156 cm	115-134 cm

MATERIAAL

- lege ruimte die groot genoeg is om een stukje te wandelen
- rolmaat of meetlint
- water
- handdoek

METHODE

Onderzoek eerst bij mensen van verschillende lengte het verband tussen hun beenlengte en hun paslengte. Dat doe je door de proefpersonen op natte, blote voeten in wandeltempo door een ruimte te laten lopen.

Meet van elke proefpersoon de beenlengte en de paslengte.

RESULTATEN

- 1 Maak een tabel van de beenlengte en de paslengte van je proefpersonen.
- 2 Maak daarna aan de hand van deze tabel een grafiek van het verband tussen beenlengte en paslengte.

CONCLUSIE

- 3 Vergelijk de paslengte van de twee Laetoli-volwassenen (zie tabel 1) met jouw grafiek.
Hoe lang waren de benen van deze twee exemplaren van *A. afarensis*?
- 4 In tabel 1 staat een schatting van de lichaamslengte van deze twee *Australopithec*i.
Hoe zou Mary Leakey tot deze schatting zijn gekomen?
- 5 Bereken met behulp van tabel 1 hoe lang de twee volwassenen waarschijnlijk waren.

DISCUSSIE

- 6 Vergelijk je uitkomst bij vraag 5 met de lichaamslengte in tabel 1.
Geef een verklaring voor eventuele verschillen.

SAMENVATTING

4.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt benoemen uit welke periode de eerste levende organismen op aarde stammen.

- De aarde bestaat ongeveer 4,6 miljard jaar (zie **BiNaS** tabel 94A).
 - 3,8 miljard jaar geleden ontstonden de eerste eencellige vormen van leven.
 - 670 miljoen jaar geleden: eerste meercelligen
 - 400 miljoen jaar geleden: eerste landplanten
 - 350 miljoen jaar geleden: eerste gewervelden
 - 65 miljoen jaar geleden: eerste zoogdieren en vogels
 - De oudste fossielen met menselijke kenmerken zijn ongeveer 5 miljoen jaar oud.

4.1.2

Je kunt het ontstaan van prokaryoten en eukaryoten beschrijven.

- Anorganische stoffen:
 - komen zowel in organismen voor als in de levenloze natuur
 - kleine, eenvoudig gebouwde moleculen
 - bijv. koolstofdioxide, water, keukenzout, zuurstofgas
- Organische stoffen:
 - meestal afkomstig van organismen of van producten van organismen
 - relatief grote, ingewikkeld gebouwde moleculen
 - de moleculen bevatten een of meer atomen koolstof (C), waterstof (H) en (meestal) zuurstof (O)
 - bijv. koolhydraten (glucose, zetmeel), eiwitten, vetten
- Heterotrofe organismen:
 - kunnen geen organische stoffen maken uit alleen anorganische stoffen
 - hebben andere organismen nodig als voedsel
 - nemen organische en anorganische stoffen op uit hun milieu
- Autotrofe organismen:
 - kunnen organische stoffen maken uit alleen anorganische stoffen
 - hebben geen andere organismen nodig als voedsel
 - nemen anorganische stoffen op uit hun milieu
- Chemische evolutie: het ontstaan van leven uit levenloze materie.
 - Tijdens de chemische evolutie werden stoffen gevormd waaruit de eerste eencellige kon ontstaan. Dit is een voorbeeld van zelforganisatie: hierbij ontstaan eenheden met nieuwe eigenschappen op een hoger organisatieniveau.
 - De oeratmosfeer bevatte geen zuurstof.
 - In de oeratmosfeer (nagebootst in het Miller-Urey-experiment) ontstonden door o.a. bliksemontladingen en uv-straling kleine organische moleculen (bijv. aminozuren, nucleotiden, koolhydraten en vetzuren).
 - In zeeën of bij black smokers (vulkanische schoorstenen op de bodem van oceanen) ontstond een organische oersoep, waarin grotere moleculen en vervolgens de eerste cellen zijn ontstaan.
 - De eerste organismen waren heterotrofe, anaerobe bacteriën.
 - Bacteriën bezitten een cirkelvormig chromosoom.
 - Daarna ontstonden autotrofe bacteriën (in staat tot fotosynthese). Veel autotrofe organismen bezitten chlorofyl (bladgroen).
 - Bij planten bevindt het chlorofyl zich in de chloroplasten (bladgroenkorrels).
 - De atmosfeer werd zuurstofrijk. Er ontstonden aerobe bacteriën.
- Endosymbiosetheorie (zie **BiNaS** tabel 94C):
 - Door instulping van het celmembraan zijn een celkern met kernmembraan en het endoplasmatisch reticulum ontstaan.
 - Cyanobacteriën hebben zich tot chloroplasten ontwikkeld.
 - Aerobe bacteriën hebben zich tot mitochondriën ontwikkeld.
- Prokaryote organismen:
 - hebben geen celkern, zodat het DNA los in het cytoplasma ligt
 - hebben geen vacuolen, mitochondriën of endoplasmatisch reticulum
- Eukaryote organismen:
 - hebben celkernen, waarin het DNA zich bevindt
 - hebben vacuolen, mitochondriën en een endoplasmatisch reticulum

4.1.3

Je kunt het ordeningssysteem van organismen beschrijven en toepassen.

- Alle organismen worden ingedeeld in drie domeinen: bacteriën, archaea en eukaryoten. Hierbij wordt onder andere de celwand als indelingscriterium gebruikt.
 - De rijken schimmels, planten en dieren behoren tot het domein van de eukaryoten.
- Een rijk wordt verder ingedeeld in steeds kleinere taxa (groepen):
 - Achtereenvolgens zijn dit stammen, klassen, orden, families, geslachten en soorten.
 - Een geslacht bestaat uit soorten die zich uit eenzelfde voorouder hebben ontwikkeld.
 - De ontwikkeling van levensvormen gedurende miljarden jaren heeft geleid tot een enorme biodiversiteit (verscheidenheid aan organismen).
 - Systematici onderzoeken en beschrijven de (genetische) verwantschap van organismen op basis van gemeenschappelijke afstamming.
- Binaire naamgeving:
 - een soort noem je ook wel species en een geslacht genus
 - een geslachtsnaam (voorop en met hoofdletter)
 - een soort aanduiding (met kleine letter)
 - vaak nog de naam (afgekort) van de naamgever
 - bijv. *Bellis perennis* L. (madeliefje)

4.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt kenmerken van bacteriën noemen.

- Prokaryoten: bacteriën (zie **BiNaS** tabel 78) en archaea.
 - De chromosomen liggen los in het cytoplasma.
 - Veel soorten hebben slechts één groot, cirkelvormig chromosoom. Bij sommige soorten komen ook kleine, cirkelvormige plasmiden voor.
 - De chromosomen bestaan alleen uit DNA; ze bevatten geen eiwitmoleculen.
- Archaea hebben een of meerdere flagellen (zweepstaart) voor voortbeweging.
- Bacteriën planten zich voornamelijk voort door deling.
 - Hierbij zijn de chromosomen vastgehecht aan het celmembraan.
- Soms vindt bij bacteriën uitwisseling van genen plaats:
 - door opname van DNA-fragmenten van een gestorven soortgenoot (transformatie)
 - door vorming van een holle buis naar een soortgenoot (conjugatie)

- door overbrenging door virussen (transductie)
- Bacteriën kunnen ziekten veroorzaken en voedsel bederven.
- Bacteriën worden door de mens gebruikt bij:
 - productie van sommige voedingsmiddelen (o.a. yoghurt, kaas, zuurkool)
 - productie van geneesmiddelen en hormonen (met genetisch gemodificeerde bacteriën)
 - afvalwaterzuivering en productie van wasmiddelenenzymen
- Bij genetische modificatie wordt het DNA van een organisme veranderd door de mens.

4.2.2

Je kunt kenmerken van virussen noemen.

- Virussen zijn geen organismen. Ze worden niet gezien als levend.
 - Een virus bestaat voor het grootste deel uit erfelijk materiaal. Een DNA-virus bezit DNA en een RNA-virus bezit RNA (zie **BiNaS** tabel 77B).
 - Bij alle virussen is dit molecuul omgeven door een eiwitmantel (capside; zie **BiNaS** tabel 77A).
 - Virussoorten die bacteriën als gastheer gebruiken, heten bacteriofagen.

4.2.3

Je kunt kenmerken van schimmels noemen.

- Schimmels zijn heterotroof (zie **BiNaS** tabel 78): ze voeden zich met dode resten van organismen.
 - Gisten zijn eencellige schimmels.
 - Gisten planten zich voort door knopvorming.
- Meercellige schimmels vormen een mycelium.
 - Mycelium: een netwerk van hyfen (schimmeldraden)
- De celwanden van schimmels bevatten chitine.
- Schimmels kunnen ziekten veroorzaken (o.a. zwemmerseczeem).
- Schimmels worden door de mens gebruikt bij:
 - bereiding van sommige voedingsmiddelen (o.a. kaas, brood, alcohol)
 - productie van penicilline (een antibioticum)

4.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt uitleggen wat de neodarwinistische evolutietheorie inhoudt.

- Evolutie is de ontwikkeling van het leven op aarde, waarbij soorten ontstaan, veranderen en/of verdwijnen.

- De neodarwinistische evolutietheorie gaat uit van genetische variatie (verscheidenheid in genotypen), natuurlijke selectie (survival of the fittest) en soortvorming door reproductieve isolatie.
- Genetische variatie.
 - Door mutaties en recombinatie verschillen individuen van één soort van elkaar in genotype en in fenotype.
- Natuurlijke selectie.
 - Individuen met een betere adaptatie (aanpassing) aan het milieu hebben een grotere overlevingskans.
 - Fitness of voortplantingssucces: van individuen met een gunstig genotype zullen meer nakomelingen in leven blijven en zich in de volgende generaties voortplanten dan van individuen met een minder gunstig genotype.
 - Soorten evolueren (veranderen) als door natuurlijke selectie (selectiedruk) de mutanten blijven voortbestaan en individuen van de oorspronkelijke vorm uitsterven.
 - Door een grote genetische variatie heeft een soort een grote overlevingskans.

4.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt uitleggen hoe allelen in een populatie overerven.

- Populatie: een groep individuen van dezelfde soort die in een bepaald gebied leeft en zich onderling voortplant.
 - Gene flow: uitwisseling van genen tussen verwante populaties door migratie en/of onderlinge voortplanting.
- Soort: de grootste verzameling van populaties waartussen gene flow plaatsvindt of kan plaatsvinden.
 - Een soort kan bestaan uit verschillende rassen.
- Genenpool: de verzameling van alle allelen van alle individuen in een populatie.
 - De omvang van de genenpool is een maat voor de genetische variatie.
- Allelfrequentie: hoe vaak een allel in de populatie voorkomt.
 - De allelfrequentie ligt tussen de waarden 0 en 1.
- Regel van Hardy-Weinberg (zie **BiNaS** tabel 93D3): bij willekeurige overerving blijven de allelfrequenties binnen een (grote) populatie constant.
 - De allelfrequenties van A en a worden gewoonlijk aangeduid met p en q , waarbij $p + q = 1$.

- Het totaal aan genotypen in de volgende generaties is dan: p^2 (genotype AA) + $2pq$ (genotype Aa) + q^2 (genotype aa).
- De allelfrequentie in een populatie kun je berekenen aan de hand van het percentage individuen waarbij het recessieve allel tot uiting komt in het fenotype (aa).
- Afwijkingen van de regel van Hardy-Weinberg:
 - door selectiedruk
 - door mutaties
 - door genetic drift
- Genetic drift: het verschijnsel dat in kleine populaties door toeval grote verschuivingen in allelfrequenties kunnen optreden.
 - Intelt: als de parende individuen beide een recessief gemuteerd gen van de voorouders hebben gekregen, kan dit gen bij de nakomelingen tot uiting komen.
 - Flessenhalseffect: door een calamiteit loopt het aantal individuen van een soort sterk terug.
 - Founder effect: een klein deel van een populatie vestigt zich in een nieuw gebied.
- Seksuele selectie vindt plaats als eigenschappen van seksuele partners de voortplantingskans beïnvloeden (maar niet altijd de overlevingskans).
- Micro-evolutie: verandering van allelfrequenties in een populatie. Hierdoor evolueert de soort.
- Macro-evolutie: ontstaan van nieuwe soorten.
- Co-evolutie: een evoluerende soort beïnvloedt de evolutie van een andere soort.

4.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt manieren van reproductieve isolatie uitleggen.

- Soortvorming door reproductieve isolatie.
 - Er vindt gedurende lange tijd geen voortplanting plaats tussen individuen van verschillende populaties.
- Allopatrische soortvorming: door geografische isolatie.
 - bijv. bergketen, rivieren
- Sympatrische soortvorming: zonder geografische isolatie.
 - bijv. verschil in leefwijze, baltsgedrag, seksuele selectie, factor tijd, polyploidie bij planten
- Eilandtheorie: het aantal soorten op een eiland wordt bepaald door immigratie en extinctie.
 - Evenwicht: als de immigratie en de extinctie even groot zijn.
 - De afstand van het eiland naar het vasteland beïnvloedt vooral de immigratie.
 - De grootte van het eiland beïnvloedt vooral de extinctie.

- Polyploidie: een meervoud van het diploïde aantal chromosomen in een (deel van een) organisme.
 - Ontstaat doordat er iets misgaat tijdens de mitose.
 - Kruising met een diploïd organisme is niet mogelijk: er zijn twee groepen ontstaan waartussen geen gene flow is.

4.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van verschillende diersoorten.

- Homologe structuren: hebben een overeenkomstige vorm door verwantschap, de functie kan verschillen.
 - Dit noem je divergentie, of divergente evolutie.
- Analoge structuren: hebben een overeenkomstige vorm door overeenkomst in functie, niet door verwantschap.
 - Dit noem je convergentie, of convergente evolutie.
- Rudimentaire organen hebben hun functie verloren.

4.6.2

Je kunt enkele onderzoeksmethoden naar verwantschap uitleggen.

- Vergelijking van de anatomie.
- Biochemie.
 - Verschillende soorten organismen vertonen grote overeenkomst in samenstelling van stoffen (bijv. van DNA en eiwitten).
- Evolutionaire genetica.
 - Het zoeken naar overeenkomsten en verschillen in DNA.
 - Door DNA van twee of meer verschillende soorten organismen met elkaar te vergelijken, kun je de afstamming van een soort bepalen.
 - DNA-sequencing: bepalen van de exacte volgorde van nucleotiden op het DNA.
- Fossielen.
 - De ouderdom van fossielen kun je vaststellen aan de hand van radioactieve isotopen. Dat zijn instabiele atomen die langzaam uiteenvallen in andere atomen.
 - Koolstofdatering: door de verhouding tussen ^{12}C en ^{14}C in een gevonden fossiel te vergelijken met de verhouding in levende organismen kun je vaststellen hoe oud een fossiel is.
 - Halfwaardetijd van ^{14}C is 5730 jaar. Dan is de helft van de ^{14}C -atomen omgezet in ^{14}N .

4.6.3

Je kunt een stamboom en een cladogram aflezen en construeren.

- Clade: een groep soorten die bestaan uit een voorouder en alle nakomelingen daarvan.
- Cladogram: schematische weergave van de verwantschap tussen de soorten van een clade.
 - DNA-analyse van de organismen speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de mate van de verwantschap. Bij DNA-analyse wordt de specifieke nucleotidenvolgorde van DNA (de DNA-sequentie) bepaald.
 - Hoe meer de DNA-sequenties overeenkomen, hoe groter de verwantschap.
 - Bij elk splitsingspunt in een cladogram staat een gemeenschappelijke voorouder.
 - Boven het splitsingspunt is er een verschil in één eigenschap.

SAMENHANG

- 4.S.1 Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op het uitsterven en opnieuw creëren van de mammoet.**

ONDERZOEK – PRACTICA

- 4.O.1 Je kunt de zichtbare delen van boomalg herkennen en benoemen.**
- 4.O.2 Je kunt de zichtbare delen van een pantoffeldiertje herkennen en benoemen.**
- 4.O.3 Je kunt met een experiment de invloed van snijbloemenvoedsel op de bacteriegroei in bloemenwater bepalen.**
- 4.O.4 Je kunt met een experiment onderzoeken of de kleurvariatie bij een populatie prooidieren verandert onder invloed van roofdieren.**
- 4.O.5 Je kunt met een onderzoek de lichaamslengte bepalen van twee volwassen exemplaren van *Australopithecus afarensis* aan de hand van hun voetstappen.**

 [Ga naar de Flitskaarten en de Oefentoets.](#)

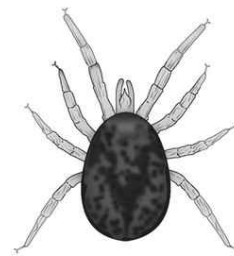
EXAMENOPGAVEN

VOGELMIJT

Naar: examen vwo 2022-2, vraag 12.

De vogelmijt (*Dermanyssus gallinae*, zie afbeelding 1) voedt zich vooral 's nachts met het bloed van rustende en slapende vogels, waaronder kippen.

■ Afb. 1 Vogelmijt.



Bestrijdingsmiddelen tegen vogelmijt blijken vaak minder effectief te zijn doordat niet op alle schuilplekken van de mijt voldoende van het middel terechtkomt. Een subletale dosis – een concentratie waarbij geen sterfte van de vogelmijt optreedt – zou de ontwikkeling van een populatie vogelmijt die resistent is tegen fipronil kunnen versnellen. Fipronil is een bestrijdingsmiddel tegen vogelmijt.

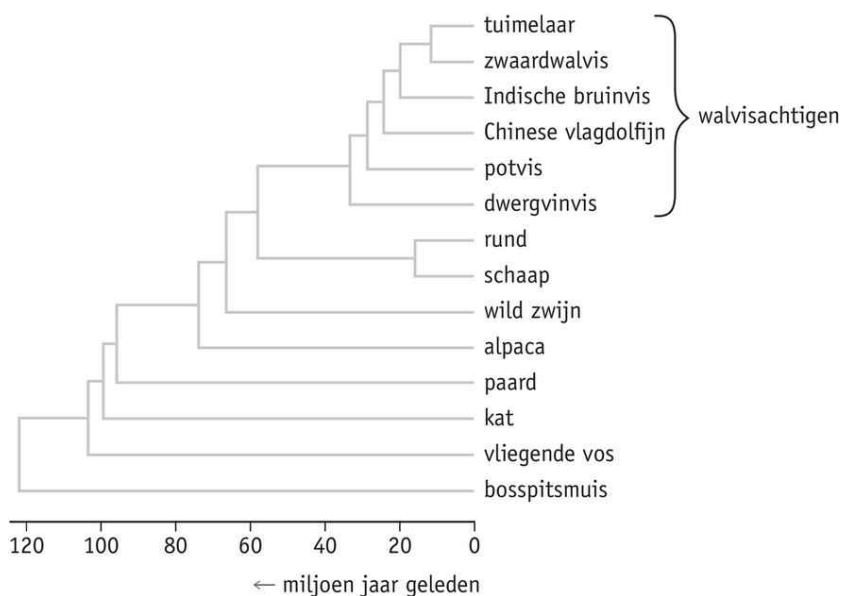
- 2p 1 Leg uit hoe het opnemen van een subletale dosis fipronil door vogelmijten de ontwikkeling van resistentie versnelt.

BRUINVIS WERD RIVIERBEWONER

Naar: examen vwo 2022-2, vraag 16 en 19.

De Indische bruinvis die in de Chinese rivier de Yangtze (Chang Jiang) voorkomt, leefde oorspronkelijk in zee. Door het genoom van deze walvisachtige te analyseren, hebben wetenschappers inzicht gekregen in de evolutionaire geschiedenis van deze diersoort. Nadat het genoom van de Indische bruinvis was ontrafeld, gebruikten de onderzoekers de basenvolgorde van een aantal genen om de verwantschap met andere zoogdieren in beeld te brengen. Deze evolutionaire stamboom is weergegeven in afbeelding 2.

■ Afb. 2 Evolutionaire stamboom.



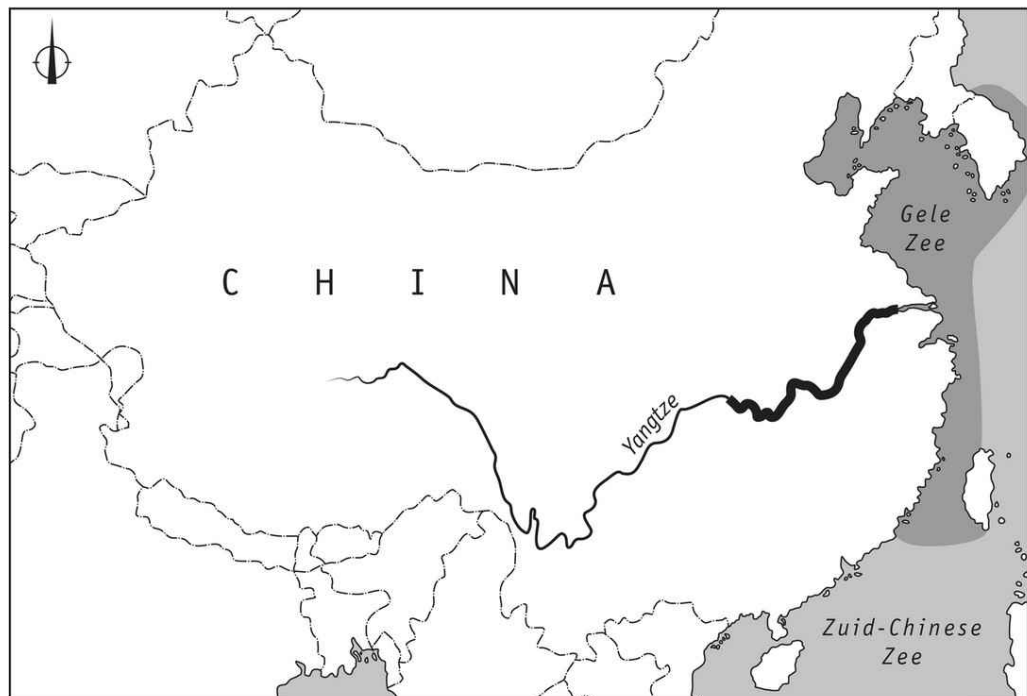
Naar aanleiding van deze evolutionaire stamboom worden de volgende uitspraken gedaan:

- 1 De Indische bruinvis heeft een recentere gemeenschappelijke voorouder met de Chinese vlagdolfijn dan met de tuimelaar.
- 2 De voorouders van de huidige walvisachtigen trokken waarschijnlijk minder dan 60 miljoen jaar geleden vanuit land naar zee.
- 3 Ongeveer 20 miljoen jaar geleden ontstonden genetische verschillen tussen voorouders van de Indische bruinvis en voorouders van de tuimelaar.

- 2p **2** Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende uitspraak 'juist' of 'onjuist' is.

In afbeelding 3 is te zien dat er verschillende populaties Indische bruinvissen leven in de Yangtze (*N. a. asiaeorientalis*) en in de Gele Zee en Zuid-Chinese Zee (*N. a. sunameri*).

■ **Afb. 3** Kaart met verschillende populaties in China.



Legenda:

— *N.a. asiaeorientalis*

■ *N.a. sunameri*

De onderzoekers vonden grote verschillen tussen het genoom van de Yangtze-bruinvissen en dat van de zoutwater-bruinvissen. Daarom stellen ze dat er sprake is van twee aparte soorten: *Neophocaena asiaeorientalis* en *Neophocaena sunameri*.

- 3p **3** Beschrijf hoe uit bruinvissen die in zee leefden bij de monding van de Yangtze een aparte soort kon ontstaan in het zoete water van die rivier.

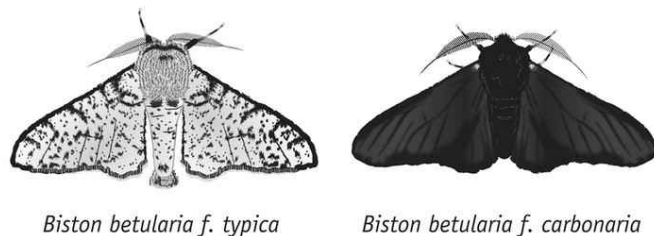
ZWART DOOR SPRINGEND GEN

Naar: examen vwo 2022-3, vraag 7, 8 en 9.

Het schoolvoorbeeld van natuurlijke selectie is de kleurverandering van de berkenspanner. Britse biologen hebben aangetoond dat de donkere kleur wordt veroorzaakt door een springend stukje DNA: een transposon.

De berkenspanner (*Biston betularia*) is een nachtvlinder die overdag rust op de zwart-witte stammen van berkenbomen. Door een mutatie ontstond in de negentiende eeuw in Engeland een zwarte variant van deze nachtvlinder. Toen tijdens de industriële revolutie de berkenstammen in industriegebieden volledig donker kleurden door roetaanslag, nam de frequentie van de zwarte vorm in deze gebieden sterk toe. De oorspronkelijke vorm wordt *typica* genoemd, de zwarte vorm *carbonaria* (zie afbeelding 4). De kleurverandering blijkt te zijn veroorzaakt door een specifieke mutatie in het cortex-gen, dat een rol speelt in de vleugelaanleg van de berkenspanner.

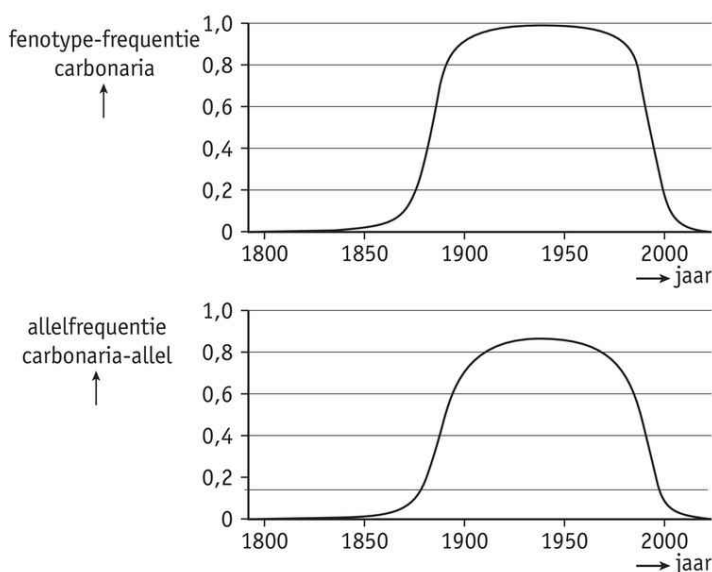
■ **Afb. 4** De twee fenotypen van de berkenspanner.



- 2p 4 Leg uit waardoor de frequentie van de *carbonaria*-vorm in de populatie sterk toenam in industriegebieden.

De veranderingen in de frequentie van het *carbonaria*-fenotype en het *carbonaria*-allel zijn weergegeven in afbeelding 5. De grafieken zijn het resultaat van simulaties op basis van enkele tellingen.

■ **Afb. 5** Veranderingen in de frequentie van fenotype en allel.



Met de informatie uit afbeelding 5 en de aanname dat de regel van Hardy-Weinberg van toepassing is, is af te leiden of het *carbonaria*-allel dominant of recessief is.

- 3p **5**
- Bereken aan de hand van de allelfrequentie in 1900 wat de fenotypefrequentie van carbonaria zou zijn, ervan uitgaande dat het allel recessief is. Noteer je berekening en geef je antwoord in twee decimalen nauwkeurig.
 - Bereken zo ook wat de fenotypefrequentie zou zijn, ervan uitgaande dat het allel dominant is.
 - Licht toe, gebruikmakend van deze berekeningen en afbeelding 5, of het allel recessief of dominant is.

Uit de informatie is af te leiden dat het discutabel is dat er in 1900 sprake was van een Hardy-Weinberg-evenwicht in de populatie in de industriegebieden. Daarom zou de regel van Hardy-Weinberg eigenlijk niet toegepast mogen worden.

- 1p **6** Licht toe waardoor er in 1900 waarschijnlijk geen sprake was van een Hardy-Weinberg-evenwicht.

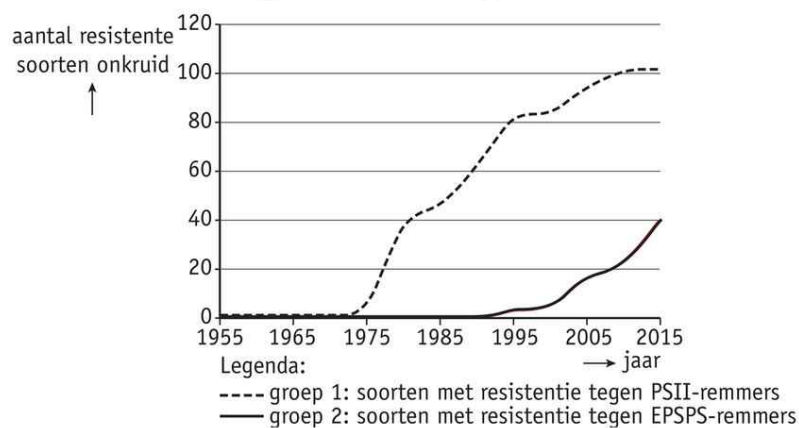
ONKRUIDBESTRIJDINGSMIDDELEN

Naar: examen vwo 2022-3, vraag 18.

In de reguliere landbouw wordt onkruid bestreden met verschillende herbiciden (onkruidbestrijdingsmiddelen). Herbiciden worden ingedeeld op hun werking. Zo zijn er middelen die de fotosynthese remmen (PSII-remmers). Er zijn ook herbiciden die het enzym EPSPS remmen. Een plant heeft dit enzym nodig om aromatische aminozuren te synthetiseren.

Gebruik van pesticiden leidt – als gevolg van evolutie – tot ontwikkeling van resistentie bij onkruidsoorten. In het diagram in afbeelding 6 is de ontwikkeling van resistentie tegen de beschreven herbiciden bij onkruidsoorten in de VS weergegeven.

■ **Afb. 6** Ontwikkeling van resistentie tegen herbiciden.



In afbeelding 6 is te zien dat steeds meer onkruidsoorten resistentie hebben ontwikkeld tegen een van beide typen herbiciden.

- 1p **7** De resistenties bij verschillende soorten binnen één groep zijn een voorbeeld van analogie. Licht dit toe.

 [Ga naar de Examentrainer.](#)

[illegible]

[illegible]



Thema 5

ECOLOGIE

Door klimaatverandering gaat het wereldwijd niet goed met koraalriffen. Een koraalrif bestaat uit verschillende soorten organismen, zoals koraaldiertjes en diverse soorten algen. Het zijn vooral de algen die voor de mooie kleuren van het koraal zorgen. Ecologen bestuderen de toestand van het koraal en dragen door hun onderzoek bij aan de bescherming en het herstel ervan. Ecologie is de tak van de biologie waarin de relaties tussen organismen en hun milieu worden bestudeerd.

Inhoud

ORIENTATIE

De bruidsvlucht van een verborgen mier	88
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Ecologie op alle organisatieniveaus	90
2 Populaties	100
3 Ecosystemen	113
4 Veranderende ecosystemen	125

SAMENHANG

Overleven in de stad	136
----------------------	-----

EXTRA STOF

Biodiversiteit	
Parasieten bij de mens	

ONDERZOEK

Practica	138
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	143
Examenopgaven	148

DE BRUIDSVLUCHT VAN EEN VERBORGEN MIER

Het zijn kleine, hardwerkende dieren die je bijna nooit ziet, maar ze komen bijna overal voor. Ze leven verborgen onder de grond en zorgen ervoor dat er in de omgeving veel andere soorten kunnen leven. In de zomer zie je ze heel af en toe vliegend paren: de gele weidemieren.

In Nederland komen 184 soorten mieren voor. Meer dan de helft van deze mierensoorten komt uit het buitenland en is korter dan tien jaar in Nederland. Tot de meest voorkomende mieren behoren de wegmier (*Lasius niger*) die in tuinen en huizen leeft, de gewone steekmier (*Myrmica rubra*) met zijn bekende rode kleur en de gele weidemier (*Lasius flavus*). De laatste mier is onbekend vanwege zijn bijna verborgen bestaan. Toch komt de gele weidemier voor in gazons, in weilanden waar de grond weinig wordt bewerkt en in bossen waar voldoende grassen groeien. Je kunt ze herkennen aan hun lichtgele kleur (zie afbeelding 1). Omdat ze niet goed tegen zonlicht kunnen, leven ze grotendeels onder de grond.

Onder de grond leven de gele weidemieren samen met wortelluizen. De mieren houden

luizen als 'vee'. Door de luizen te 'melken', krijgen de mieren suiker in de vorm van honingdauw. Honingdauw is een zoet uitscheidingsproduct en luizen maken dit uit organische stoffen die ze uit de wortels van planten halen. Als de luizen doodgaan, worden ze door de mieren gegeten en dienen ze als eiwitbron.

De luizen krijgen in ruil voor het afstaan van honingdauw bescherming van de mieren. Daarnaast kweken de mieren luizen door bulten te maken die nesten van luizen bevatten (zie afbeelding 2). Je kunt deze nestbulten in grasland zien, ze komen boven de vegetatie uit. Zo vangen ze meer warmte op van de zon, waardoor de eitjes van de luizen worden uitgebroed. In een tuin maken gele weidemieren geen nestbulten, omdat op een gazon genoeg zonlicht en dus warmte terechtkomt.

■ Afb. 1 De gele weidemier.



■ **Afb. 2** Nestbulten van gele weidemieren.



Gele weidemieren hebben een grote invloed op de plantengroei. De mieren kunnen tot wel één meter diep in de bodem leven, waardoor ze grond met voedingsstoffen meenemen naar boven. Daardoor spoelen de voedingsstoffen niet met het grondwater weg en wordt de bodem luchtig. De lucht in de bodem zorgt ervoor dat plantenresten en ander organisch materiaal sneller worden omgezet in voedingsstoffen. Ook nemen de mieren kalk mee naar boven, waardoor

de bodem niet verzuurt. Planten kunnen met hun wortels gemakkelijker in deze luchtige bodem doordringen en er voldoende voedingsstoffen uithalen.

De nestbulten zorgen voor variatie in de omgeving. De noordkant is bijvoorbeeld koeler en vochtiger dan de zuidkant. Daardoor kunnen er veel verschillende soorten planten op een nestbult groeien, zoals rood zwenkgras (*Festuca rubra*), klavers, geel walstro (*Galium verum*) en grote tijm (*Thymus pulegioides*). Op deze planten komen verschillende soorten insecten en grazers af. Sommige grazers kunnen het effect van de gele weidemieren op de plantengroei versterken. Hazen bijvoorbeeld zijn dol op rood zwenkgras. Na begrazing gaat het rood zwenkgras sterker groeien.

Alleen tijdens enkele dagen in de zomer verlaat de gele weidemier het ondergrondse leefgebied. Dan krijgen de koninginnen vleugels. Tijdens hun vlucht zouden ze vanuit de lucht hun bijdrage aan de biodiversiteit kunnen bewonderen. De natuur heeft echter andere plannen: tijdens de zogenoemde bruidsvlucht paren ze in de lucht met mannetjes om zo, mét uitzicht, voor nakomelingen te zorgen.

Opdrachten

- 1 In Nederland zijn de meest voorkomende mieren de wegmier (*Lasius niger*), de gewone steekmier (*Myrmica rubra*) en de gele weidemier (*Lasius flavus*).
Leg uit welke twee mierensoorten het meest aan elkaar verwant zijn.
- 2 Waarom komt de gele weidemier niet voor op akkers?
- 3 Plantensoorten die op nestbulten groeien moeten niet alleen bestand zijn tegen grazers, zoals konijnen, maar ook tegen andere organismen.
Welke organismen worden hier bedoeld?
- 4 Waardoor kunnen gele weidemieren de biodiversiteit vergroten?
- 5 In de bodem worden plantenresten en ander organisch materiaal omgezet in voedingsstoffen. Welke organismen zorgen hiervoor?



[Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 ECOLOGIE OP ALLE ORGANISATIENIVEAUS

LEERDOELEN

- 5.1.1** Je kunt uitleggen wat een ecosysteem is en wat de kenmerken ervan zijn.
- 5.1.2** Je kunt biotische en abiotische factoren binnen een ecosysteem benoemen.
- 5.1.3** Je kunt de invloed van de belangrijke abiotische factoren op organismen beschrijven en de invloed van organismen op abiotische factoren.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	5.1.1	5.1.2	5.1.3
Begrijpen	1, 2, 3, 4, 5, 17a	6	7, 8, 9, 10
Toepassen	11, 15, 17d		16b, 17ce
Analyseren	12, 16ac, 17b		13, 14

Wilde zwijnen in een bos wroeten de bodem om, op zoek naar voedsel (zie afbeelding 1). Hierdoor veranderen ze de structuur van de bodem en versnellen ze de afbraak van organisch materiaal. De biodiversiteit van het bos kan hierdoor toenemen. Als er te veel wilde zwijnen zijn, kunnen ze de leefomgeving van andere soorten vernielen. Ecologen bestuderen de relaties tussen soorten en hun milieu.

ORGANISMEN EN HUN MILIEU

Ecologie is de wetenschap die de wisselwerking tussen organismen en hun omgeving bestudeert. Daar zitten twee kanten aan. Organismen worden beïnvloed door hun omgeving, maar omgekeerd beïnvloeden organismen de omgeving door hun aanwezigheid en activiteiten. Sommige bacteriën nemen bijvoorbeeld stikstof op uit de lucht, andere bacteriën vormen zuurstof of methaan en geven dat gas af aan de lucht. Daarmee beïnvloeden ze de samenstelling van de atmosfeer. Veranderingen in het milieu hebben op hun beurt invloed op organismen. In een vervuilde bodem leven bijvoorbeeld minder bodemdieren en een verandering van temperatuur van de oceanen betekent minder overlevingskansen voor bepaalde koraaldieren.

■ **Afb. 1** Een wild zwijn, op zoek naar voedsel, verandert zijn omgeving.



VAN MOLECUUL TOT SYSTEEM AARDE

Ecologisch onderzoek vindt plaats op alle organisatieniveaus: molecuul, cel, orgaan, organisme, populatie, ecosysteem en systeem aarde.

Het kleinste organisatieniveau is het molecuul. Een belangrijk molecuul voor de ecologie is DNA. Organismen laten namelijk DNA-sporen achter in hun omgeving, bijvoorbeeld doordat ze haren of schubben verliezen. Aan de hand van dit DNA kan een ecooloog achterhalen welke organismen in een bepaald gebied voorkomen, net zoals je met forensisch onderzoek op grond van DNA kunt vaststellen wie er op een plaats delict is geweest. Het verzamelde DNA uit een bepaalde omgeving noem je **environmental DNA**, kortweg **eDNA**.

Ecologisch onderzoek op het gebied van cellen en organen kan bijvoorbeeld het effect van temperatuurverhoging op de hartslagfrequentie van een watervlo als onderwerp hebben. Op het organisatieniveau van een organisme (zie afbeelding 2.1) kan een ecooloog onderzoeken bij welke temperatuur een watervlo doodgaat.

Een groep watervlooien van een bepaalde soort in een meer vormt een populatie (zie afbeelding 2.2), ze planten zich onderling voort. Een ecooloog kan bijvoorbeeld onderzoeken wat het effect is op de populatie watervlooien als een fabriek warm water op het meer loost.

Naast watervlooien leven in een meer veel andere organismen: waterplanten, slakken en vissen als brasems en snoeken. Elke soort vormt zijn eigen populatie binnen het meer. Al die populaties samen vormen een **levensgemeenschap**. Een levensgemeenschap bestaat uit alle organismen die in een bepaald gebied voorkomen. De verschillende populaties binnen de levensgemeenschap hebben met elkaar te maken. Ze beconcurreren elkaar, eten elkaar op of parasiteren op elkaar. Een ecooloog kan onderzoeken wat het effect is op de levensgemeenschap als de populatie watervlooien afneemt.

De organismen van een levensgemeenschap en de invloed die ze op hun omgeving uitoefenen, noem je **biotische factoren**. Daarnaast zijn er **abiotische factoren**. Dat zijn invloeden vanuit de levenloze omgeving, zoals temperatuur, stroomsnelheid, troebelheid van het water en de hoeveelheid zuurstof.

De gezamenlijke abiotische factoren van een bepaald gebied noem je de biotoop. Een levensgemeenschap en een biotoop vormen samen een **ecosysteem** (zie afbeelding 2.3). Een **ecosysteem** is een min of meer begrensd gebied waarin een wisselwerking plaatsvindt tussen verschillende biotische en abiotische factoren.

■ Afb. 2 Ecologisch onderzoek vindt plaats op verschillende organisatieniveaus.



1 organisme: een watervlo



2 populatie: een groep watervlooien



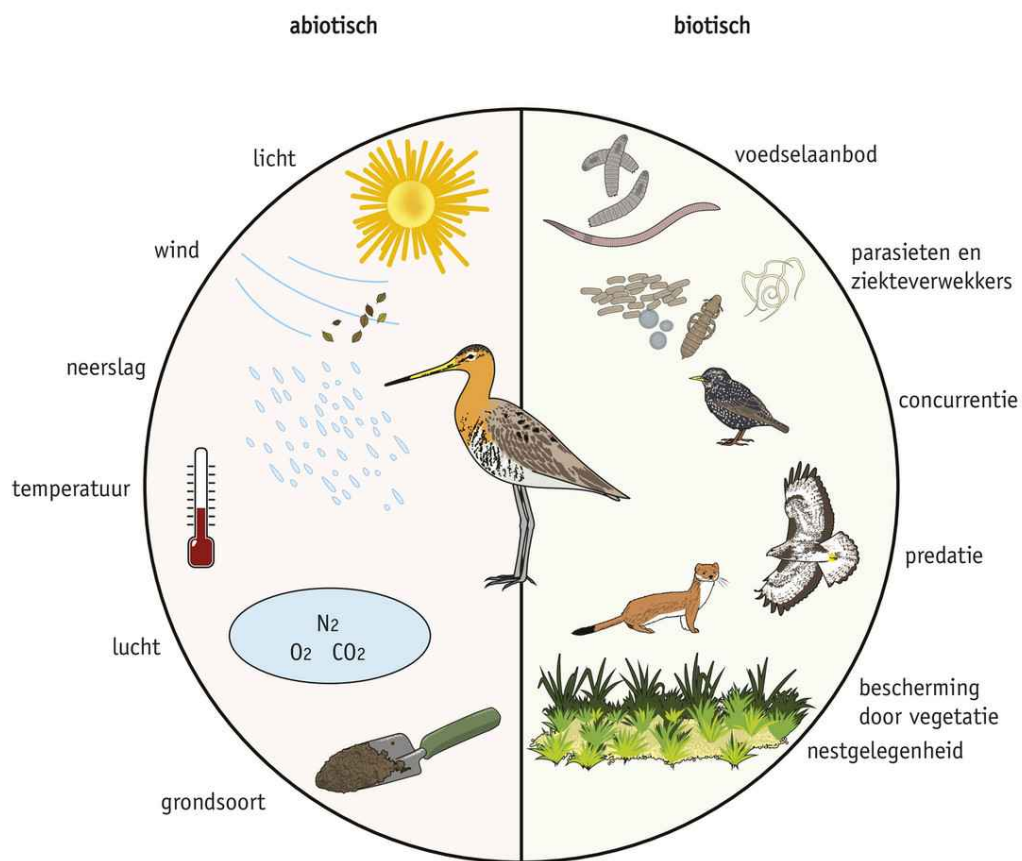
3 ecosysteem met watervlooien

Een ecosysteem is de volgende stap in de reeks van organisatieniveaus. Dit kan een meer zijn of een sloot, maar ook een stuk bos of heide of zelfs een aquarium met vissen en waterplanten. Een ecooloog kan bijvoorbeeld onderzoeken welk effect het verdwijnen van watervlooien op een ecosysteem heeft, dus op de levensgemeenschap van een meer en op factoren als het zuurstofgehalte en de troebelheid van het water.

Binnen een ecosysteem heeft elke soort zijn eigen **habitat**. Dat is het leefgebied van een organisme. Hier vindt het organisme voedsel, bescherming en soortgenoten (biotische factoren). Abiotische factoren zoals zuurstofgehalte, hoeveelheid licht en temperatuur bepalen of een gebied geschikt is als habitat voor een organisme (zie afbeelding 3).

Alle ecosystemen bij elkaar vormen het systeem aarde. Ook op dit niveau kunnen ecologen onderzoek doen, bijvoorbeeld naar het effect van de opwarming van de aarde op het systeem aarde.

- **Afb. 3** Biotische en abiotische factoren die van invloed zijn op de soort grutto in het ecosysteem weiland.



Opdrachten **KENNIS**

- 1 Sinds 1990 is er een ziekte onder de konijnen op Vlieland. Dit verschijnsel kun je op verschillende niveaus onderzoeken.
 - a Geef een voorbeeld van een onderzoek naar dit verschijnsel op het niveau van een organisme.
 - b Geef een voorbeeld van een onderzoek naar dit verschijnsel op het niveau van een populatie.
- 2 Binnen Nederland bestaan verschillende aquatische ecosystemen. In een aquatisch ecosysteem is water het belangrijkste element. Een meer is een voorbeeld van een aquatisch ecosysteem.
Noteer nog twee aquatische ecosystemen.
- 3 Bladluizen geven honingdauw aan een bepaalde soort mier. De mieren beschermen de bladluis op hun beurt tegen lieveheersbeestjes.
Bij welk organisatieniveau hoort dit voorbeeld? Leg je antwoord uit.
- 4 Een emergente eigenschap is een nieuwe eigenschap die ontstaat op een hoger organisatieniveau en ontbreekt op een lager organisatieniveau. De geslachtsverhouding is bijvoorbeeld geen eigenschap van het organisatieniveau organisme, maar wel een emergente eigenschap van een populatie.
Noteer een emergente eigenschap van het organisme watervlo.
- 5 Zijn de grenzen van het ecosysteem sloot voor alle factoren volledig begrensd?

ABIOTISCHE FACTOREN

Abiotische factoren zijn van invloed op de **soortensamenstelling** in een gebied: de verschillende soorten (planten, dieren, schimmels, prokaryoten) die binnen het gebied voorkomen.

Voor organismen die op het land leven zijn het klimaat en de bodem belangrijke abiotische factoren. Het klimaat is een combinatie van abiotische factoren als temperatuur, licht, wind, en water (neerslag). Voor organismen die in het water leven, geldt vaak een andere combinatie van abiotische factoren die een rol spelen bij het verspreidingsgebied, zoals temperatuur, zuurstofgehalte, zoutgehalte, licht en stroming.

Er zijn op aarde grote gebieden waarbinnen (vrijwel) hetzelfde klimaat heerst. Zo'n gebied heeft een macroklimaat. In een gebied met hetzelfde macroklimaat kunnen de abiotische factoren op verschillende plaatsen wel verschillen. Elk plekje van een ecosysteem heeft daardoor zijn eigen **microklimaat**.

Bodem

Een bodem bestaat uit een mengsel van bodemdeeltjes van verschillende grootte. Elk bodemdeeltje is omgeven door een dun watervliesje. Er zijn verschillende soorten bodems, bijvoorbeeld een zandbodem (zie afbeelding 4.1) en een kleibodem (zie afbeelding 4.2). Elke soort bodem heeft andere eigenschappen en kenmerken die invloed hebben op de soortensamenstelling in een ecosysteem.

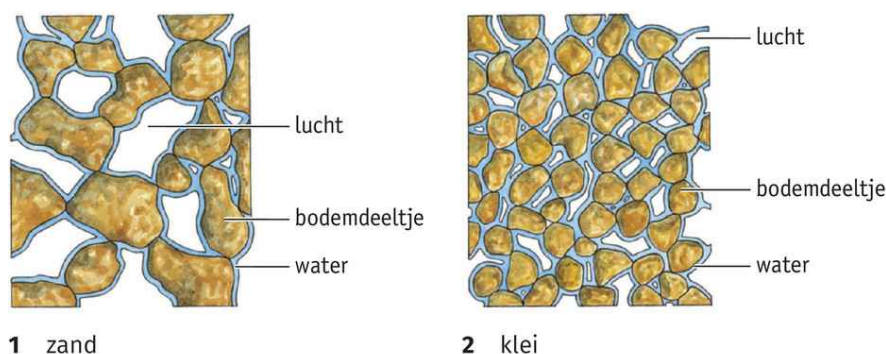
Zand heeft grotere bodemdeeltjes dan klei en heeft daardoor een meer open structuur die gemakkelijk water doorlaat. Wortels kunnen er eenvoudig in doordringen. De wortels van planten hebben zuurstof nodig. In zand kunnen wortels gemakkelijk zuurstof opnemen, omdat zand veel lucht en dus zuurstof tussen de bodemdeeltjes bevat.

Bij klei zijn de holtes tussen de bodemdeeltjes kleiner, waardoor klei water goed kan vasthouden. Ook houdt kleigrond mineralen (zouten) beter vast dan zand. Kleigrond bevat minder zuurstof en voor wortels is het moeilijker om erin door te dringen.

Ook het gehalte aan humus in een bodem is van belang. Humus is een mengsel van organische stoffen, anorganische stoffen en micro-organismen (bacteriën en schimmels). De micro-organismen zetten de organische stoffen in humus om in anorganische stoffen. Planten kunnen deze stoffen opnemen uit de bodem. Daarnaast verbetert humus de structuur van de bodem. Hoe meer humus er in een zandbodem voorkomt, hoe beter het zand water kan vasthouden. Hoe meer humus er in een kleibodem voorkomt, hoe gemakkelijker de wortels van planten erin kunnen doordringen. Humus voorkomt ook uitspoeling van mineralen naar het grondwater.

De pH (zuurgraad), de grondwaterstand en de hoeveelheid anorganische stoffen in de bodem hebben ook invloed op de soortensamenstelling in een ecosysteem.

■ Afb. 4 Bodemdeeltjes.



Licht

Planten hebben licht nodig voor fotosynthese. De behoefte aan licht is niet voor elke plant gelijk. Zonplanten groeien het best bij een hoge lichtintensiteit. Je vindt ze in het open veld, in woestijnen of in steppen. Schaduwplanten groeien het best bij een beperkte lichtintensiteit. Ze groeien bijvoorbeeld in bossen als bodembegroeiing.

Hoelang het op een dag licht is, heeft invloed op de voortplanting van planten en dieren. De daglengte beïnvloedt bijvoorbeeld het tijdstip waarop planten bloemen vormen en het tijdstip van paring en eileg bij vissen, amfibieën en vogels.

Waterdieren als watervlooien en vleugelslakken vertonen verticale migratie onder invloed van licht. 's Nachts verplaatsen ze zich vanuit de diepte naar het wateroppervlak, overdag gaan ze de diepte in.

Water

Planten zijn aangepast aan de beschikbare hoeveelheid water. Landplanten hebben aan de buitenkant van hun bladeren een cuticula (waslaagje). Vaak hebben ze alleen aan de onderkant van het blad huidmondjes. Dit voorkomt dat de plant te veel water verliest door verdamping. Zo ontstaat er minder snel een tekort aan water.

Landplanten die in een vochtig milieu leven, hebben bladeren met veel huidmondjes en een dunne cuticula. Hun wortelstelsels zijn klein. Landplanten die in een droger milieu leven, hebben beter ontwikkelde wortelstelsels die dieper de grond in groeien. Ook hebben deze landplanten weinig huidmondjes en een dikke cuticula. Een cactus heeft stekelvormige bladeren zonder huidmondjes. In speciale weefsels in de stengel slaan cactussen water op.

Voor waterdieren zijn onder andere het zuurstofgehalte en het zoutgehalte van het water van belang. Palingen en zalmen bijvoorbeeld hebben aanpassingen, waardoor ze zowel in zoet als in zout water kunnen overleven.

Temperatuur

Chemische processen in organismen worden geregeld door enzymen. De enzymactiviteit is afhankelijk van de temperatuur. Bij lage temperaturen verlopen enzymreacties traag, bij hogere temperaturen verlopen ze sneller. Wordt de temperatuur te hoog, dan gaan enzymen kapot: ze denatureren. Het leven van de meeste planten speelt zich dan ook af bij temperaturen tussen 0 en 45 °C. Dat geldt ook voor dieren met een wisselende lichaamstemperatuur (poikilotherme dieren). Bij een lage omgevingstemperatuur kunnen poikilotherme dieren niet erg actief zijn. Vogels en zoogdieren met een constante lichaamstemperatuur (homoiotherme dieren) kunnen temperaturen beneden 0 °C verdragen.

Tolerantie

Elk organisme is op diverse manieren aangepast aan het milieu waarin het voorkomt. Ijsberen bijvoorbeeld hebben aanpassingen tegen de kou en cactussen tegen de droogte. Weegbreesoorten zijn planten die elastisch weefsel hebben en zich snel kunnen herstellen als je eroverheen loopt. Zulke aanpassingen zijn erfelijk bepaald.

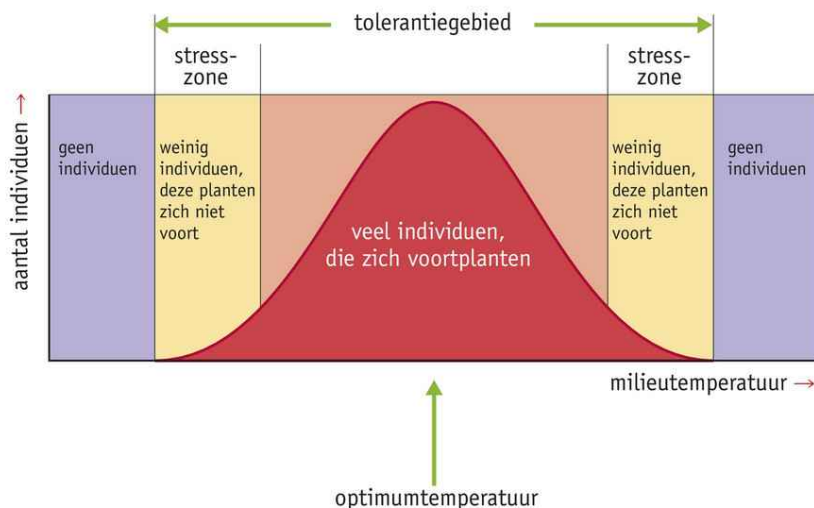
In woestijnen kan de temperatuur overdag wel vijftig graden Celsius verschillen van de temperatuur 's nachts. Woestijnplanten moeten zulke sterke schommelingen kunnen verdragen. **Tolerantie** is het vermogen van organismen om schommelingen in een abiotische factor te verdragen.

Elke soort heeft een eigen verspreidingsgebied (of areaal). Dat is het gebied waar een soort op aarde voorkomt. Dieren kunnen zich tot buiten hun verspreidingsgebied verplaatsen. Zaden van planten kunnen ook buiten het verspreidingsgebied terechtkomen en daar ontkiemen. Toch zullen dieren en planten zich buiten hun eigen gebied niet altijd kunnen handhaven. In dat geval is van ten minste één abiotische factor de **tolerantiegrens** overschreden: de uiterste waarde waarbij organismen van de soort kunnen overleven. Deze abiotische factor werkt dan als **beperkende factor**. Dat is de factor die bepaalt hoeveel organismen in een bepaald gebied kunnen overleven.

Guppy's (*Poecilia reticulata*) bijvoorbeeld blijven alleen in leven bij een temperatuur tussen 5 en 38 °C. Dit is het tolerantiegebied van guppy's voor temperatuur. Soorten met een grote tolerantie hebben een groot verspreidingsgebied.

In afbeelding 5 is het aantal guppy's uitgezet tegen de omgevingstemperatuur. Bij een bepaalde temperatuur (ongeveer midden tussen 5 en 38 °C) is het aantal guppy's het grootst. Deze temperatuur is voor guppy's het **optimum**: de waarde van een abiotische factor die het gunstigst is voor het organisme. De kromme die het verband tussen een onafhankelijke variabele (bijvoorbeeld milieufactor) en een afhankelijke variabele (bijvoorbeeld aantal of activiteit) weergeeft, noem je een optimumkromme.

■ **Afb. 5** Optimumkromme voor de temperatuur bij guppy's.



Opdrachten **KENNIS**

- 6 Welke van de hierna genoemde factoren zijn biotisch en welke abiotisch?
Kies uit: *anorganische stoffen in de bodem* – *bacteriën* – *beschutting door struiken* – *daglengte* – *insectenplagen* – *predatoren* – *sneeuw* – *soortgenoten* – *temperatuur*.
- 7 Sommige organismen oefenen invloed uit op abiotische factoren. Zulke organismen noem je ecosysteem-ingenieurs. Zo woelt een brasem per dag wel vijf keer zijn eigen lichaamsgewicht aan bodemslib om. Dit heeft een sterke invloed op de abiotische factor 'helderheid van het water'.
Leg uit waarom een bever (zie afbeelding 6) ook wordt gezien als een ecosysteem-ingenieur.

■ **Afb. 6** Het huishouden van de bever.



- 8 Leg uit hoe het komt dat dieren die in de monding van een rivier leven goed tegen variatie in stroming en zoutgehalte kunnen.
- 9 In afbeelding 7 zie je een konijn met een zomervacht en een konijn met een wintervacht.
- Noteer een biotische factor die selectiedruk uitoefent ten gunste van een witte vachtkleur in de winter.
 - Noteer een abiotische factor die de selectiedruk beïnvloedt ten gunste van een witte vachtkleur in de winter.

■ **Afb. 7** Konijn met zomer- en wintervacht.



1 zomervacht

2 wintervacht

- 10 Leg uit dat salamanders bij een temperatuur van ongeveer 0 °C niet actief kunnen zijn en hazen wel.

Opdrachten INZICHT

- 11** Watervlooien krijgen een nektand wanneer uitscheidingsproducten van muggenlarven aan het water worden toegevoegd. Deze nektand zorgt ervoor dat muggenlarven moeite hebben om de watervlo te hanteren en naar binnen te werken. De interactie tussen muggenlarven en watervlooien is een emergente eigenschap.
- a** Van welk organisatieniveau is dit een emergente eigenschap? Leg je antwoord uit.
 - b** Uit onderzoek in de Maarsseveense Plassen blijkt dat watervlooien, die normaal overdag op een diepte van ongeveer vier meter zitten, vanaf mei tot begin juli overdag naar een grotere diepte gaan en pas 's nachts naar boven komen. Zo voorkomen ze dat ze worden opgegeten door jonge vissen, die meestal niet dieper zitten dan zeven meter. De verticale migratie van de watervlooien staat onder invloed van de hoeveelheid licht en die migratie wordt sterker door de aanwezigheid van stoffen die de vissen afscheiden.
De reactie van de watervlooien op de hoeveelheid licht en op de jonge vissen is een emergente eigenschap.
Van welk niveau is dit een emergente eigenschap? Leg je antwoord uit.
 - c** Is de samenstelling van de atmosfeer een emergente eigenschap van het systeem aarde? Leg je antwoord uit.
- 12** De stichting RAVON (Reptielen Amfibieën Vissen Onderzoek in Nederland) onderzoekt met eDNA of de grote modderkruiper nog in sloten voorkomt.
Waarom kun je met eDNA beter onderzoek doen in sloten dan in grote rivieren?
- 13** Bevers hebben een unieke levenswijze. Je vindt ze vooral in het overgangsgebied van water en land zoals moerassen, meren, beken en rivieren. In de schemering worden ze actief. Bevers knagen kleine bomen en struiken om, hiermee bouwen ze dammen en burchten. Bevers zijn in staat het landschap te veranderen en kleine ecosystemen te realiseren. Vroeger werd er in Nederland intensief op de bever gejaagd. Hierdoor was de bever in 1826 uitgestorven. In de periode 1988-1991 zijn er een aantal families in de Biesbosch losgelaten, later ook op andere plekken.
Verklaar dat het verdwijnen van een bever invloed kan hebben op het ecosysteem.
- 14** Duizend jaar geleden was de eland (zie afbeelding 8) voor het laatst in Nederland. Dit gigantische dier trekt vanuit Duitsland mogelijk weer naar ons land. De eland eet vooral scheuten en twijgen van bomen. Ook eet de eland schors van wilgen en ratelpopulieren. Elanden houden van een moerassig gebied, ze kunnen erg goed zwemmen. 's Winters zoeken ze drogere gebieden op.
Leg uit dat er een verband kan bestaan tussen de terugkeer van de bever en de eland.

■ **Afb. 8** Eland.



- 15 Een wolf kiest er vaak voor om met een minimale inspanning een maximale buit te krijgen.
Leg uit dat de komst van de wolf de populatie van bijvoorbeeld reeën, wilde zwijnen en konijnen gezonder maakt.
- 16 In 1921 zijn er in het nationale park de Hoge Veluwe moeflons uitgezet voor de jacht. Een moeflon is het kleinste wilde schaap van Europa en leeft gewoonlijk in de bergen (zie afbeelding 9). Op dit moment wordt er niet meer op moeflons gejaagd. Ze zijn namelijk erg nuttig: ze eten het gras en kleine bomen op de heide. De moeflon wordt op dit moment bedreigd door de wolf, omdat de moeflons op vlak terrein niet snel genoeg kunnen vluchten.
- a Leg uit waarom moeflons zo belangrijk zijn voor het behoud van de heide van de Hoge Veluwe.
 - b Door welke abiotische factor wordt het verspreidingsgebied van de moeflon niet groter?
 - c Waarom kan de komst van de wolf schadelijk zijn voor het karakteristieke landschap van de Hoge Veluwe?

■ Afb. 9 Moeflon.



📄 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Leefwereld

HET RIJK DER DUIZEND EILANDEN

De naam klinkt behoorlijk exotisch, maar het rijk der duizend eilanden ligt gewoon in Noord-Holland. Vanaf het jaar 900 werd er vier eeuwen lang veen gewonnen. In de 13e eeuw was het een moerasachtig gebied geworden, vol sloten en ruim 15 000 eilandjes. De bagger uit de sloten werd op de eilandjes gegoid. Dit zorgde ervoor dat de grond op de eilandjes uiterst vruchtbaar werd en geschikt was voor teelt van allerlei gewassen.

Boeren voeren met hun boot vol oogst naar de doorvaargroenteveiling. Daar konden belangstellenden op de inhoud van de boot bieden. De veiling bestaat nog steeds, als museum. De eilandjes zijn er ook nog, maar van de 15 000 zijn er ongeveer 250 over die worden gebruikt om groente en fruit te verbouwen (zie afbeelding 10).

Dit historische gebied kampt de laatste jaren met een groot probleem: de oevers van de eilanden brokkelen langzaam af. De hoofdverdachte van het afbrokkelen is de Amerikaanse rivierkreeft. Die komt, zoals de naam al zegt, niet oorspronkelijk in Nederland voor. Helaas doen deze kreeften het erg goed in de Europese wateren. Er zijn wel predatoren die deze kreeften eten: paling, snoek, baars, reigers, muskusratten en de otter. Maar een vrouwtje kan wel 600 eitjes dragen en wanneer de omstandigheden gunstig zijn, planten ze zich het hele jaar voort.

De Amerikaanse rivierkreeften maken in de oevers kleine gaten om in te leven. Dit zorgt voor het afbrokkelen van de oevers. Het gevolg is niet alleen dat de eilanden langzaam verdwijnen, maar ook dat de waterkwaliteit achteruitgaat.

■ Afb. 10 Het rijk der duizend eilanden.



Opdrachten

- 17 a Leg uit waarom het wegvangen van rivierkreeften een tijdelijke oplossing is.
- b Bedenk een andere manier om het schadelijke effect van de Amerikaanse rivierkreeften te beperken.
- c Tussen de eilanden mag je niet meer met een motorboot varen, omdat motorboten met hoge snelheden meer golfslag geven die tegen de oevers slaat. Hierdoor kunnen zwakke oevers verder afbrokkelen. Door deze regel zijn er nu veel meer waterlelies tussen de eilanden te vinden.

- Leg uit hoe het verbod op motorboten ervoor heeft gezorgd dat waterplanten en waterlelies het beter doen.
- d Uit onderzoek blijkt dat de woelrat ook verantwoordelijk is voor het afbrokkelen van de eilanden. De woelrat is een bedreigde en beschermde soort en dat betekent dat je deze dieren met rust moet laten. Beschrijf het dilemma dat zich nu voordoet.
- e Wat kun je zeggen over de tolerantie van de Amerikaanse rivierkreeft? Leg je antwoord uit.

2 POPULATIES

LEERDOELEN

- 5.2.1** Je kunt binnen een ecosysteem vormen van concurrentie en van coöperatie onderscheiden. ▶ Vaardigheden 1, 2, 3 en 4
▶ Practicum 1
- 5.2.2** Je kunt de dynamiek en het evenwicht in een ecosysteem beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	5.2.1	5.2.2
Begrijpen	18, 19, 20, 21, 31a	22, 23
Toepassen	30, 31b	24ab, 25a, 26, 28a, 31d
Analyseren	27, 31e	24c, 25b, 28b, 29, 31c

Stokstaartjes zijn sociale dieren. Ze werken samen: om beurten staat een paar op wacht, terwijl de rest van de kolonie eet. Maar er is ook concurrentie: zodra een van de vrouwtjes zich wil voortplanten, wordt ze doodgebeten door het dominante vrouwtje.

CONCURRENTIE

De relaties tussen organismen kunnen zijn gericht op **concurrentie** (competitie) of op coöperatie (samenwerking). Bij concurrentie gaat het bijvoorbeeld om de beschikbare hoeveelheid voedsel, om een partner voor de voortplanting, om de beschikbare ruimte of om de beschikbare hoeveelheid licht (bij planten). Vaak gaat concurrentie om gelimiteerde factoren.

Veel soorten bakenen een territorium af: een eigen gebied waaruit ze soortgenoten weren. Het territorium kan dienen als jachtgebied, om jongen groot te brengen en om voldoende voedsel veilig te stellen.

Binnen een populatie kan de concurrentie moordend zijn. Door sterke concurrentie is de selectiedruk hoog. Planten die dicht naast elkaar groeien hebben een hogere sterftekans, omdat er meer concurrentie is om voedingszouten en de hoeveelheid licht. De organismen die het best zijn aangepast aan het milieu, hebben de grootste overlevingskansen en kunnen hun genen doorgeven (natuurlijke selectie). Door hoge selectiedruk kan de genetische variatie binnen een populatie kleiner worden.

De concurrentie tussen populaties is vaak minder sterk dan de concurrentie binnen populaties. Dat komt doordat iedere soort een eigen niche heeft. De **niche** is de rol die een bepaalde populatie speelt in het geheel van relaties in een ecosysteem. Zwaluwen bijvoorbeeld spelen een andere rol dan vleermuizen. Beide soorten jagen op insecten, maar zwaluwen zijn overdag actief en vleermuizen 's avonds. De zwaluw eet insecten die overdag vliegen, de vleermuis insecten die 's avonds vliegen. Zo zitten ze elkaar niet in de weg.

Als de abiotische omstandigheden in het ecosysteem veranderen, is een grote genetische diversiteit gunstig voor een populatie. De kans is dan groot dat sommige organismen in de populatie goed zijn aangepast aan de nieuwe omstandigheden.

De vachtkleur van muizen varieert bijvoorbeeld van licht tot donker. Wanneer de omstandigheden in het leefgebied van een populatie muizen verandert, bijvoorbeeld doordat een bos ontstaat, dan zijn de donkere muizen in het voordeel. Zij vallen minder op voor roofdieren in de schaduw van de bomen en hebben daardoor een grotere overlevingskans. Hierdoor komen er na enige tijd in de populatie meer muizen voor met een donkere vachtkleur dan met een lichte vachtkleur.

De selectiedruk kan zo zwaar worden, dat een populatie in een bepaald gebied uitsterft. De genetische variatie binnen de populaties jachtluipaarden (*Acinonyx jubatus*, zie afbeelding 11) in Afrika is bijvoorbeeld erg klein. Dit verkleint de overlevingskans van de soort. Bovendien wordt het jachtluipaard in zijn voortbestaan bedreigd door jagers en vernietiging van zijn habitat. Als het aantal jachtluipaarden afneemt, zullen andere roofdieren in aantal toenemen. Ook is het mogelijk dat prooidieren (gazellen) in aantal toenemen. Op die manier verandert door natuurlijke selectie de soortensamenstelling in het ecosysteem.

■ **Afb. 11** Een jachtluipaard.



COÖPERATIE

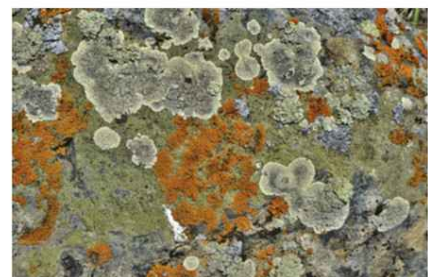
In een ecosysteem kunnen organismen van een soort ook samenwerken, of kan samenwerking plaatsvinden tussen organismen van verschillende soorten. Wanneer **coöperatie** (samenwerking) plaatsvindt tussen organismen van één soort, is die erop gericht om de overlevingskansen van de individuen van een populatie te vergroten. Coöperatie vindt onder andere plaats bij de balts en bij de paring. Sommige vogels en zoogdieren leven langdurig in paren. Een paar kan samenwerken bij de verdediging en bij het zoeken naar voedsel.

Dieren kunnen ook in groepen samenleven. Voorbeelden daarvan zijn een school haringen, een zwerm spreeuwen en een kudde zebra's. Het leven in een grote groep biedt bescherming tegen vijanden of vergroot de kans om prooi te vangen. Bij insecten die in staten (grote groepen) leven, zoals bijen en mieren, is er een duidelijke taakverdeling. Sommige individuen zorgen voor de verdediging, andere zoeken voedsel, weer andere zorgen voor de voortplanting, enzovoort.

Het langdurig samenleven van organismen van verschillende soorten heet **symbiose**. Dat kan voor elk van de organismen voordelig, neutraal of nadelig zijn.

Korstmossen zijn samenlevingen van schimmels met algen (zie afbeelding 12). De algen bezitten bladgroen, waardoor er fotosynthese kan plaatsvinden. Een deel van de organische stoffen die hierbij worden gevormd, wordt door de schimmels verbruikt. De schimmels nemen water en anorganische stoffen op uit de omgeving en kunnen deze stoffen vasthouden. Ook de algen gebruiken deze stoffen. Bij korstmossen hebben beide soorten voordeel van de samenleving. Deze vorm van symbiose heet **mutualisme**.

■ **Afb. 12** Korstmossen.



Bij andere vormen van symbiose heeft slechts een van beide organismen voordeel. Als het andere organisme geen voordeel en geen nadeel heeft, heet dat **commensalisme**. Een voorbeeld hiervan is de symbiose tussen de koereigers (*Bubulcus ibis*) en de grote grazende zoogdieren waar ze tussen leven (zie afbeelding 13). De koereigers voeden zich met insecten en andere kleine dieren die de grazers verjagen wanneer ze door het gras lopen. De koereigers eten meer voedsel dan wanneer ze niet tussen de grazers staan. De vogels hebben duidelijk voordeel, terwijl hun aanwezigheid geen duidelijk positief of negatief effect op de grote grazers heeft.

■ **Afb. 13** Commensalisme tussen een koereiger en buffels.



Bij **parasitisme** leeft een organisme (de parasiet) op of in een organisme van een andere soort (de gastheer) en onttrekt er voedsel aan. De parasiet heeft een voordeel. Voor de gastheer is deze samenleving nadelig. Bij mensen kan de schurftmijt (*Acarus scabiei*) schurft veroorzaken. Schurft is een huidaandoening die ontstaat doordat de volwassen vrouwelijke schurftmijt gangetjes in de huid maakt en haar eitjes en uitwerpselen daarin achterlaat. De gangetjes maakt ze door huidcellen met enzymen op te lossen en vervolgens op te eten. Als allergische reactie op de mijt ontstaan in de buurt van de gangetjes en op andere plekken van de huid rode bultjes die heel erg jeuken. Je kunt met de schurftmijt besmet raken door intensief lichamelijk contact, kleding en beddengoed. Andere voorbeelden van dierlijke parasieten zijn vlooiën, luizen, spoelwormen en lintwormen.

Maretak (*Viscum album*) en klein warkruid (*Cuscuta epithymum* of duivelsnaaigaren) zijn plantaardige parasieten. Maretak onttrekt alleen water en anorganische stoffen aan de gastheer (zie afbeelding 14). Klein warkruid onttrekt water, anorganische en organische stoffen aan de gastheer. Sommige parasieten zijn soortspecifiek: ze leven op of in een gastheer van één bepaalde soort. Ze zijn sterk aangepast aan het leven op of in deze gastheer. Een lintworm bijvoorbeeld heeft geen darmkanaal, maar neemt via de huid rechtstreeks verteringsproducten op uit de darm van de gastheer.

■ **Afb. 14** Maretak.



- 18** Sommige planten, zoals brandnetels en bramen, groeien hard als er veel stikstof in de bodem zit. Ze kunnen onder gunstige omstandigheden woekeren.
Wat kan een gevaar zijn voor planten die goed kunnen overleven in een stikstofarme omgeving wanneer dit gebied stikstofrijker wordt? Gebruik in je antwoord het begrip concurrentie.
- 19** Fitis en tjiftjaf zijn twee verwante soorten. Ze lijken sprekend op elkaar. In tabel 1 staat informatie over de leefwijze van beide soorten.
- a** Is de concurrentie om voedsel tussen fitis en tjiftjaf sterk of zwak? Licht je antwoord toe.
- b** Is er een grote of kleine overlap tussen de niches van fitis en tjiftjaf? Licht je antwoord toe.

Tabel 1 De leefwijze van fitis en tjiftjaf.

	Fitis	Tjiftjaf
Voorjaars trek	begin maart tot eind mei	begin april tot laat in mei
Broedgebied	Europa	Europa
Komt voor in	jonge bossen met struiken en lage bomen	open bossen met enkele hoge bomen
Nest	verborgen tussen bodemvegetatie	in dichte wirwar van struiken, laag bij de grond
Voedsel	insecten in struiken en bomen	insecten in struiken en bomen
Najaars trek	begin juli tot eind september	begin augustus tot half oktober
Overwintert in	zuidelijk Afrika	landen rond de Middellandse Zee

- 20** **a** Stokstaartjes staan om beurten in paren op wacht, terwijl de andere leden van de kolonie eten. Is dit een vorm van symbiose? Licht je antwoord toe.
- b** De maretak wordt wel een halfparasiet genoemd (zie afbeelding 14). Hoe kun je aan de maretak zien dat hij geen volledige parasiet is?
- 21** Bij zowel predatie als parasitisme verkrijgt een organisme voedingsstoffen van een ander organisme.
Wat is het verschil tussen predatie en parasitisme?

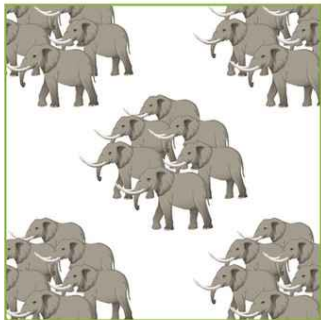
DE DYNAMIEK VAN EEN POPULATIE

De populatiegrootte van een soort is het totaal aantal individuen van die soort in een bepaald gebied. De populatiedichtheid is het gemiddeld aantal individuen van een soort per oppervlakte-eenheid (op het land) of per volume-eenheid (in het water). De populatiedichtheid van paardenbloemen in een weiland kan bijvoorbeeld twee individuen per vierkante meter bedragen. Er kunnen in een loofbos 0,5 haviken per vierkante kilometer leven en er kunnen in een sloot 22 watervlooien per liter voorkomen.

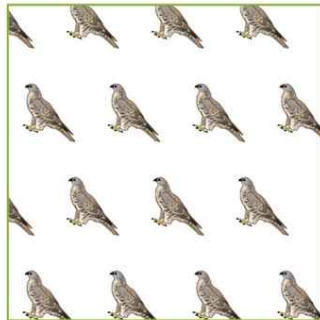
De populatiedichtheid is belangrijk voor de kans op overleven van individuen in die populatie en voor de kans op nakomelingen. Een te hoge dichtheid kan leiden tot uitputting van de noodzakelijke hulpbronnen, een snelle verspreiding van ziekten, een hogere selectiedruk en competitie. Aan de andere kant worden bij een lage dichtheid (of een klein aantal individuen) de voortplantingskansen binnen een populatie erg klein.

Uit de populatiedichtheid alleen kun je niet afleiden waar je de individuen van de populatie kunt aantreffen. In een populatie kunnen de individuen een verschillend verspreidingspatroon vertonen. Ze kunnen gegroepeerd, regelmatig verspreid of willekeurig verspreid voorkomen (zie afbeelding 15). Ze kunnen op de bodem leven, of in de toppen van bomen, enzovoort.

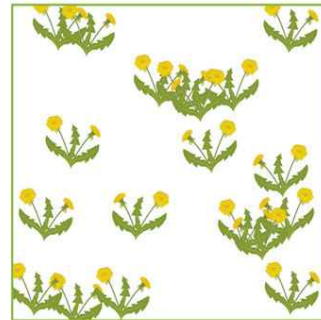
■ Afb. 15 Verspreidingspatronen.



1 gegroepeerd,
bijvoorbeeld olifanten



2 regelmatig verspreid,
bijvoorbeeld haviken

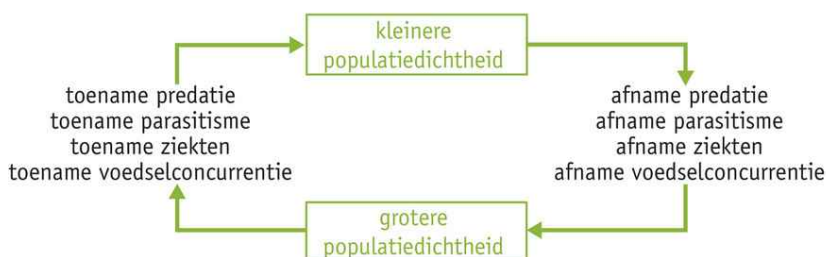


3 willekeurig verspreid,
bijvoorbeeld
paardenbloemen

De populatiegrootte en de populatiedichtheid variëren in de loop van de tijd door de invloed van verschillende factoren. Bij sommige factoren is die invloed afhankelijk van de populatiedichtheid. Voorbeelden van zulke dichtheidsafhankelijke factoren zijn voedselrelaties, parasitisme, ziekte en concurrentie. Deze factoren beïnvloeden de populatiedichtheid door **negatieve terugkoppeling**: als de populatiedichtheid groter wordt, krijgen de factoren die een afname van de populatiedichtheid veroorzaken meer invloed. En als de populatiedichtheid kleiner wordt, worden de factoren die de populatie doen groeien belangrijker (zie afbeelding 16). Het schommelen van biotische factoren noem je **dynamiek**. Het resultaat van een dynamiek is dat de populatiedichtheid om een evenwichtswaarde schommelt. De populatie verkeert dan in een **dynamisch evenwicht**. Er is in zo'n geval sprake van zelfregulatie in het ecosysteem.

Of het evenwicht in stand blijft, hangt af van verschillende factoren. Als er in korte tijd veel prooidieren bijkomen, zullen de roofdieren niet onbeperkt blijven eten. Er zijn namelijk te weinig roofdieren om zoveel prooidieren op te eten. Als die roofdieren lange tijd nodig hebben om jongen te krijgen of groot te brengen, zal het aantal prooidieren nog meer toenemen.

■ Afb. 16 Een populatie wordt beïnvloed door negatieve terugkoppeling.



Dichtheidsonafhankelijke factoren hebben vaak een relatie met het klimaat. Een strenge winter, hevige sneeuwval, een overstroming of een bosbrand kan een plotselinge, sterke terugval in de populatiedichtheid veroorzaken. Meestal herstelt de populatie zich weer in de jaren daarna. Bij sommige soorten veroorzaakt een combinatie van gunstige klimaatfactoren een plotselinge toename in de populatiedichtheid. Zo krijgen landen in Afrika ongeveer eens in de twintig jaar te maken met enorme plagen van sprinkhanen of krekels.

GEBOORTE, STERFTE EN MIGRATIE

Alle dichtheidsafhankelijke en dichtheidsonafhankelijke factoren beïnvloeden het geboortecijfer, het sterftcijfer en de migratie binnen een populatie. Deze drie parameters (grootheden) kunnen de populatiegrootte veranderen.

Door **geboorte** groeit een populatie. Het geboortecijfer van een populatie geeft aan hoeveel organismen er per tijdseenheid door voortplanting ontstaan. Het geboortecijfer geeft meestal het aantal jongen aan dat per jaar per duizend organismen wordt geboren. Het aantal nakomelingen per soort verschilt. Kieviten bijvoorbeeld hebben een laag geboortecijfer. Kieviten beschermen hun jongen tegen roofdieren en slechte weersomstandigheden, zodat de jongen een goede kans hebben de eerste levensperiode te overleven. Kikkers hebben hoge geboortecijfers. Kikkers beschermen hun jongen niet of nauwelijks. Bijna alle jongen overleven de eerste levensperiode niet.

Door **sterfte** wordt een populatie kleiner. Het sterftcijfer van een populatie geeft aan hoeveel organismen er per tijdseenheid sterven. Het sterftcijfer geeft meestal het aantal gestorven individuen per jaar per duizend organismen aan. Het sterftcijfer kan variëren. Voor mensen geldt bijvoorbeeld dat het sterftcijfer bij oudere mensen hoog is en bij jonge mensen laag. Bij kikkers is het sterftcijfer juist hoog bij jonge dieren.

De populatiegrootte kan ook veranderen door **migratie** (verplaatsing, verhuizing). Organismen kunnen van elders een populatie binnentrekken (immigratie) of uit een populatie wegtrekken (emigratie).

POPULATIEGROEI

Veel populaties verkeren in een dynamisch evenwicht. Dat evenwicht kan op verschillende manieren worden verstoord. Bijvoorbeeld doordat er organismen van andere soorten vanuit een ander gebied binnendringen. Zulke soorten noem je uitheems, in tegenstelling tot de inheemse soorten die van nature in een gebied voorkomen. Soms gebeurt dat binnentrekken per ongeluk, bijvoorbeeld doordat een vogel door sterke wind uit de koers is geraakt (dwaalgast).

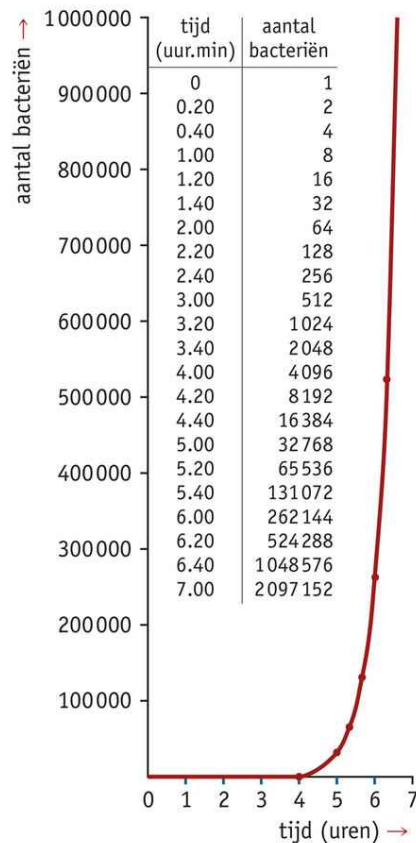
Organismen die als gevolg van menselijk handelen terechtkomen in een leefgebied waarin ze van oorsprong niet thuishoren, noem je **exoten**. Sommige exoten zijn invasief, dat wil zeggen dat ze eigenschappen bezitten waardoor ze zich in het nieuwe leefgebied kunnen vestigen en verspreiden. Het gevaar bestaat dan dat ze inheemse populaties verdringen en het dynamisch evenwicht verstoren. Zo is de halsbandparkiet (*Psittacula krameri*) uit India meegenomen om hier als huisdier te houden en losgelaten in de natuur (zie afbeelding 17). In heel Nederland zie je nu verwilderde populaties in parken leven.

■ Afb. 17 Halsbandparkiet.



In het begin zullen de omstandigheden voor een exoot gunstig zijn. De nieuwe populatie telt nog weinig individuen, die daardoor voldoende voedsel zullen aantreffen. De populatie zal gaan groeien. Als de hulpbronnen onbeperkt zijn, kun je de populatiegroei vergelijken met de exponentiële groei van een kolonie bacteriën op een voedingsbodem. In afbeelding 18 is in een diagram weergegeven hoe zo'n kolonie groeit als elke bacterie zich elke twintig minuten deelt. Het diagram vertoont een J-vormige **groeicurve**.

■ **Afb. 18** Exponentiële groei van bacteriën op een voedingsbodem.

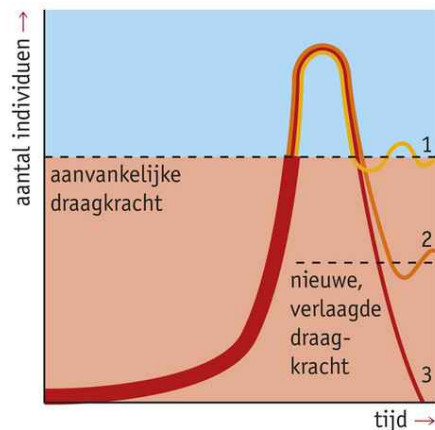


Bij exponentiële groei zullen na verloop van tijd de omstandigheden minder gunstig worden. Voor de meeste populaties geldt dat de hulpbronnen zoals bijvoorbeeld voedsel en ruimte in een ecosysteem beperkt zijn. Bij een groeiende populatie neemt de invloed van de beperkende factoren toe.

De **draagkracht** van een ecosysteem is de maximale populatiegrootte van de verschillende populaties die over langere tijd in dat ecosysteem kunnen worden gehandhaafd.

Bij soorten die veel nakomelingen krijgen treedt gemakkelijk een exponentiële groei op als de omstandigheden gunstig zijn. Dit zie je in de grafiek van afbeelding 19 aan de dikke rode lijn. Het is mogelijk dat na zo'n snelle groei de draagkracht van het ecosysteem wordt overschreden. Daarna zal de populatie kleiner worden. Deze terugval kan op verschillende manieren plaatsvinden. Het teveel aan organismen kan bijvoorbeeld sterven, totdat de draagkracht van het ecosysteem is bereikt (lijn 1 in afbeelding 19). Hierna kan zich een dynamisch evenwicht instellen bij een kleinere populatie (lijn 2 in afbeelding 19). Het komt vaak voor dat de draagkracht dan lager is. Een derde mogelijkheid is dat de populatie instort en zich niet meer herstelt (lijn 3 in afbeelding 19).

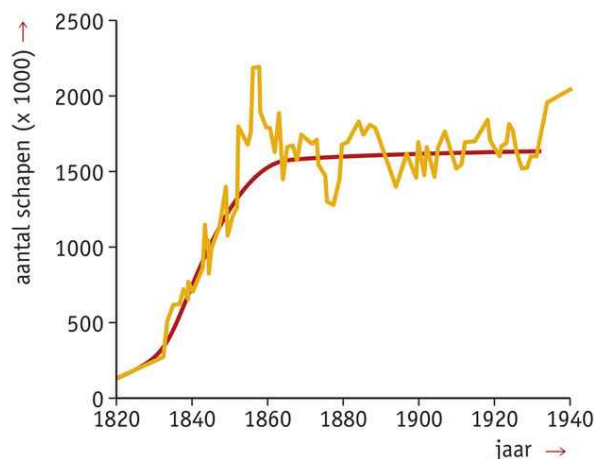
■ **Afb. 19** Gevolgen van overschrijding van de draagkracht.



Meestal heeft een overschrijding van de draagkracht ernstige gevolgen voor de populatie. Een te grote populatie rupsen bijvoorbeeld kan alle bladeren van planten wegvreten. Door deze vraat zal een aantal planten sterven. Dit heeft tot gevolg dat de draagkracht van het ecosysteem voor rupsen terugloopt, waardoor er een massale sterfte bij de rupsen optreedt. Hierna kan zich een dynamisch evenwicht bij een kleinere populatiegrootte instellen.

Bij soorten met een laag geboortecijfer groeit een populatie minder snel. Als zo'n populatie zich in een nieuw ecosysteem vestigt, zal de groei aanvankelijk wel exponentieel zijn, maar al snel neemt de populatiegroei af, doordat dichtheidsafhankelijke factoren gaan tegenwerken. Er stelt zich een dynamisch evenwicht in. Als alle omstandigheden optimaal zijn en optimaal blijven, zal dit evenwicht zich instellen op het niveau van de draagkracht. In een diagram vertoont de populatiegrootte dan een S-vormige groeicurve (zie afbeelding 20).

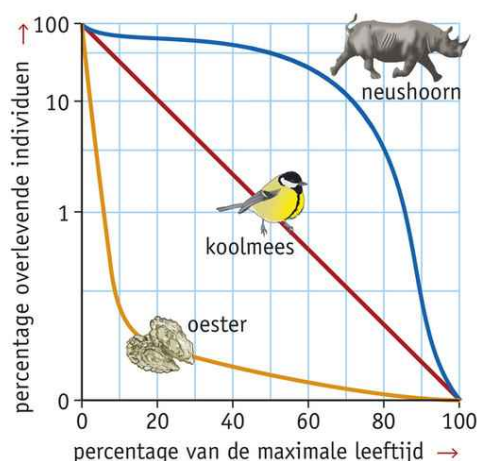
■ **Afb. 20** De populatiegrootte van schapen in Tasmanië. In het begin van de negentiende eeuw werden schapen op dit eiland ingevoerd.



Opdrachten **KENNIS**

- 22** Een langdurige periode van hevige sneeuwval kan de dichtheid van verschillende populaties in een ecosysteem beïnvloeden.
- Is dit een dichtheidsafhankelijke of een dichtheidsonafhankelijke factor?
 - Is hierbij sprake van terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
- 23** In afbeelding 21 zie je overlevingscurven van enkele diersoorten in een diagram. Daaruit is af te lezen welk deel van de nakomelingen op welke leeftijd in leven blijft. Op de x-as staat de leeftijd als percentage van de maximale leeftijd die een organisme van de soort kan bereiken. De y-as is logaritmisch.
- Bij welke diersoort in afbeelding 21 is de sterfte tijdens de eerste levensperiode het grootst?
 - Bij welke van de soorten in afbeelding 21 verwacht je het hoogste gemiddelde geboortecijfer? Leg je antwoord uit.
 - Waarop lijkt de overlevingscurve van de kikker het meest: die van de neushoorn, van de koolmees of van de oester? Leg je antwoord uit.
 - En waarop lijkt de overlevingscurve van de mens het meest? Leg je antwoord uit.

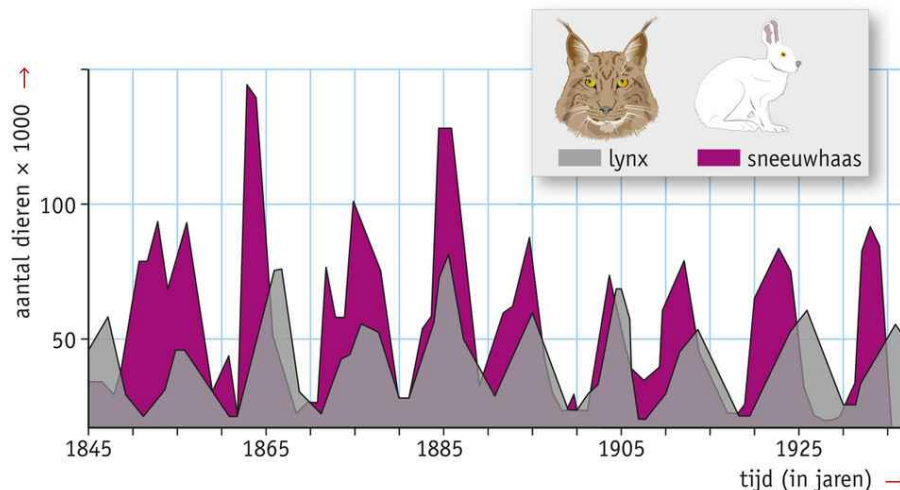
■ **Afb. 21** Overlevingscurven van enkele diersoorten.



Opdrachten **INZICHT**

- 24** Lynxen en sneeuwzhazen hebben een predator-prooirelatie. In afbeelding 22 is in een diagram het verband tussen de grootte van de populatie van beide soorten in Canada weergegeven. De cijfers zijn ontleend aan de aantallen door jagers verkochte huiden over een periode van negentig jaar.
- Leg uit welke invloed een toename van de populatie van de sneeuwzhazen heeft op de populatiegrootte van lynxen.
 - Leg uit welke invloed een toename van de populatie van de lynxen heeft op de populatiegrootte van sneeuwzhazen.
 - Leg uit waarom een piek in de populatiegrootte van de lynxen wordt voorafgegaan door een piek in de populatiegrootte van sneeuwzhazen.

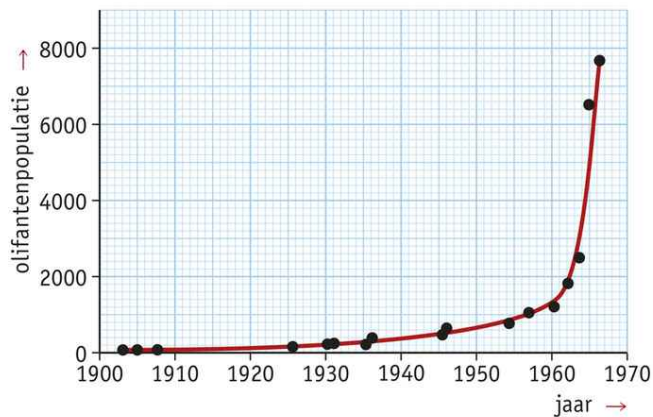
- **Afb. 22** Verband tussen de grootte van de populatie lynxen en de populatie sneeuwhasen in Canada.



- 25** De klassieke varkenspest (KVP) is een zeer besmettelijk en vaak dodelijk virus voor varkens (en wilde zwijnen). Dit soort virussen is tot nu toe ongevaarlijk voor mensen. Toch bestaat het risico dat een virus muteert. Bepaalde mutaties kunnen ervoor zorgen dat het virus een andere soort besmet. Een ziekte die overslaat van een andere gewervelde naar de mens noem je een zoönose. Voorbeelden van zoönosen zijn: COVID-19, influenza, rabiës, ebola, Q-koorts, MRSA, en miltvuur.
- a Leg uit dat de verspreiding van KVP een dichtheidsafhankelijke factor is.
 - b KVP ontstond in 1830. Toen bestond er nog geen intensieve veehouderij van varkens. Leg uit dat de intensieve veehouderij (het houden van veel dieren op een kleine oppervlakte) wel kan bijdragen aan het muteren van de varkenspest.
- 26** Op savannes komen regelmatig grasbranden voor. Door de afwisseling van natte perioden waarin gras goed kan groeien en perioden van langdurige droogte ontstaat er lang en droog gras. Droog gras is erg brandbaar. De grasbranden zijn niet slecht voor de savannes. Ze zorgen er juist voor dat de grasvlakte niet verandert in een bos. Leg uit of de branden afhankelijk of onafhankelijk zijn van de populatiedichtheid van gras.
- 27** De populaties van sommige exoten groeien heel langzaam. Meestal valt de schade die exoten aanrichten daardoor mee. Leg uit waarom exoten die zich snel kunnen vestigen en voortplanten wel veel schade kunnen aanrichten.

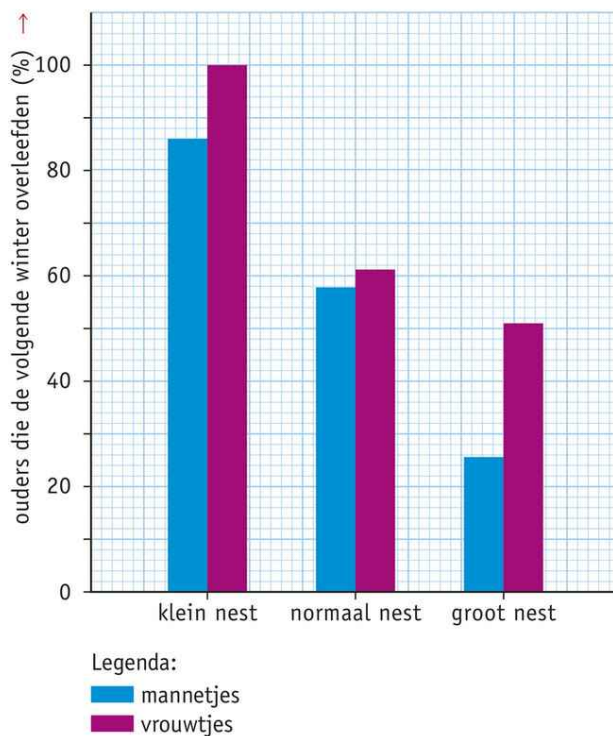
- 28** In het begin van de twintigste eeuw werden er in het nationale park Kruger in Zuid-Afrika olifanten uitgezet. Dit gebied heeft een oppervlakte van ongeveer de helft van Nederland. In afbeelding 23 is de groei van de olifantenpopulatie over de jaren heen weergegeven.
- Leg uit dat de populatie niet altijd op deze manier verder kan toenemen.
 - Om de populatie olifanten in het nationale park beperkt te houden, werden veel olifanten geëxporteerd naar andere landen. Ook kregen de olifanten anticonceptie om de populatiegroei te verminderen.
Leg uit waarom hiervoor is gekozen.

■ **Afb. 23** Populatiegroei van olifanten in het nationale park Kruger.



- 29** Bij torenvalken (*Falco tinnunculus*) zorgt zowel het mannetje als het vrouwtje voor de jongen. Een groep Nederlandse wetenschappers onderzocht hoeveel procent van de mannetjes en vrouwtjes bij verschillende nestgroottes de winter overleefden. Een klein nest had 3 tot 4 kuikens, een normaal nest 5 tot 6 en een groot nest 7 tot 8. De onderzoeksresultaten staan in afbeelding 24.
Wat is de conclusie van dit onderzoek?

■ **Afb. 24** Resultaten onderzoek over de torenvalk.





30 Iep iep hoera

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2018, vraag 33.

Met de kop 'Iep iep hoera' berichtte het ANP over het 25-jarig jubileum van het 'vaccineren' van iepen tegen iepziekte. Iepziekte wordt veroorzaakt door een schimmel die leidt tot afsluiting van bepaalde transportvaten van de iep, waardoor hij sterft. De schimmel wordt overgebracht door de iepenspintkever.

De iepenspintkever legt eitjes onder de schors van de iep. Daarvoor knaagt de kever een gang (de oudergang) onder de schors van een dode of verzwakte iep, waarin de eitjes op een rij worden gelegd. De larven knagen van daaruit elk een nieuwe gang, waarna ze zich aan het eind van de gang verpoppen. Zo ontstaat het vraatspoor dat kenmerkend is voor deze soort. De jonge kevers voeden zich enkele dagen met bladeren van gezonde iepen en verspreiden hierbij de schimmel die de iepziekte veroorzaakt. Daarna vliegen de kevers weer naar een zieke of dode boom om zich voort te planten.

- a Leg uit welke vorm van symbiose er bestaat tussen de kever en de schimmel.
- b Leg uit welke vorm van symbiose er bestaat tussen de iep en de schimmel.



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Leefwereld

EEN ONGEWENSTE GAST

Zijn naam doet anders vermoeden, maar de huiskraai (zie afbeelding 25) is een exoot, een invasieve exoot nog wel. Volgens de provincie Zuid-Holland moet de huiskraai zo snel mogelijk worden gevangen en desnoods afgeschoten.

In 1994 werden twee huiskraaien gesignaleerd in Hoek van Holland: een mannetje en een vrouwtje. Vermoedelijk waren ze meegelift met een vrachtschip uit Egypte. In 2013 waren er 25 huiskraaien. Dat was de hele populatie in Nederland.

Volgens de provincie zijn de huiskraaien een bedreiging voor de inheemse fauna, omdat ze in Afrika andere vogelsoorten bedreigen. De huiskraai jaagt op andere vogels en op kleine dieren. Daarnaast verjagen de kraaien actief andere vogelsoorten. De huiskraai concurreert sterk met andere stedelijke vogels om voedsel, maar ook om nestgelegenheid. De huiskraaien vertonen dominant gedrag en groepsgedrag, waardoor de meeste inheemse soorten aan het kortste eind trekken.

Sinds 2016 staat de huiskraai op de Unielijst van invasieve exoten. Op deze lijst staan de namen van invasieve exoten die een probleem zijn in de

Europese Unie. Het is verboden om de soorten van deze lijst te houden, verkopen of vervoeren. EU-landen zijn verplicht om in de natuur de aanwezige populaties op te sporen en te verwijderen. Lukt dit niet, dan moet het land de populatie zodanig beheren dat verspreiding en schade zoveel mogelijk worden voorkomen. Maar volgens stichting De Faunabescherming horen huiskraaien wel degelijk bij de inheemse fauna, omdat ze hier op eigen kracht zijn gekomen. Bovendien stond de huiskraai in 2001 op een lijst met beschermde inheemse diersoorten.

■ Afb. 25 Huiskraai.



Opdrachten

- 31 De provincie Zuid-Holland en stichting De Faunabescherming verschillen van mening of de huiskraai een invasieve exoot is.
 - a Wat is het argument van de provincie?
 - b Waarom is het belangrijk om exoten in een vroeg stadium te verwijderen?
 - c In Hoek van Holland werd het 'Comité Huiskraaien Onderduik' opgericht. Een woordvoerder van dit comité beweert dat leden een aantal huiskraaien hebben verstoep. Vind je dit een goede actie? Onderbouw je mening met argumenten.
- d Stichting De Faunabescherming is naar de rechter gestapt om te voorkomen dat de huiskraai zou worden verwijderd. Uiteindelijk heeft de provincie Zuid-Holland de zaak gewonnen. Als jij rechter was, wat zou jouw beslissing in deze zaak zijn? Onderbouw je oordeel.
- e Noem drie eigenschappen waaraan een organisme volgens jou moet voldoen om op de Unielijst van invasieve soorten te komen.

3 ECOSYSTEMEN

LEERDOELEN

5.3.1 Je kunt de voedselrelaties en de informatienetwerken binnen een ecosysteem beschrijven.

5.3.2 Je kunt de energiestromen door een ecosysteem beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	5.3.1	5.3.2
Begrijpen	32, 33, 34, 35, 36	37
Toepassen	38, 39, 47	42a, 44, 48
Analyseren	45, 46, 49, 50	40, 41, 42b, 43

‘Elke morgen ontwaakt in Afrika een gazelle. Hij weet dat hij sneller moet zijn dan de snelste leeuw, anders wordt hij gedood. Elke morgen ontwaakt er in Afrika een leeuw. Hij weet dat hij sneller moet zijn dan de langzaamste gazelle, anders sterft hij van de honger. Het doet er niet toe of je een gazelle of een leeuw bent, je kunt beter meteen gaan rennen als de zon opkomt.’ (Thomas L. Friedman)

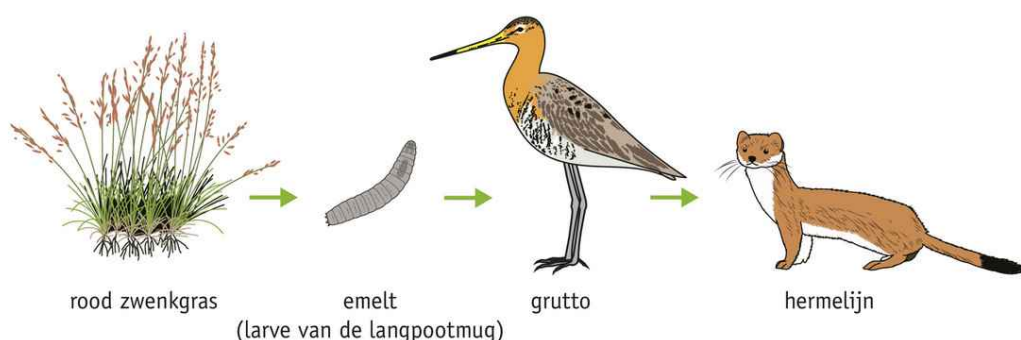
VOEDSELRELATIES

Planten beschermen zich tegen **vraat** (het eten van planten) door dieren. Rozen bijvoorbeeld hebben doornen. Sommige planten maken gifstoffen aan om zich tegen vraatzuchtige dieren te verdedigen. Veel planten maken daarbij gebruik van **signaalstoffen**. Dat zijn chemische verbindingen die informatie overdragen tussen en binnen organismen. Ook schermacacia's in Afrika maken zo'n signaalstof als ze worden aangevreten. Zodra andere acacia's deze stof opvangen, maken ze een gifstof aan waardoor overmatige vraat wordt voorkomen.

Planten zijn de eerste schakel in een voedselketen. Een **voedselketen** geeft de voedselrelaties in een ecosysteem weer. In een voedselketen is een reeks populaties met elkaar verbonden, waarbij elke populatie een voedselbron is voor de volgende populatie (zie afbeelding 26).

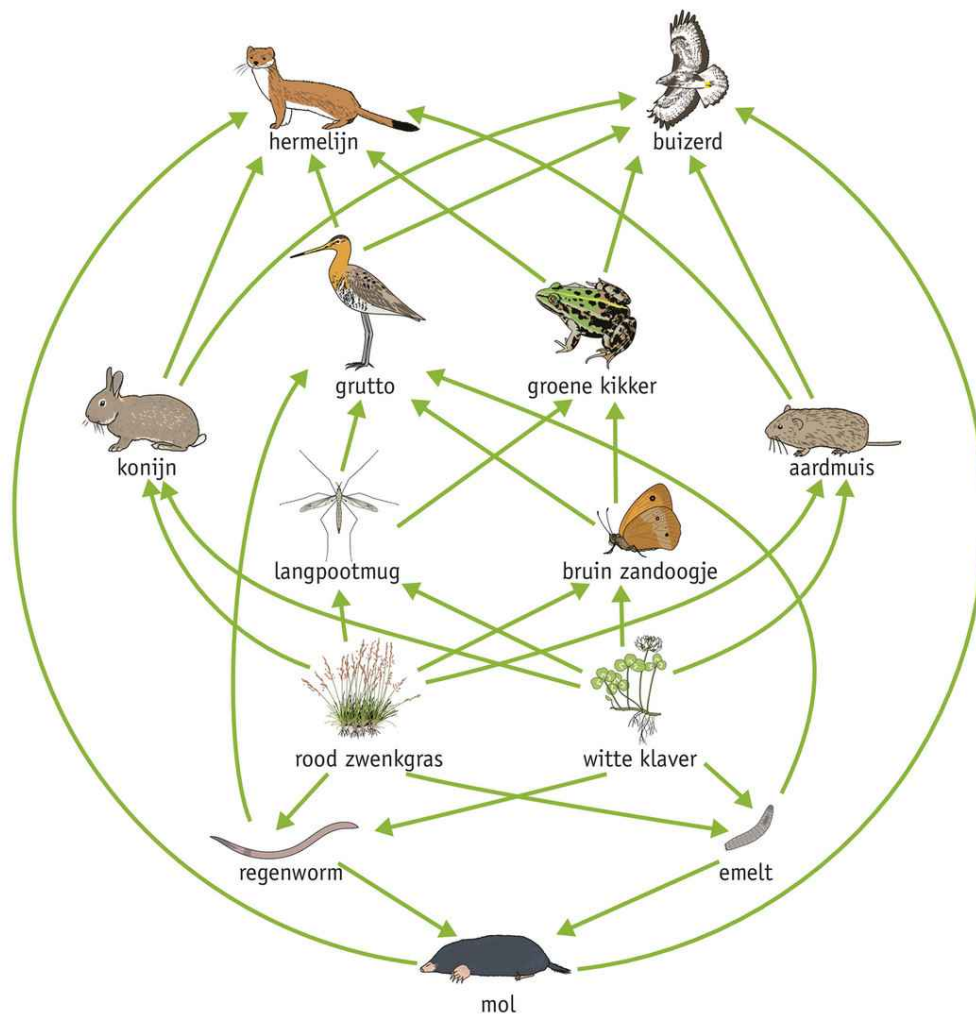
In een voedselketen geven de pijlen weer in welke richting chemische energie in voedingsstoffen wordt overgedragen, dus van het (op)gegeten organisme naar de eter. De pijlen geven de **energiestroom** door een voedselketen weer.

■ **Afb. 26** Een voedselketen.



In een ecosysteem lopen diverse voedselketens door elkaar heen. Het geheel van voedselrelaties in een levensgemeenschap noem je **voedselweb** (zie afbeelding 27). Het eten van dieren heet **predatie**.

■ Afb. 27 Een voedselweb.



ENERGIESTROOM

Elke schakel in een voedselketen heet een **trofisch niveau**. Op het eerste trofische niveau bevinden zich autotrofe organismen. Dit zijn organismen die organische stoffen uit anorganische stoffen kunnen maken. Zij produceren hun eigen voedsel en zijn niet afhankelijk van andere organismen als voedselbron en heten **producenten**. De opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen noem je **assimilatie**. Door assimilatie ontstaan de organische stoffen waaruit de cellen van een organisme bestaan.

Producenten (planten, cyanobacteriën en sommige archaea) zijn in staat met behulp van **fotosynthese** glucose te vormen uit de anorganische stoffen koolstofdioxide en water (of een andere stof met waterstof). Dit proces heet **koolstofassimilatie**. Voor koolstofassimilatie is energie nodig. Planten en cyanobacteriën gebruiken hiervoor de energie van licht (fotosynthese). Deze organismen zijn **foto-autotroof**.

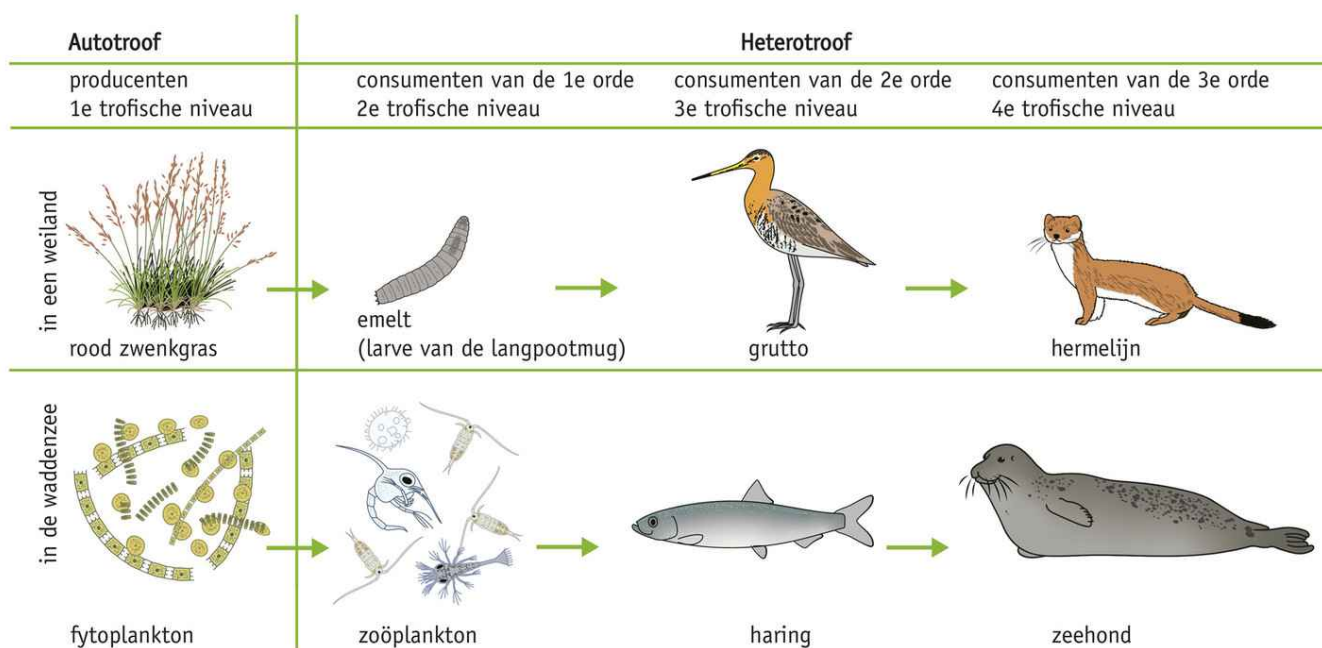
Er zijn ook bacteriën die energie halen uit anorganische stoffen door middel van oxidatie (overdracht van elektronen). Dit proces heet **chemosynthese**. De organismen die op deze manier hun voedsel maken, noem je **chemo-autotroof**.

Bij **voortgezette assimilatie** is glucose de grondstof voor de vorming van koolhydraten, eiwitten, vetten en DNA. Voor voortgezette assimilatie in autotrofe organismen zijn onder andere anorganische voedingszouten nodig.

Heterotrofe organismen zijn niet in staat organische stoffen te vormen uit alleen anorganische stoffen. De meeste bacteriën, schimmels en dieren zijn heterotroof. Dit zijn de **consumenten**. Zij moeten voor de opbouw van hun cellen organische stoffen uit hun voedsel opnemen en bevinden zich daardoor in de tweede en alle volgende schakels van voedselketens.

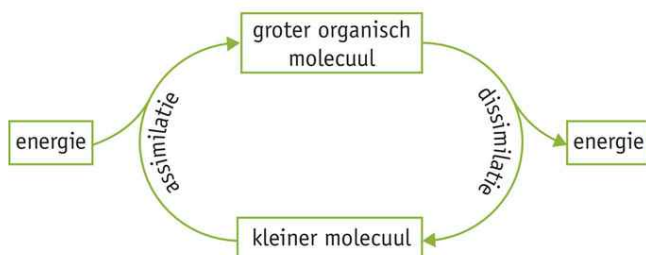
In de tweede schakel vind je de consumenten van de eerste orde, in de derde schakel de consumenten van de tweede orde, enzovoort (zie afbeelding 28). Consumenten van de eerste orde zijn herbivoren (planteneters). Omnivoren (alleseters) zijn te vinden bij de consumenten van de eerste tot de hoogste orde. Carnivoren (diereneters) tref je aan vanaf de tweede orde.

■ Afb. 28 Voedselketens.



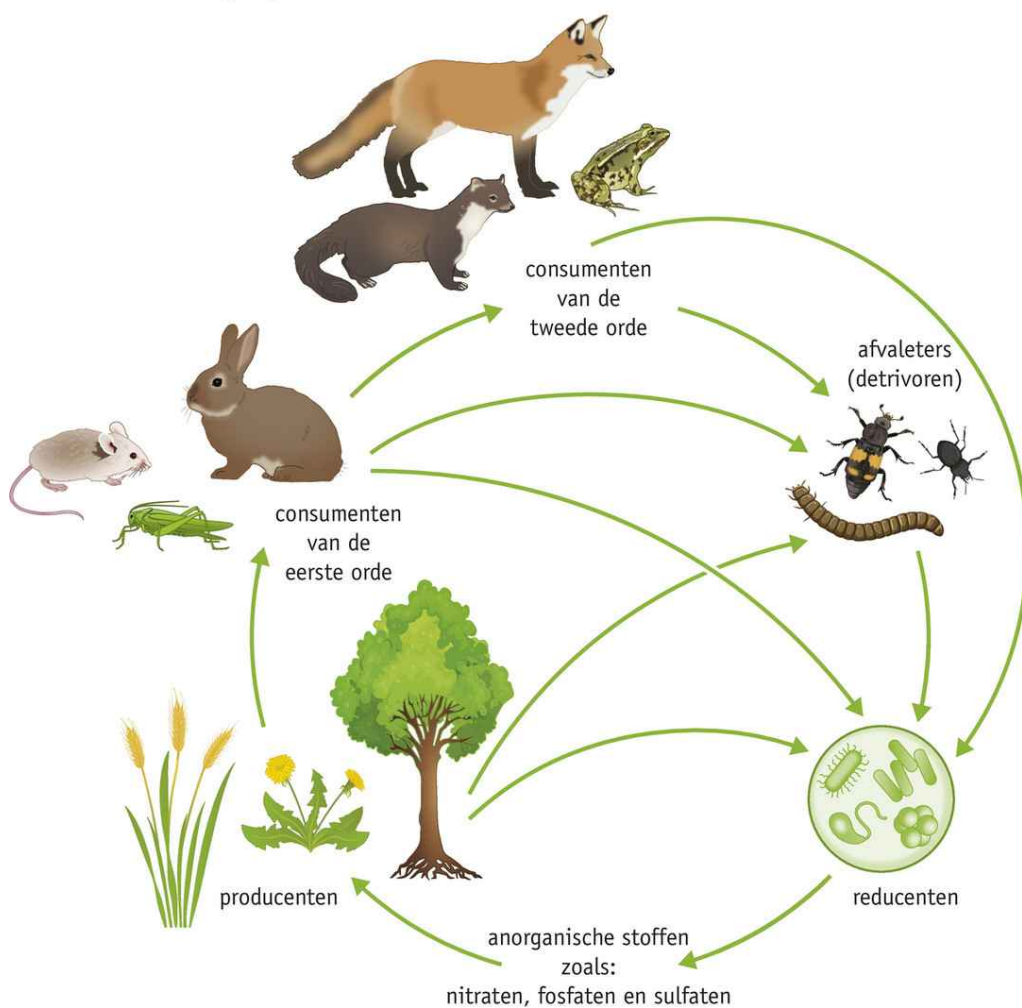
In grote organische moleculen ligt veel energie opgeslagen in de verbindingen tussen de atomen. Bij de afbraak van de organische moleculen komt deze energie weer beschikbaar. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de verbranding van glucose in cellen. De afbraak van organische moleculen noem je **dissimilatie**. De energie die vrijkomt bij dissimilatie kan weer worden gebruikt voor assimilatie (zie afbeelding 29).

■ Afb. 29 Assimilatie en dissimilatie.



Dode resten van organismen kunnen worden gegeten door afvaleters (detrivoren), zoals bepaalde insecten en wormen. Afvaleters zijn net als alle andere dieren consumenten, met de bijzondere eigenschap dat ze leven van afgestorven resten van organismen (bladafval, uitwerpselen, dode dieren of planten). **Reducenten** (bacteriën en schimmels) breken de overgebleven dode resten af tot anorganische stoffen (koolstofdioxide, water, voedingszouten). Dit proces heet mineralisatie. Producenten kunnen de vrijgekomen anorganische stoffen weer opnemen. Reducenten maken de kringloop van stoffen in een ecosysteem sluitend (zie afbeelding 30).

■ Afb. 30 De kringloop van stoffen.



Opdrachten KENNIS



- 32 Vul de tabel in. Zet een + als een proces kan plaatsvinden en een – als dat niet het geval is.

	Assimilatie	Dissimilatie	Koolstofassimilatie
Consumenten			
Producenten			
Reducenten			

- 33 Waarom staan in de meeste voedselketens planten aan de basis?



34 **Bladsnijdersmieren**

Naar: Voorronde Biologie Olympiade onderbouw 2017, vraag 12 en 13.

Bladsnijdersmieren zijn verschillende soorten mieren die voorkomen in de tropische en gematigde bossen van Noord- en Zuid-Amerika. Zoals hun naam doet vermoeden, snijden zij met hun enorme kaken blad in kleine stukjes, om het vervolgens naar hun nest te vervoeren (zie afbeelding 31). In hun nest leven de bladsnijdersmieren in symbiose met een schimmel. Deze schimmel groeit door de voedingsstoffen die vrijkomen bij het verteren van de fijngekauwde bladeren. De mieren eten kleine stukjes van de schimmel.

- Tot welke groep behoort de schimmel waar de bladsnijdersmieren mee samenleven?
- Tot welke groep behoren de bladsnijdersmieren in een ecosysteem?

■ Afb. 31 Bladsnijdersmieren.

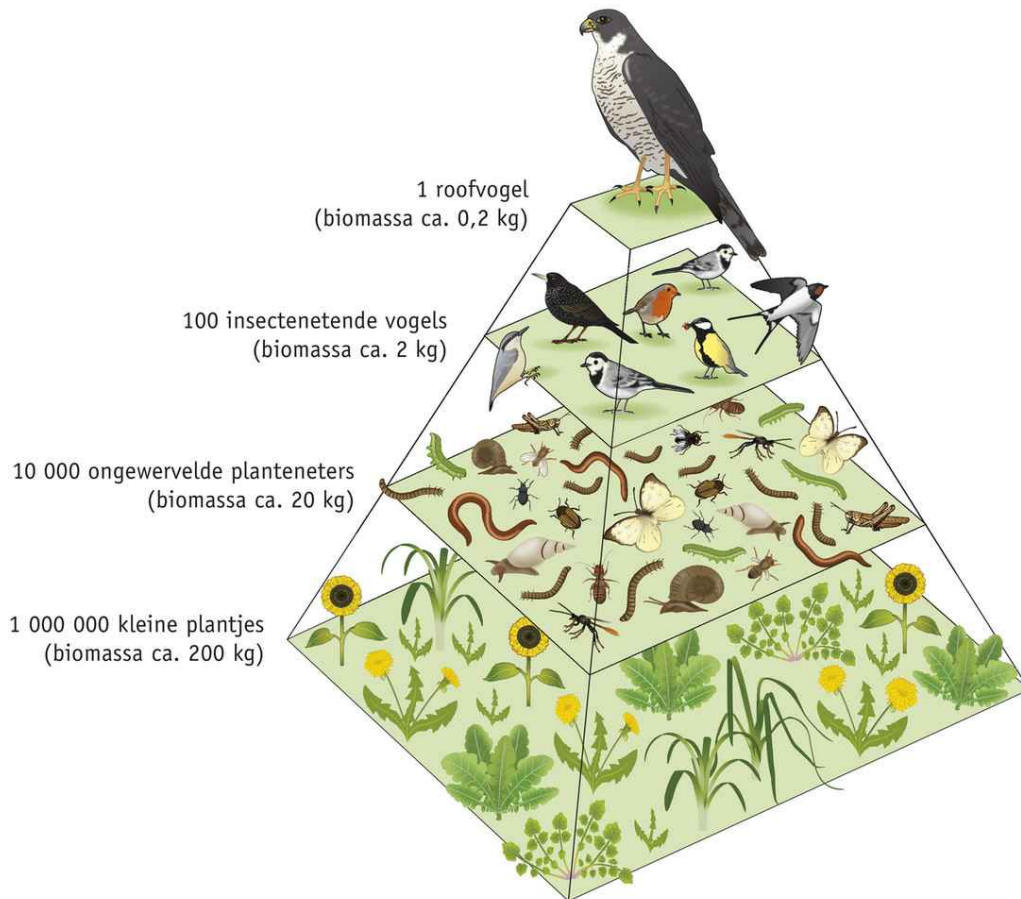


- 35 Leg uit waarom afvaleters niet tot de reducenten behoren.
- 36 Rankschik de volgende organismen in drie verschillende voedselketens. Kies uit: *alg* – *eik* – *garnaal* – *kerkuil* – *merel* – *rups* – *sperwer* – *tarweplant* – *veldmuis* – *vis* – *visarend*.

PIRAMIDEN EN STROMEN IN ECOSYSTEMEN

De organismen per trofisch niveau kun je weergeven in een ecologische piramide. In afbeelding 32 zijn de aantallen organismen en de biomassa van die organismen per trofisch niveau grafisch weergegeven in een **piramide van aantallen**. De **biomassa** is het totale gewicht van alle organische stoffen.

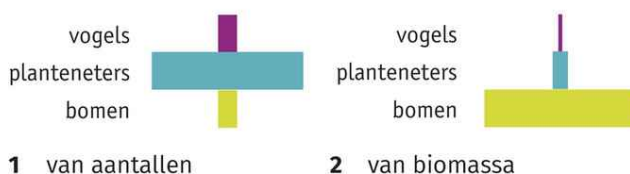
■ **Afb. 32** Ecologische piramide (van aantallen en van biomassa).



Meestal telt elk trofisch niveau meer organismen dan het volgende niveau. Zo zijn er veel kleine ongewervelde herbivoren die als voedsel dienen voor een klein aantal vogels (zie afbeelding 32). De piramide van aantallen heeft dan een piramidevorm met een brede basis en een smalle top. Soms heeft een lager trofisch niveau minder organismen dan het volgende niveau. Het aantal bomen in een bos bijvoorbeeld is kleiner dan het aantal herbivoren (slakken, insecten, zaadetende vogels). De piramide van aantallen heeft dan geen piramidevorm.

In een **piramide van biomassa** wordt de biomassa van elk trofisch niveau grafisch weergegeven. De piramide van biomassa heeft vrijwel altijd een piramidevorm, ook als de piramide van aantallen een afwijkende vorm heeft (zie afbeelding 33).

■ **Afb. 33** Piramiden van een voedselketen.

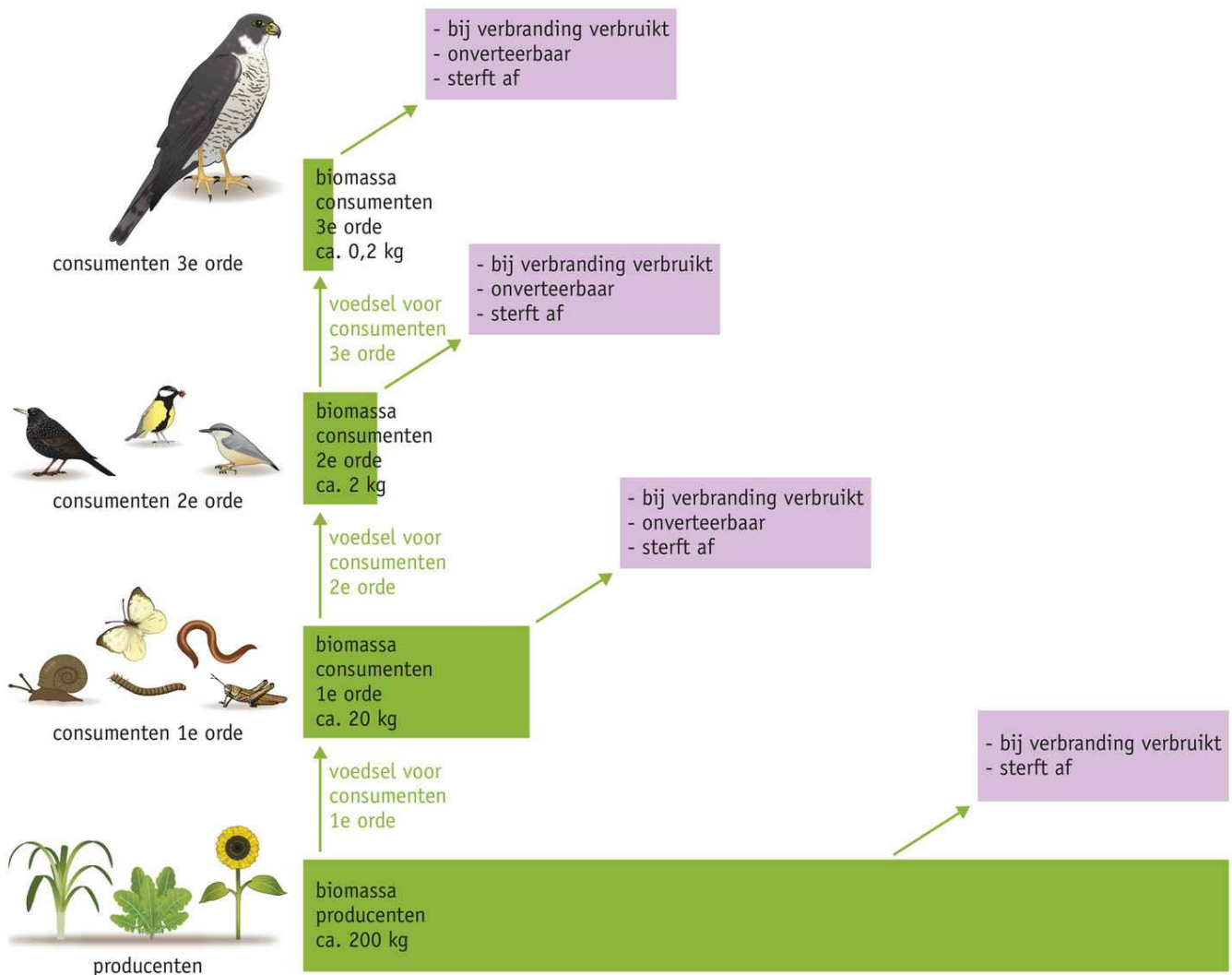


1 van aantallen

2 van biomassa

Een deel van de biomassa (chemische energie) wordt doorgegeven aan het volgende trofisch niveau. Op deze manier ontstaat een energiestroom door het ecosysteem. Afbeelding 34 is een weergave van deze energiestroom.

■ Afb. 34 Energiestroom in een ecosysteem.



Alle biomassa die in een ecosysteem door producenten wordt gevormd, is de **bruto primaire productie (BPP)** van het ecosysteem. De pijl bij de producenten in afbeelding 34 geeft weer dat een deel van deze biomassa door de producenten wordt verbruikt bij de dissimilatie. De organische stoffen die niet worden gedissimileerd of verloren gaan door het afsterven van weefsels zoals takken en bladeren, gebruiken de producenten voor de vorming van nieuwe weefsels. Dat is de **netto primaire productie (NPP)**.

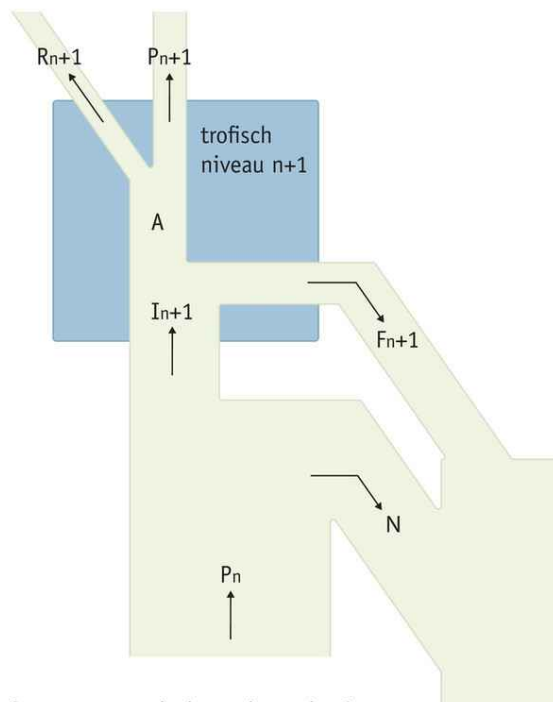
De weefsels van producenten kunnen afsterven en worden afgebroken door reducenten, of worden gegeten. Als ze worden gegeten, komt de energie die in deze weefsels is vastgelegd terecht in de lichamen van consumenten van de eerste orde. Een deel van de gegeten weefsels verlaat het lichaam van de consumenten onverteerd met de ontlasting. Een ander deel wordt verteerd. De energie in de verteerde weefsels wordt door de consumenten vrijgemaakt bij de dissimilatie, of benut bij de vorming van nieuwe weefsels.

De consumenten van de eerste orde kunnen sterven en worden afgebroken door reducenten, of worden gegeten door consumenten van de tweede orde, enzovoort (zie ook **BiNaS** tabel 93A1). In de piramide van energie heeft elk trofisch niveau zijn eigen **productiviteit**. Dat is de hoeveelheid energie die wordt vastgelegd in organische stoffen. Dit is altijd slechts een deel van de opgenomen energie.

Opdrachten **KENNIS**

- 37 Voedselrelaties kun je weergeven in een ecologische piramide.
- Welke ecologische piramide heeft vrijwel altijd een piramidevorm?
 - In een voedselketen bevatten de consumenten van de eerste orde meer vastgelegde energie dan de consumenten van de tweede orde.
Op welke drie manieren is er tussen deze twee schakels energie uit de voedselketen verdwenen?
 - Waardoor wordt het verschil tussen bruto primaire productie (BPP) en netto primaire productie (NPP) veroorzaakt? Leg je antwoord uit.
 - Afbeelding 35 is een weergave van het patroon van energiestromen in een ecosysteem.
Over het schema in deze afbeelding worden twee beweringen gedaan:
 - Organismen van trofisch niveau n kunnen afkomstig zijn uit de bacteriën, de schimmels, de planten en de dieren.
 - R_{n+1} geeft het energieverlies door dissimilatie aan bij organismen van trofisch niveau $n + 1$.
 Noteer de nummers 1 en 2 onder elkaar en schrijf achter elk nummer of de betreffende bewering juist is.

■ **Afb. 35** Energiestromen in een ecosysteem (schematisch).



- N = niet opgegeten deel van de productie
 P_n = productie op trofisch niveau n
 P_{n+1} = productie op trofisch niveau $n+1$
 I_{n+1} = energieopname, in de vorm van organische stof, op trofisch niveau $n+1$
 F_{n+1} = energieverlies door uitwerpselen op trofisch niveau $n+1$
 A = energieopname, in de vorm van organische stof, via het spijsverteringskanaal in het bloed

Opdrachten INZICHT

38 Naar: examen havo 2018-1, vraag 41.

De vuursalamander (*Salamandra salamandra*, zie afbeelding 36) is in Nederland bijna uitgestorven. De soort is nog maar op een paar plekken in Zuid-Limburg te vinden. Het leefgebied van de vuursalamander bestaat vooral uit beken en loofbossen. De volwassen vuursalamanders voeden zich vooral met wormen, naaktslakken en geleedpotigen. De volwassen vuursalamanders hebben vrijwel geen natuurlijke vijanden, omdat ze giftig zijn. Jonge vuursalamanders die net het land op gaan, worden nog weleens gegrepen door loopkevers, omdat deze jonge exemplaren nog niet zo giftig zijn. De vuursalamander is eierlevendbarend (ovoviviparie), dit houdt in dat het embryonale stadium zich volledig in het moederdier voltrekt. Hetzelfde geldt voor een deel van het larvestadium. Eenmaal geboren voeden de larven zich met alg-etende watervlooien. De larven hebben zelf wel natuurlijke vijanden zoals libellelarven, waterspitsmuizen en beekforellen.

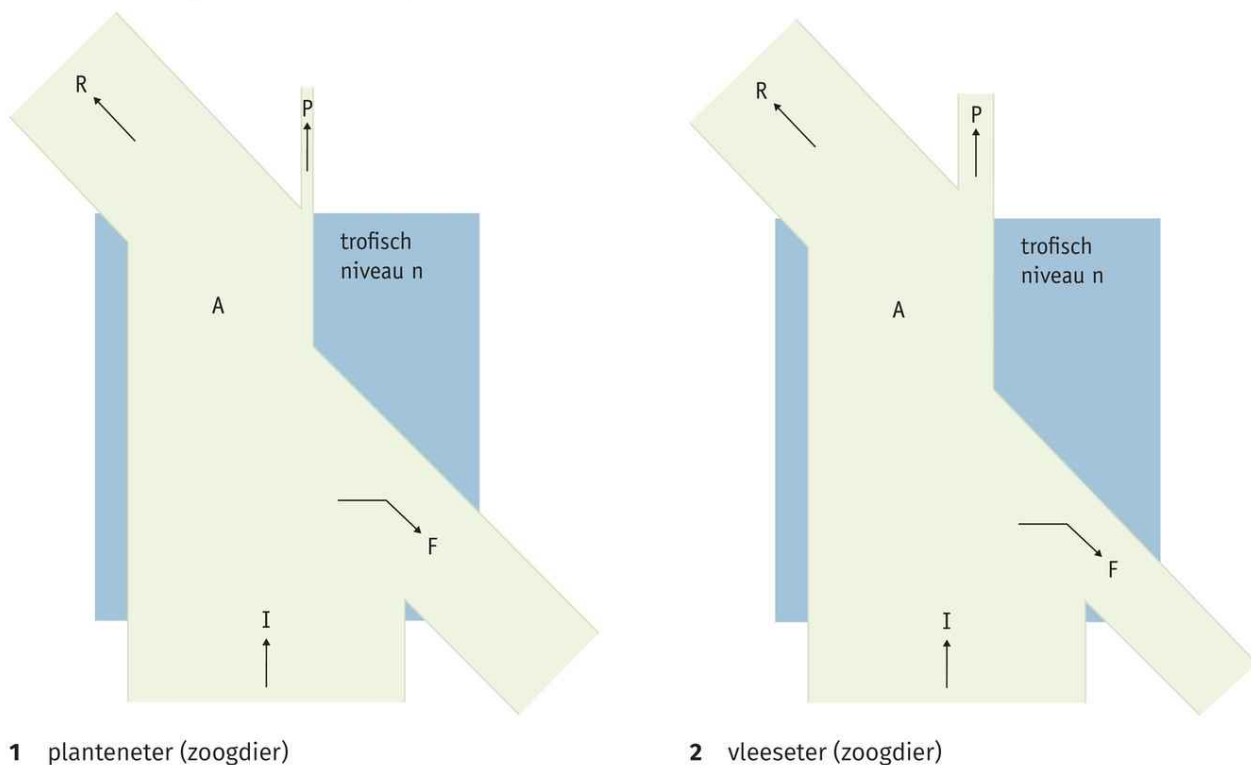
Maak met behulp van de bovenstaande tekst een voedselketen van vier organismen waar de larven van de vuursalamander deel van uitmaken.

■ Afb. 36 Vuursalamander.



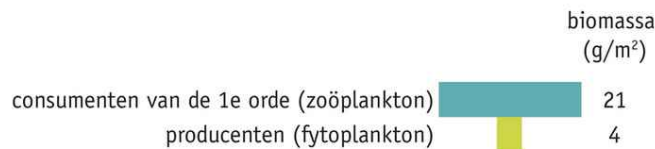
- 39 In een ecosysteem komen vaak producenten, consumenten en reducers voor. Welke groep is niet per se nodig om de kringloop van stoffen op gang te houden?
- 40 Leg aan de hand van afbeelding 37 uit waardoor het energieverlies door uitwerpselen (F) bij planteneters hoger is dan bij vleeseters. Gebruik eventueel de legenda van afbeelding 35.

■ Afb. 37 Energiestromen in een planteneter en een vleeseter.



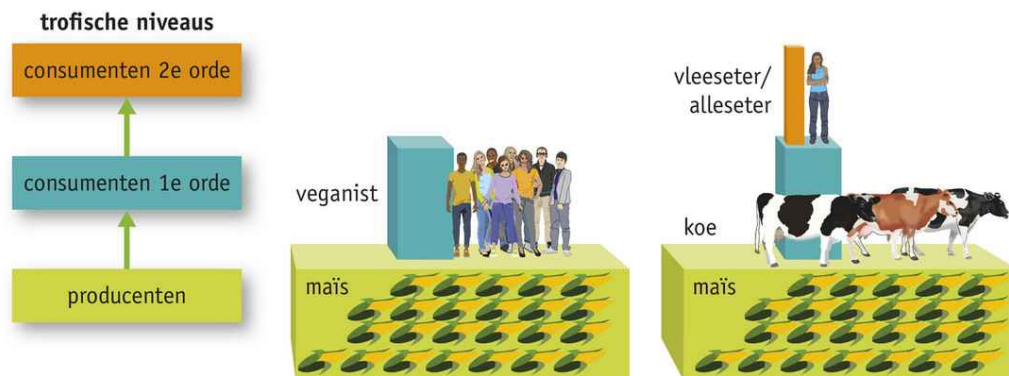
- 41 In afbeelding 38 is de piramide van biomassa van het ecosysteem van Het Kanaal tussen Engeland en Frankrijk weergegeven. Dit diagram is opvallend, omdat het drooggewicht van de producenten lager is dan dat van de consumenten. Toch blijkt er een stabiel evenwicht te zijn. Waarom hebben consumenten van de eerste orde geen gebrek aan voedsel, terwijl ze zich alleen maar voeden met fytoplankton?

■ **Afb. 38** Piramide van biomassa van Het Kanaal.



- 42 a Leg aan de hand van afbeelding 39 uit dat het efficiënter is om planten te eten dan vlees van een koe.
b Leg uit hoe je aan afbeelding 39 kunt zien waarom de meeste voedselketens maar drie tot vijf schakels lang zijn.

■ **Afb. 39** Piramide van biomassa van vleeseters en veganisten.



- 43 Een koe en een sprinkhaan zijn beide herbivoren. In westerse landen worden bijna geen insecten gegeten. Leg aan de hand van tabel 2 uit dat je op hetzelfde stuk land meer biomassa van sprinkhanen kunt kweken dan van koeien. De productiviteitsefficiëntie geeft aan hoeveel van de opgenomen chemische energie wordt benut voor het maken van nieuw weefsel.

Tabel 2 Productiviteitsefficiëntie van verschillende diergroepen.

Diergroep	%
Zoogdieren	2,92
Vogels	1,26
Vissen	9,74
Krekels en sprinkhanen	41,67

- 44** Leg uit hoe een secundaire consument invloed uitoefent op de NPP van een bepaald gebied.

- 45** Naar: examen havo 2011-1, vraag 42.

Op de savanne en in het tropisch regenwoud leven termieten. In beide ecosystemen zijn er termieten die in symbiose met bepaalde schimmels leven. De schimmels voeden zich met de uitwerpselen van de termieten en groeien hierdoor. De termieten voeden zich weer met de schimmels.

Veel schimmelsoorten hebben een omgeving nodig met de omstandigheden zoals in het tropisch regenwoud. Op de savanne is het voor de meeste schimmelsoorten te droog en de temperatuur schommelt te sterk. Bepaalde termieten maken zowel op de savanne als in het tropisch regenwoud zogeheten schimmeltuinen, hier heerst een optimaal klimaat voor de schimmels om te groeien.

De bodemlaag met dood organisch materiaal in het tropisch regenwoud is relatief dun ten opzichte van de savanne. Dit komt onder andere doordat er in het tropisch regenwoud een hoge temperatuur en een hoge luchtvochtigheid heersen. De termieten en de schimmels in het regenwoud hebben een veel kleiner aandeel in de omzetting van organisch materiaal dan op de savanne.

Verklaar waarom termieten en hun schimmels in het tropisch regenwoud een kleiner aandeel hebben in de omzetting van organisch materiaal dan op de savanne.



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Wetenschap

DE WOLF ALS NATUURBEHEERDER

Door de jacht in het nationale park Yellowstone in de Verenigde Staten waren wolven in 1926 uitgeroeid. Hierdoor ontstond een onbalans in het ecosysteem. De wolf hield namelijk de hoeveelheid wapiti's (een hertachtige, zie afbeelding 40) in balans. Wapiti's voeden zich hoofdzakelijk met grassen, bladeren, kleine boompjes, schors en noten. Door het verdwijnen van de wolf konden wapiti's zich sterk voortplanten, met overbegrazing als gevolg. Het aantal plantensoorten ging sterk achteruit en op sommige plekken werd de bodem zelfs kaal. Door de invloed van wind en regenwater verdween daar de bovenste bodemlaag met daarin belangrijke voedingszouten.

In 1995 werd de wolf in het nationale park geherintroduceerd. William J. Ripple en zijn team ecologen deden onderzoek naar het effect van de herintroductie van de wolf op andere soorten. De ecologen ontdekten dat na de herintroductie van de wolf niet alleen het aantal wapiti's afnam, maar dat het gedrag van de wapiti's ook veranderde. Door aanwezigheid van wolven moeten wapiti's altijd waakzaam zijn, dus grazen ze niet lang op één plek. Daarnaast grazen de wapiti's minder aan oevers en

open vlaktes, omdat de wolf hier voordeel heeft. Hierdoor krijgen planten de ruimte om te groeien en zich te verspreiden. Vooral de wilg en populier floreerden door de komst van de wolf. Door de toename van wilg en populier aan de oevers kon de beverpopulatie toenemen. De beverdammen zorgden voor diepe poelen, een goede paaigrond voor veel vissoorten. De hoeveelheid vis trok weer meer watervogels aan.

■ Afb. 40 Wapiti's in Yellowstone.



Opdrachten

- 46 Door introductie van de wolf is de grootte van de wapitipopulatie stabielere dan voor 1995. Dit komt doordat er minder voedselgebrek voor wapiti's is.
Verklaar hoe de introductie van de wolf het voedselgebrek bij wapiti's verkleint.
- 47 Leg uit waarom na de komst van de wolf de populatie wapiti's gezonder is dan daarvoor.
- 48 Leg uit hoe het komt dat door de komst van de wolf de NPP toeneemt.
- 49 Wapiti's en bizonen zijn beide herbivoren. Toch zorgt de komst van de wolf ervoor dat de bizonpopulatie toeneemt. Geef hiervoor een verklaring.
- 50 Na de herintroductie van wolven nam ook de populatie bevers toe, ondanks het feit dat ook bevers door de wolf worden gegeten. Geef hiervoor een verklaring.

4 VERANDERENDE ECOSYSTEMEN

LEERDOELEN

5.4.1 Je kunt veranderingen in een ecosysteem beschrijven.

► Vaardigheid 7

5.4.2 Je kunt in een model gegeven informatie over ecosystemen gebruiken, bewerken en analyseren.

► Practica 2 en 3

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	5.4.1	5.4.2
Begrijpen	51, 52, 53, 54, 55, 67a	56, 57
Toepassen	58, 60, 61, 64, 65, 67b	59, 66
Analyseren	62	63

Sommige ecosystemen zijn al honderden jaren hetzelfde, andere ecosystemen blijven steeds in ontwikkeling. Nieuwe soorten komen, verdwijnen en maken plaats voor andere soorten. Je zou ook kunnen zeggen dat sommige ecosystemen in evenwicht zijn en andere naar een evenwicht toe werken.

PIONIER- EN CLIMAXECOSYSTEEM

Als een grote berg zand enige tijd blijft liggen, zullen er na verloop van tijd planten op groeien. Onder de eerste planten tref je maar weinig verschillende soorten aan. Zo is de zeeraket (*Cakile maritima*) een van de weinige soorten die kan groeien in de duinen vlak bij zee (zie afbeelding 41).

■ **Afb. 41** Zeeraket.



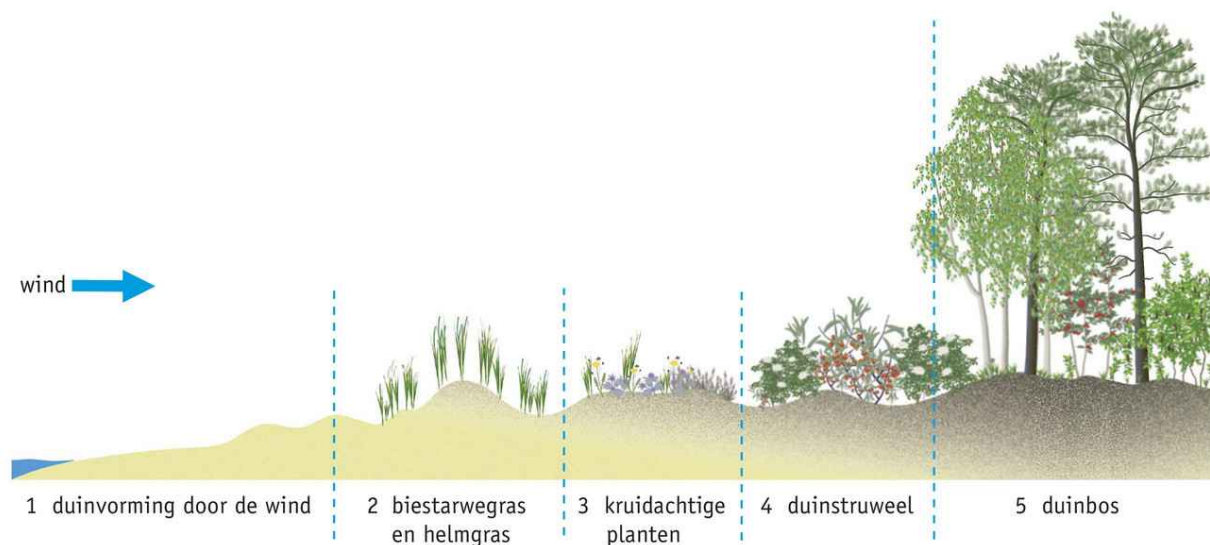
Op een kaal stuk zand zijn de omstandigheden voor veel organismen ongunstig. De temperatuurverschillen zijn groot en er is geen beschutting tegen de wind. Planten kunnen worden ondergestoven, waarna ze weer boven het zand moeten uitgroeien. Het zand tussen de wortels van de plant kan wegwaaien, zodat de planten worden losgerukt. Slechts weinig planten zijn bestand tegen deze moeilijke omstandigheden.

De groei van de eerste planten maakt het mogelijk dat ook andere organismen zich op een zandvlakte kunnen vestigen. Als je niet ingrijpt, verandert de soortensamenstelling in de loop van de tijd voortdurend en komen er steeds meer soorten bij. De oorspronkelijke kale bodem groeit uiteindelijk helemaal dicht. Het proces waarbij de soortensamenstelling in een gebied verandert en het ecosysteem geleidelijk overgaat in een ander ecosysteem, noem je **successie**.

De eerste planten en dieren die zich vestigen op kale grond noem je **pioniersoorten**. Ze vormen het beginstadium van de successie: een **pionierecosysteem**. Doordat er maar weinig soorten in een pionierecosysteem voorkomen, is de biomassa klein en het voedselweb eenvoudig.

Een voorbeeld is de successie in een duingebied (zie afbeelding 42). Op een pasgevormd duin verschijnen eerst de pioniersoorten helm en biestarwegras. Met hun wortels houden ze het zand bij elkaar en als ze afsterven, komt er humus in de bodem. Dat is een mengsel van organische en anorganische stoffen en micro-organismen. Al snel vestigen zich de eerste dieren tussen de planten, zoals springstaarten. In het volgende stadium van de successie zijn biestarwegras en helm verdrongen door mossen en kruidachtige planten zoals struikheide en dopheide. Dat geeft bijvoorbeeld verschillende soorten vlinders, vogels en konijnen de kans zich hier te settelen. Daarna ontstaat het duinstruweel met bijvoorbeeld duindoorn, meidoorn en kruipwilg. Het eindstadium van de successie is het duinbos met bijvoorbeeld abelen en berken, varens en verschillende soorten paddenstoelen.

■ Afb. 42 Successie in een duingebied.



Tijdens de successie worden de abiotische factoren gematigder. Overdag wordt het in de schaduw van de planten minder heet, 's nachts houden de planten warmte vast. Hierdoor wordt het terrein geschikt voor steeds meer soorten planten en dieren. Gedurende de successie is de opbouw van weefsels (netto primaire productie) in een ecosysteem groter dan de afbraak van weefsels. Het gevolg is dat de biomassa toeneemt.

Tijdens de successie neemt ook de biodiversiteit in een ecosysteem toe. De vegetatie begint **gelaagdheid** te vertonen. Laag bij de bodem groeien onder andere mossen en kruidachtige zaadplanten, daarboven groeien struiken en bomen.

Wanneer de soortensamenstelling in het gebied na een bepaalde tijd niet meer verandert, is het eindstadium van de successie bereikt. Deze fase noem je een **climaxecosysteem**:

- De abiotische factoren en de soortensamenstelling zijn min of meer constant.
- De netto primaire productie is ongeveer even groot als de afbraak van weefsels, waardoor de biomassa nagenoeg gelijk blijft.
- De kringloop van stoffen is gesloten: er vindt weinig uitwisseling plaats met de omgeving van het ecosysteem.

Voorbeelden van climaxecosystemen zijn tropische regenwouden, koraalriffen en loofbossen. Elk climaxecosysteem heeft kenmerkende soorten. In loofbossen in Nederland komen bijvoorbeeld eekhoorns, everzwijnen, konijnen, herten, wolven, bosbes, eiken, beuken en varens voor.

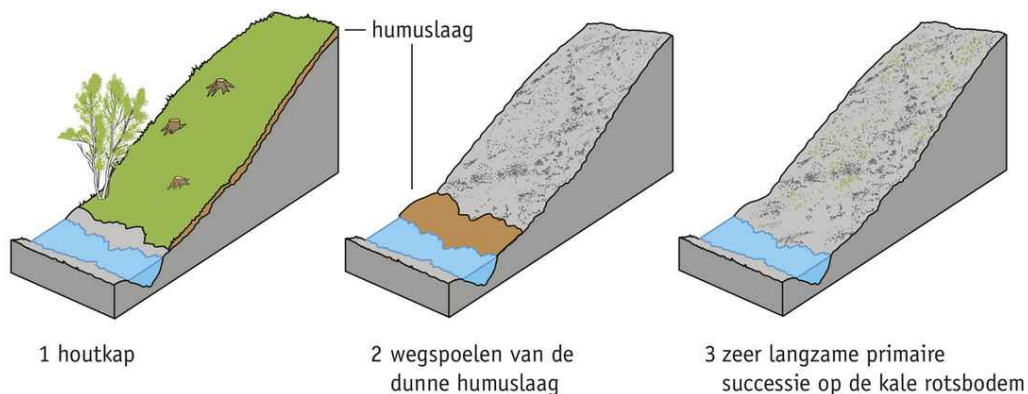
PRIMAIRE EN SECUNDAIRE SUCCESSIE

Climaxecosystemen zijn kwetsbaar voor veranderingen van buitenaf. Tropische regenwouden bijvoorbeeld zijn zeer kwetsbaar, doordat de bodem slechts weinig humus bevat. De diversiteit aan detrivoren en reducenten is er groot, waardoor de mineralisatie van dode planten en dierenresten snel verloopt. De vrijkomende anorganische stoffen bevinden zich slechts korte tijd in de bodem, want ze worden vrijwel direct door planten opgenomen.

De kringloop in een climaxecosysteem is gesloten. Als in een tropisch regenwoud bomen worden gekapt en afgevoerd, wordt de bodem blootgesteld aan regen en wind. Er kan dan erosie optreden. Daarbij spoelt of waait de bovenste laag van de bodem met de kleine hoeveelheid humus gemakkelijk weg.

In gebieden waar erosie heeft plaatsgevonden, bevat de ondergrond vrijwel geen humus meer. De successie moet dan helemaal van voren af aan beginnen. Dit noem je **primaire successie**. Het kan tientallen jaren duren voordat zulke gebieden weer begroeid raken (zie afbeelding 43).

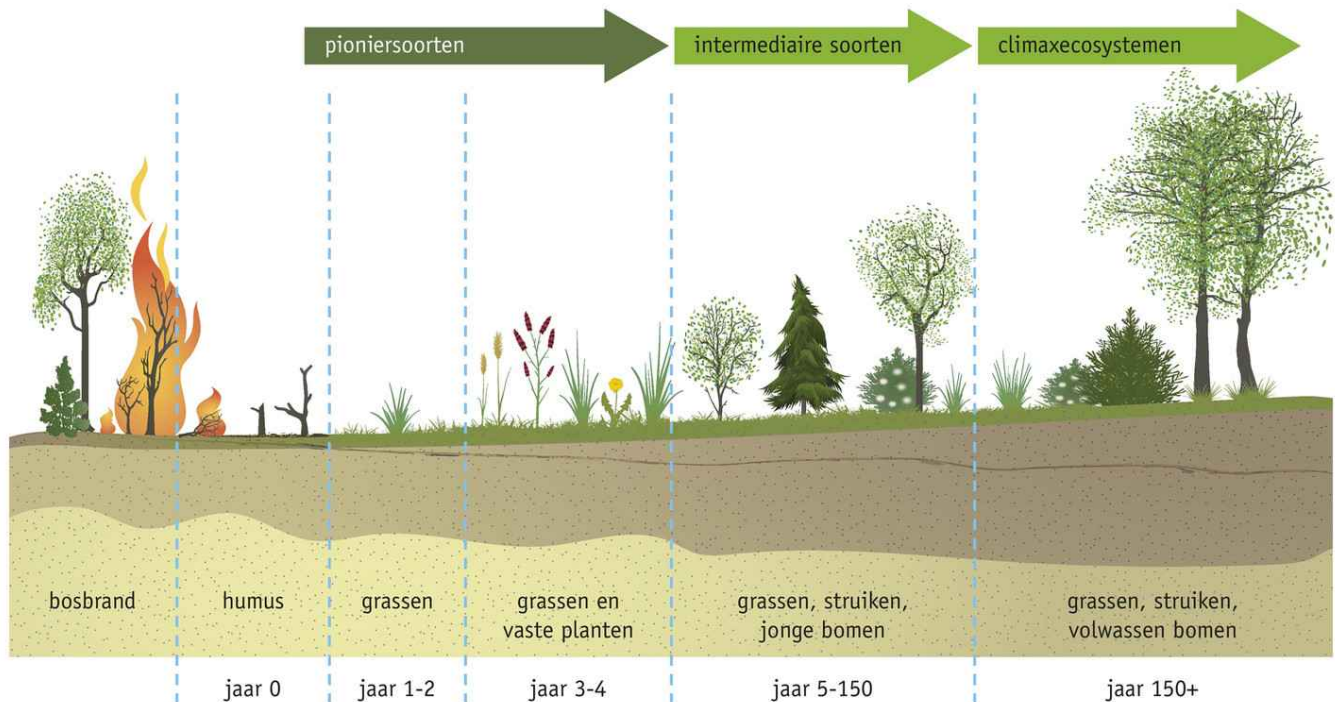
■ Afb. 43 Primaire successie na erosie.



Als een stuk loofbos is gekapt, blijft er een kale plek achter waar de abiotische factoren ongunstig zijn voor de organismen. Toch raakt de kale plek meestal weer snel begroeid. Dat komt doordat de successie niet helemaal van voren af aan hoeft te beginnen, want de bodem van het loofbos bevat al humus, vooral in de bovenste laag. Daardoor kunnen soorten uit de omgeving zich er snel en gemakkelijk vestigen.

De kringloop van stoffen is open. Er kan bijvoorbeeld gemakkelijk bodemmateriaal worden afgevoerd. Er kunnen ook gemakkelijk populaties immigreren. Deze situatie noem je **secundaire successie** (zie afbeelding 44). De successie naar het climaxecosysteem verloopt in een hoog tempo.

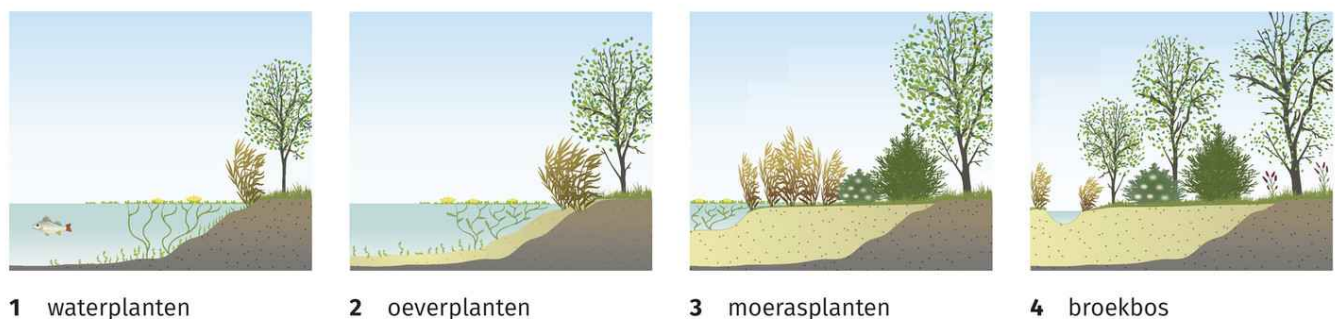
■ Afb. 44 Secundaire successie.



VERLANDING

Een ander voorbeeld van successie is de verlanding van een plas. In veel plassen vindt het langzame proces van verlanding plaats (zie afbeelding 45). In ondiepe delen groeien waterplanten. Doordat dode plantenresten naar de bodem zinken, vormt zich daar een laag modder of slib. Hierdoor wordt de plas ondieper. Nu kunnen oeverplanten de plas in groeien. De bodem wordt verder opgehoogd en moerasplanten kunnen zich vestigen. Tot slot ontstaat een broekbos, een bos op drassige grond.

■ Afb. 45 Verlanding.



GRADIËNTECOSYSTEEM

Duinen kenmerken zich door de aanwezigheid van veel reliëf, een zandbodem en een sterk door de zee beïnvloed klimaat. Van de kust naar het binnenland zijn er geleidelijke overgangen van zout naar zoet, van kalkrijk naar kalkarm en van nat naar droog. Die geleidelijke overgangen of gradiënten uiten zich in een karakteristieke opeenvolging van biotopen: strand, zeereep, open duinvalleien, struweelduinen en binnenduinrandbossen. De duinen vormen een **gradiëntecosysteem**, een ecosysteem met geleidelijke overgangen.

INDICATORSOORTEN

Soorten die een aanwijzing geven over een kenmerk van het milieu waarin ze voorkomen heten **indicatorsoorten**. Een indicatorsoort geeft aanwijzingen voor bijvoorbeeld de zuurgraad, het vochtgehalte, de voedselrijkdom, het zoutgehalte, vervuiling en de biodiversiteit. Zo tref je in Nederland watermijten vooral aan in schoon water en weinig in vervuild water. Als je maretak in de natuur tegenkomt, kun je er vrij zeker van zijn dat er kalk in de bodem zit. En als de vleesetende plant ronde zonnedaauw ergens groeit, is de bodem stikstofarm en vochtig.

Opdrachten **KENNIS**

- 51 Leg aan de hand van het begrip erosie uit dat het kappen van het regenwoud ervoor kan zorgen dat het een tijd duurt voordat gekapte grond weer oerwoud kan worden.
- 52 **a** In een ecosysteem kan door erosie bodemmateriaal worden afgevoerd. Waar zal dit het vaakst gebeuren: in een pionierecosysteem of in een climaxecosysteem?
b Waar zal erosie voor de biodiversiteit de grootste gevolgen hebben, bij een pionierecosysteem of in een climaxecosysteem? Leg je antwoord uit.
- 53 De meeste planten kunnen niet goed groeien op een kaal rotsblok, doordat sommige abiotische factoren zeer ongunstig zijn. Noteer twee van deze factoren.
- 54 Welke abiotische factoren kunnen ervoor zorgen dat plassen niet verlanden?
- 55 Tussen een pionierecosysteem en een climaxecosysteem bestaan grote verschillen. Neem de nummers van de kenmerken over. Noteer bij elk kenmerk of het hoort bij een pionierecosysteem (P) of bij een climaxecosysteem (C).
 - 1 gematigde abiotische factoren
 - 2 humusrijke bodem
 - 3 gelaagde vegetatie
 - 4 kleine biodiversiteit
 - 5 eenvoudig voedselweb
 - 6 grote biomassa
 - 7 productie is groter dan afbraak
 - 8 open kringlopen

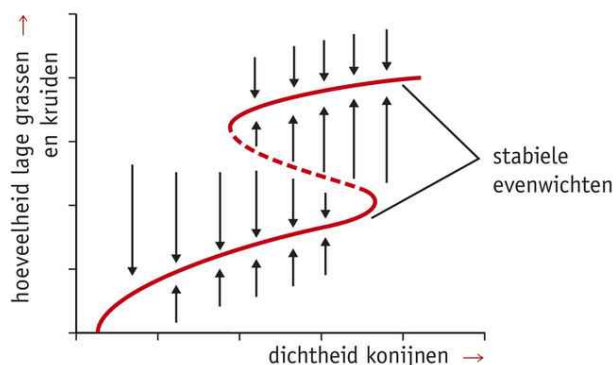
MODELLEREN VAN DE NATUUR

Biotische en abiotische factoren kunnen veranderen, waardoor de soortensamenstelling in een gebied verandert. Hierbij hebben veel factoren invloed op elkaar. Om alle processen te begrijpen, is onderzoek nodig. Dat kost tijd en veel geld. Een alternatief is **modelleren**: een computermodel ontwikkelen om een bepaalde situatie te kunnen analyseren. Een model is een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid. Doordat het bij een ecosysteem gaat om een dynamisch systeem dat verandert in de loop van de tijd, is een computermodel heel geschikt om ecologisch onderzoek te doen. Modelleren is als het ware het uitvoeren van een virtueel experiment (op de computer). De resultaten geven antwoord op een probleemstelling die met een echt experiment niet of heel moeilijk is te beantwoorden, of pas na lange tijd.

TWEE EVENWICHTSSITUATIES

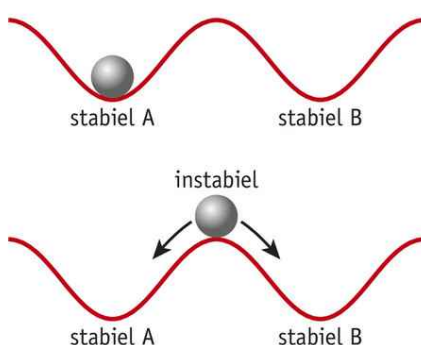
Konijnen eten grassen, kruiden en jonge struiken. Als hoge grassen en jonge struiken niet worden weggegeten, verdringen ze de kruiden en lage grassen. Bij een lage dichtheid aan konijnen zijn er daardoor weinig kruiden en lage grassen. Bij een hoge dichtheid aan konijnen zijn er juist veel lage grassen en kruiden en daardoor is er afwisseling in de begroeiing met veel soorten. Beide situaties zijn stabiel, dus in beide situaties is er een biologisch evenwicht (zie afbeelding 46). Het **omslagpunt** (kantelpunt) is de overgang tussen twee evenwichtssituaties.

■ **Afb. 46** De hoeveelheid lage grassen en kruiden als functie van de dichtheid aan konijnen in een duin.



Bevindt een systeem zich in een van beide toestanden, dan houdt het zichzelf in stand. Bij een kleine verstoring zal het terugkeren naar het evenwicht waarin het zich bevond. Dit is in afbeelding 47 weergegeven met een balletje in een landschap met twee dalen met daartussen een heuvel. Als het balletje in een dal ligt, is de toestand stabiel. Bij een klein duwtje rolt het balletje iets de helling op, maar valt daarna weer terug in het dal (evenwicht). Om van het ene dal naar het andere te komen, heeft het balletje een flinke duw nodig. De instabiele toestand is de heuvel. Daar is een klein zetje al genoeg om het balletje naar een andere evenwichtstoestand te bewegen.

■ **Afb. 47** De relatie tussen twee evenwichten.



Een voorbeeld van zo'n flinke duw die een ecosysteem uit een stabiele toestand kan brengen is een epidemie onder konijnen. De konijnenpopulatie neemt hierdoor sterk af. De taaie planten en hoge grassen in het duin zoals duinriet en struiken krijgen nu de kans om uit te groeien. Ze verdringen dan de lage grassen en kruiden. Voor konijnen wordt het gebied dan minder geschikt om in te leven, want ze eten geen volwassen houtachtige planten. De populatie konijnen zal niet meer zo groot worden als voor de epidemie. Er ontstaat een nieuw evenwicht.

Opdrachten **KENNIS**

- 56** In afbeelding 46 zie je twee evenwichtssituaties.
- Noteer een biotische of abiotische factor die de aanwas van lage grassen en kruiden remt.
 - Noteer een biotische of abiotische factor die de aanwas van grassen en struiken bevordert.
 - Wat betekenen de omhoog- en omlaaggaande pijlen in afbeelding 46?
- 57** De ontbossing van de Amazoneregenwouden is iets waar veel mensen zich zorgen over maken. Onderzoekers denken dat als de kap zo doorgaat, er in 2030 27% van het Amazonegebied is gekapt. Hierdoor zal het hele Amazonegebied verdrogen en het rijke ecosysteem verdwijnen.
- Welk begrip kun je gebruiken voor het moment dat het Amazonegebied zo radicaal verandert?

Opdrachten **INZICHT**

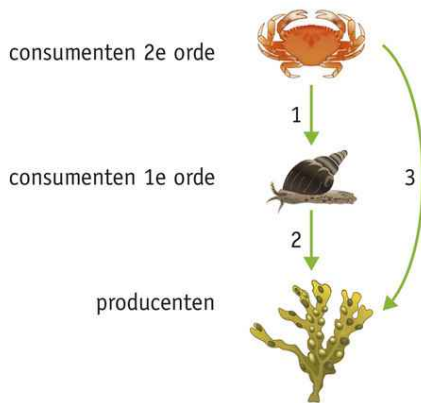
- 58** In tabel 3 zie je enkele kenmerken van een tropisch regenwoud en die van een beukenbos in Nederland.
- Leg uit of de plantenwortels bij het tropisch regenwoud zich in de bovenste laag bevinden of diep in de bodem reiken.
 - Na het kappen van een stuk bos herstelt een regenwoud zich langzaam of niet, terwijl een beukenbos zich vrij snel herstelt. De hoge snelheid waarbij mineralisatie optreedt heeft een negatief effect op het herstel van een stuk regenwoud. Leg uit waardoor na het kappen van een stuk regenwoud de hoge snelheid van mineralisatie een negatief effect heeft op het herstel van het stuk regenwoud.

Tabel 3 Kenmerken van een tropisch regenwoud en een beukenbos.

	Tropisch regenwoud	Beukenbos
Temperatuur van de lucht onder het bladerdek	vrijwel constant gedurende het jaar	wisselend gedurende het jaar
Snelheid van mineralisatie van organische stoffen	hoog	laag
Strooisellaag	dun	dik
Plantenwortels	?	diep reikend in de bodem

- 59** In afbeelding 48 is de invloed weergegeven die drie organismen op elkaar uitoefenen. Op de plek waar de nummers 1, 2 en 3 staan, behoort een + of een - te staan. Een + staat voor een positieve invloed, een - staat voor een negatieve invloed. Geef voor de nummers 1, 2 en 3 aan of er een + of een - hoort te staan en leg je antwoord uit.

■ **Afb. 48** Model van de invloed van drie organismen op elkaar.



- 60** Sommige bossen zijn productiebossen. Dit houdt in dat ze op een gegeven moment worden gekapt voor de productie van hout. Meestal wordt het gebied niet in één keer gekapt, maar verspreid door het bos een gedeelte van de bomen. Leg uit dat het beter is om regelmatig hier en daar bomen uit het bos te kappen dan het hele gebied in één keer.
- 61** De Spaanse ruiter (zie afbeelding 49) staat op de Rode lijst in Nederland en is een indicatorsoort. Dat komt omdat deze plant vooral groeit op voedselarme natte grond zoals blauwgraslanden, veengrond, duinvalleien en heidevelden. Leg uit dat de Spaanse ruiter niet voorkomt in voedselrijke en droge gebieden.

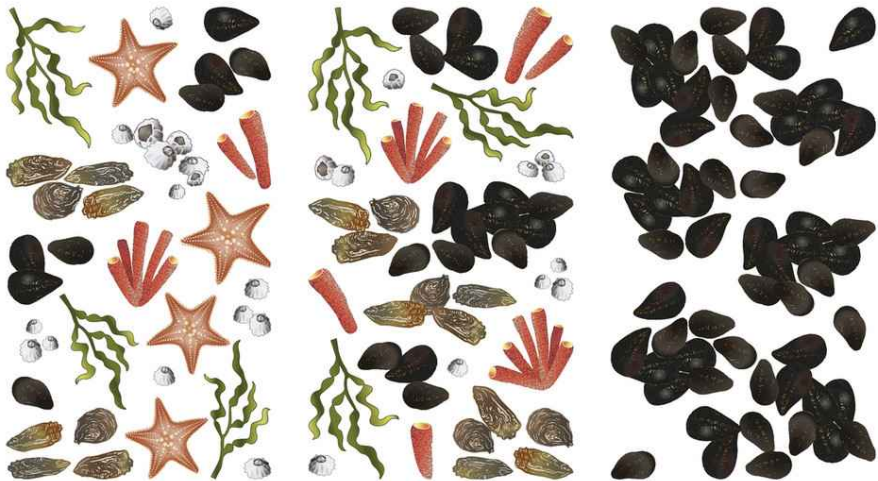
■ **Afb. 49** De Spaanse ruiter.



- 62** De mens handhaaft een bepaald stadium in de successie van heidegebieden door er schapen te laten grazen.
- a Zoek in literatuur of op internet wat er gebeurt met de heide als de successie niet wordt tegengehouden.
 - b Er zijn mensen die vinden dat je de natuur haar gang moet laten gaan. Anderen vinden juist dat je moet ingrijpen in de natuur, zoals het tegengaan van successie. Voer een discussie met een medeleerling. De een verdedigt het standpunt dat je de natuur haar gang moet laten gaan, de ander verdedigt het standpunt dat je moet ingrijpen. Noteer de argumenten voor en tegen. Noteer ook jullie conclusie.

- 63** Successie is niet de enige factor die van invloed is op de soortensamenstelling in een ecosysteem. Het onderzoek van afbeelding 50 is daarvan een voorbeeld.
- a** Wat verwacht je op basis van de hypothese wat er gebeurt als er geen zeesterren meer zijn?
 - b** De onderzoeksvraag is niet erg precies geformuleerd.
Maak de onderzoeksvraag zo concreet dat je hem kunt beantwoorden door het uitvoeren van een experiment.
 - c** Beschrijf stap voor stap een experiment (werkplan) waarmee je kunt nagaan of de hypothese juist is.

Afb. 50 Onderzoek naar soortensamenstelling.

Onderzoek	Invloed van predatie op de soortenrijkdom
Inleiding	In een getijdenzone langs de kust bestaat een bepaalde variatie aan soorten. Er leven onder andere wieren, verschillende soorten zeepokken, mosselen en zeesterren. De zeesterren staan aan het eind van de voedselketens: ze eten de zeepokken en de mosselen.
Onderzoeksvraag	Wat is het effect van predatoren zoals de zeester op de variatie aan soorten?
Hypothese	Door predatoren blijft de variatie aan soorten beperkt.
Experiment	
Resultaat	 1 vóór het experiment 2 na korte tijd 3 na langere tijd
Conclusie	Een predator zoals de zeester heeft een positieve invloed op de soortenrijkdom. De hypothese moet worden verworpen.



64 Brandplekpaddenstoelen

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2018, vraag 35.

Brandplekpaddenstoelen spelen een belangrijke rol bij het weer geschikt maken van een brandplek voor plantengroei.

Kort na een brand spelen zakjeszwammen een pioniersrol. Zij voorkomen dat de bij brand vrijgekomen zouten uitspoelen en zorgen met hun schimmeldraden snel na een brand voor structuur in de bovenlaag van de bodem. Afhankelijk van het seizoen en neerslag volgen plaatjeszwammen om resterende hout- en houtskoolresten af te breken. Dan vestigen zich ook de eerste blad- en levermossen. Na twee tot drie jaar gaan hogere planten domineren en verdwijnen de brandplekpaddenstoelen.

Na een bosbrand treedt successie op.

Leg uit of dit primaire of secundaire successie is.



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Beroep

SOORTEN BESCHERMEN MET CITIZEN SCIENCE

In Nederland doet stichting FLORON onderzoek naar de verspreiding van de wilde flora met behulp van *citizen science*, de waarnemingen van duizenden vrijwilligers. Die gegevens worden bijeengebracht in een database en gebruikt voor bescherming van soorten. Dr. Sascha van der Meer (zie afbeelding 51) is projectleider Onderzoek en Bescherming Nederlandse Flora bij FLORON. Ze studeerde Biologische Wetenschappen met de specialisatie Ecologie en Evolutie aan de Universiteit van Amsterdam en promoveerde in Leuven. 'Wij zien aan de data dat bepaalde soorten achteruitgaan. Maar je kunt niet alles aan de data aflezen, daarom gaan wij voor onderzoek zelf het veld in. We kijken dan naar de levensvatbaarheid van de populaties: produceren soorten zaden en zijn er kiemplanten? Aan begeleidende soorten kunnen we zien hoe het er met de bodem voor staat. Dan kun je een inschatting maken of de standplaats nog wel geschikt is voor de soort.'

Met deze gegevens maakt Sascha een plan van aanpak voor bescherming van de soort. 'Soms kun je de standplaats verbeteren. Maar als populaties klein

zijn geworden en veel genetische variatie verloren is gegaan, dan is er meer nodig. We verzamelen dan zaden en kweken deze op in een kas. Vervolgens kruisen we planten van verschillende groeiplaatsen. De zaden van die planten brengen we terug in het veld op verschillende kansrijke plekken in de buurt van de oude populaties. De groeiplaatsen staan daarna weer met elkaar in verbinding, bijvoorbeeld via bestuiving. Het is uiteindelijk de bedoeling dat de soort op eigen kracht kan voortbestaan.'

■ Afb. 51 Dr. Sascha van der Meer.



Opdrachten

- 65** De zwartblauwe rapunzel (*Phyteuma nigrum*) is in Nederland de laatste jaren sterk achteruitgegaan. Het is een van de soorten die door FLORIN in kassen is opgekweekt en waarbij planten van verschillende groeiplaatsen zijn gekruist. De planten zijn teruggeplaatst in het Wijboschbroek in Schijndel. Daar neemt de soort nu weer toe. Waarom wordt een soort die veel genetische variatie heeft verloren gekruist met planten van een andere populatie?
- 66** Via de website waarneming.nl kun je waarnemingen van planten, dieren en andere organismen opslaan en delen met andere gebruikers. De variatie van de natuur in Nederland wordt op deze manier vastgelegd. De gegevens van planten komen onder andere op deze manier terecht in de database van FLORON.

Ga naar de site waarneming.nl en klik op het vergrootglas om te zoeken naar de zwartblauwe rapunzel. Klik daarna op 'zwartblauwe rapunzel' en vervolgens op 'waarnemingen'. In de laatste kolom staat een groen, blauw of grijs vinkje.

- a** Waarom is het belangrijk dat waarnemingen worden gecontroleerd?
- b** Noteer een factor waaraan een waarneming moet voldoen om automatisch te worden goedgekeurd (de waarneming krijgt dan een grijs vinkje).

- 67** In Amsterdam kun je de master Ecology & Evolution volgen.

- a** Zoek op internet in welke beroepen studenten na deze opleiding terechtkomen.
- b** Zou deze studie iets voor jou zijn? Licht je antwoord toe.

OVERLEVEN IN DE STAD

LEERDOELEN

- 5.S.1** Je kunt de kenmerken van de stadsecologie toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 5.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheid ecologisch denken toepassen op de ecologie van een stad.

Elke middag gaat Rinus even langs bij buurtcafé The Windmill in Schiedam. Hij wacht dan op zijn plakje kippenworst. Duurt het hem te lang, dan stapt hij naar binnen. Rinus is een blauwe reiger.

Een stad wordt vaak gezien als de tegenhanger van de natuur. Voor de meeste organismen zijn de leefomstandigheden in de stad dan ook extreem. De gemiddelde temperatuur in steden is hoger dan buiten de steden. Ook is er veel lichtvervuiling, op sommige plekken wordt het nooit donker. Bovendien is vrijwel alles in een stad gemaakt uit ondoordringbare materialen.

Toch trekt de stad bepaalde dieren aan (zie afbeelding 1). Deze dieren hebben al gunstige eigenschappen die het overleven in steden gemakkelijker maken. Bijvoorbeeld de stadsduiven. Zij behoren tot dezelfde soort als de wilde rotsduif. Zoals de naam al doet vermoeden, leeft de rotsduif vooral op rotsen en kliffen. De rotsduif broedt dan ook op richels, in spleten en holten. Het broedgedrag van de duiven past goed bij de stad. In gebouwen zijn veel richels en in de stad zijn voor deze niet-kieskeurige eters genoeg etensresten te vinden.

Veel dieren hebben hun natuurlijke omgeving verlaten en zijn een nieuw leven begonnen te midden van de torenhoge bouwwerken van staal en beton. De merel was ooit een schuwe bosvogel. Sinds de twintigste eeuw zingt hij zijn lied van onze daken. Ook het konijn is naar de stad gemigreerd. De eerste vos in Rotterdam werd in 2001 waargenomen. Een slechtvalk kijkt vanaf de letter E van het Erasmus Medisch Centrum neer op Rotterdam.

De stad is een rotsgebergte, waarin oude voedselketens worden hersteld en nieuwe gevormd. Stadsduiven worden nu gegeten door stadsslechtvalken. En daar zal het waarschijnlijk niet bij blijven, want de halsbandparkiet, die als exoot nog geen natuurlijke vijanden heeft, staat waarschijnlijk al op het menu van de stadsslechtvalk (zie afbeelding 2).

■ **Afb. 1** Stadsreiger die een lekker hapje heeft gescoord.



■ **Afb. 2** Slechtvalk in de stad.



Die nieuwkomers vormen samen met de bestaande populaties van inheemse soorten een nieuwe levensgemeenschap. Maar intussen verdwijnen er ook soorten via de achterdeur. Om het in een stedelijke omgeving vol te houden is het handig als je een generalist bent; voor specialisten is er minder plaats. Je moet je aanpassen, zoals Rinus de blauwe reiger doet. Roerloos stilstaan is een strategie die uitstekend werkt als je een visje of een kikkertje in een sloot wilt verschalken. Maar dezelfde strategie werkt ook als je voor een café staat. Uiteindelijk komt er wel iemand naar buiten om je een plakje kippenworst te geven.

Opdrachten



- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *blauwe reiger* – *levensgemeenschap* – *slechtvalken* – *stad* – *voedselketen* – *vos*.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	

- 2
- a Waarom houden generalisten het beter vol in een stedelijke omgeving dan specialisten?
 - b Wordt de populatiegrootte van generalisten vooral bepaald door dichtheidsafhankelijke factoren of door dichtheidsonafhankelijke factoren? Leg je antwoord uit.
 - c En wordt de populatiegrootte van specialisten vooral bepaald door dichtheidsafhankelijke factoren of door dichtheidsonafhankelijke factoren? Leg je antwoord uit.
 - d Stel een voedselketen samen (zonder huisdieren), die je kunt tegenkomen in de stad.
- 3 Beton-, cement- en metaaloppervlakken absorberen veel warmte uit zonlicht. Een van de kenmerkende abiotische factoren van een stad is daardoor de hoge temperatuur.
- a Noteer nog twee abiotische factoren die kenmerkend zijn voor de stad.
 - b Door de hoge temperatuur gaan futen in een stedelijke omgeving eerder baltsen dan op het platteland.
Noteer van de abiotische factoren die je hebt genoteerd bij opdracht 3a wat de effecten ervan zijn op dieren en planten.
- 4 De stad wordt dikwijls beschouwd als een climaxecosysteem. Een climaxecosysteem verschilt in een aantal opzichten van een pionierecosysteem. Zet de kenmerken van een climaxecosysteem onder elkaar en leg voor elk kenmerk uit of het geldt voor een stad.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

5.O.1 Je kunt een korstmos onder de microscoop bekijken en delen herkennen en tekenen.

- ▶ Basisstof 2
- ▶ Vaardigheden 1, 2, 3 en 4 (thema 1)

Korstmossen

 30 minuten

INLEIDING

In deze practicumopdracht maak je een preparaat van een korstmos. Je bekijkt het preparaat met een microscoop en je maakt er een tekening van.

MATERIAAL

- stukje tak met korstmos
- microscoop
- prepareermateriaal

METHODE

- Snijd van een stukje korstmos enkele schilfertjes af en maak hiervan een preparaat. Bij sommige korstmossen is het niet goed mogelijk schilfertjes af te snijden. In dat geval moet je met twee prepareernaalden een klein stukje korstmos voorzichtig uit elkaar trekken en hiervan een preparaat maken.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Je ziet algen en schimmels.

RESULTAAT

Een tekening waarin de cellen van de algen en schimmels zijn aangegeven.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

5.O.2 Je kunt met behulp van een computermodel de ontwikkeling in aantallen voorspellen van twee populaties die een onderlinge voedselrelatie met elkaar hebben.

- Basisstof 4
- Vaardigheid 7 (thema 1)

Modelleren met coach

 50 minuten

INLEIDING

In het ecosysteem duin eten vossen konijnen (predator-prooirelatie) en konijnen eten grassen (vraatrelatie). Door deze relaties hebben soorten invloed op het verloop van de populatiegroei van andere soorten. In dit practicum onderzoek je de invloed van twee soorten op elkaar met behulp van een computermodel.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe ontwikkelen zich de aantallen van twee populaties (grassen en konijnen) die een onderlinge voedselrelatie hebben?

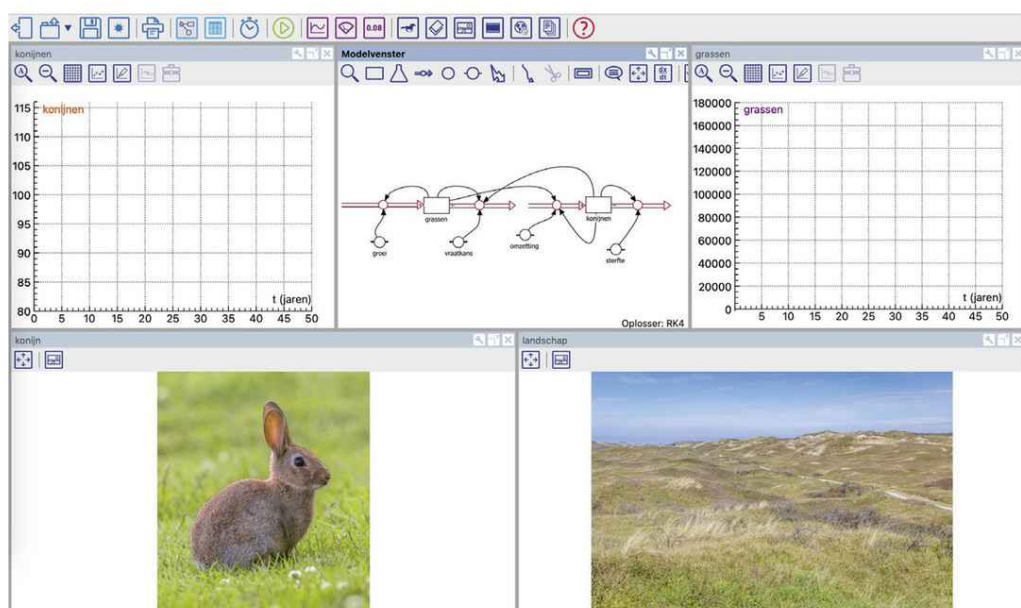
HYPOTHESE

Als er meer grassen groeien, zal het aantal konijnen toenemen, waardoor het aantal grassen afneemt. Daardoor neemt vervolgens het aantal konijnen af.

METHODE

- Ga naar het modelleergedeelte van het computerprogramma Coach en open het model graskonijn.cmr (zie afbeelding 1).
- Onderzoek het model. Klik daartoe op de vier dubbele rode pijlen.

■ **Afb. 1** Scherm van het model graskonijn.



- 1 Leg de formules uit die je krijgt te zien.
 - Bepaal met welke dichtheden je begint door op de voorraadgrootheden 'konijnen' en 'grassen' te dubbelklikken.
 - Laat nu het model het verloop van de aantallen grassen en konijnen gedurende honderd jaar doorrekenen door op de groene knop 'run' te klikken.
- 2 Noteer het resultaat. Verklaar het resultaat van de computerberekeningen.

De konijnen kunnen worden geveeld door een dodelijke epidemie. Onderzoek wat er gebeurt als je in dit model het aantal konijnen waarmee je begint vermindert tot de helft.

- 3 Formuleer eerst een hypothese over het verloop van de grafieken.
- 4 Test daarna wat er in het model gebeurt. Geef hiervan een korte beschrijving.
 - Zet de hoeveelheid konijnen weer terug op het oorspronkelijke aantal.
 - Het is ook mogelijk dat het aantal grassen vermindert door maaien, een overstroming in het duingebied of doordat ganzen op een bepaald moment veel gras eten. Onderzoek wat er gebeurt als je de hoeveelheid grassen 5, 10 of 100× zo klein maakt.
- 5 Formuleer weer eerst een hypothese over het verloop van de grafieken.
- 6 Test en beschrijf wat er gebeurt.

Het model kun je uitbreiden. Er komen konijnen uit andere gebieden naar het duingebied.

- Klik op een constante (het vijfde symbool van links in het modelvenster) en sleep deze in het model. Noem deze constante 'toestroom'. Geef deze constante een beginwaarde van 0.

Niet alle nieuwe konijnen uit de toestroom komen het gebied binnen. De aanwezige konijnen zullen hun territoria verdedigen.

- Maak een nieuwe constante 'immigratie'. Deze hangt af van de toestroom en van de al aanwezige konijnen.
- Klik op een relatiepijl in het modelvenster (het zesde symbool van links) en sleep deze in het model. Verbind met deze pijl toestroom met immigratie. Doe hetzelfde voor konijnen en immigratie.
- Dubbelklik nu op immigratie en vul bij 'Definitie immigratie' een van de volgende vier formules in:
 - 0 + aanvoer/konijnen
 - 0 - aanvoer/konijnen
 - 0 + aanvoer*konijnen
 - 0 - aanvoer*konijnen

- 7 Bedenk en leg uit welke formule het meest logisch is.
 - Test nu het model met de oorspronkelijke hoeveelheid grassen en konijnen. Verhoog de waarde van de toestroom stapsgewijs vanaf 0 tot maximaal 800 konijnen.
- 8 Verklaar de resultaten van de computerberekeningen.

RESULTAAT

- 9 Vat de uitkomsten bij de verschillende stappen in het onderzoek samen.

CONCLUSIE

- 10 Beantwoord de onderzoeksvraag.
Is de hypothese juist?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 11 Leg uit hoe je, ook bij twee voor jou totaal onbekende soorten, aan de grafieken kunt zien wie wie opeet. Noteer twee factoren.
- 12 Vind je dat zo'n model nuttig is, ook al is het een sterk vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid?
- 13 Noteer enkele zaken die in het model zijn weggelaten, maar die in de werkelijkheid wel een rol spelen.

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

- 5.O.3 Je kunt met een simulatieprogramma voorspellen hoe de aantallen van een populatie zich ontwikkelen als een andere populatie het ecosysteem binnenkomt.
- Basisstof 4
 - Vaardigheid 7 (thema 1)

Simuleren met Ecosim

 50 minuten

INLEIDING

Een voorbeeld van een invasieve exoot is de zonnebaars. Deze vis is vanuit Amerika via vijvers in de Nederlandse wateren terechtgekomen en bedreigt daar andere soorten. In dit practicum onderzoek je maatregelen om dit tegen te gaan.

MATERIAAL

- computer met simulatieprogramma Ecosim (zie afbeelding 2)
- model met knoflookpadden en zonnebaarsen in drie vennen

■ **Afb. 2** Game Zonnebaarsellende met de drie vennen.



ONDERZOEKSVRAGEN

- Hoe ontwikkelen zich de aantallen van twee populaties (knoflookpadden en zonnebaarsen) als de laatstgenoemde het ecosysteem van de eerstgenoemde binnenkomt en de soorten een onderlinge voedselrelatie ontwikkelen?
- Wat kun je doen als de relatie zich voor de populatie van de knoflookpad ongunstig ontwikkelt?

HYPOTHESE

- 1 Formuleer bij beide onderzoeksvragen een hypothese.

METHODE

- Bekijk op YouTube de introductievideo van het natuurbeheersimulatieprogramma Ecosim.
- Open het programma Ecosim 2 en start de game Zonnebaarsellende.

In een introductie in de delen 1 en 2 leer je hoe het programma werkt. Zoek in de bibliotheek van het programma informatie op over de zonnebaars, de knoflookpad en de drie vennen waarin ze kunnen leven. Formuleer vervolgens een hypothese over de ontwikkeling van de populatie van de knoflookpad en die van de zonnebaars in die drie vennen. Laat de populaties zich een aantal jaren ontwikkelen en maak en bekijk grafieken van de populatieontwikkeling van beide.

Daarna begint het eigenlijke werk in deel 3. Hoe kun je de groei van de invasieve exoot ten koste van de knoflookpad tegengaan? Je formuleert hypothesen en voert op grond daarvan maatregelen uit om antwoord te krijgen op de onderzoeksvraag.

Onderzoek het effect en de kosten van de door jou bedachte maatregelen. Probeer maatregelen te vinden met het hoogste rendement en de minste kosten.

RESULTAAT

- Noteer de resultaten van je onderzoek in het verslag dat je tijdens de game maakt.
- Voeg de grafieken en teksten uit het programma toe aan het verslag.

CONCLUSIE

De zonnebaars neemt inderdaad eerst in aantal toe en zorgt voor een afname van de knoflookpad.

DISCUSSIE

- 2 Als je de hypothese(n) verworpt, wat is daarvan dan de verklaring? Kijk vooral naar de resultaten in ven 3.
- 3 Leg uit dat de beste maatregel niet alleen afhangt van het hoogste rendement in het terugdringen van de zonnebaars.

SAMENVATTING

5.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt uitleggen wat een ecosysteem is en wat de kenmerken ervan zijn.

- Ecologie is de wetenschap die de wisselwerking tussen organismen en hun omgeving bestudeert.
- Een ecosysteem is een min of meer begreind gebied waarin wisselwerking plaatsvindt tussen verschillende biotische en abiotische factoren.
- Biotische factoren: invloeden afkomstig van de levende natuur.
- Abiotische factoren: invloeden van de levenloze natuur.
 - De abiotische factoren in een ecosysteem vormen samen de biotoop.
- Binnen een ecosysteem heeft elke soort zijn eigen habitat (het leefgebied van een organisme).
- Organisme (individu): één levend wezen.
- Populatie: groep organismen van dezelfde soort in een bepaald gebied, die zich onderling voortplanten.
- Levensgemeenschap: alle populaties in een ecosysteem.
- Systeem aarde: alle ecosystemen bij elkaar.

5.1.2

Je kunt biotische en abiotische factoren binnen een ecosysteem benoemen.

Voorbeelden van biotische factoren:

- voedselaanbod, parasitisme, ziekten, concurrentie, predatie, bescherming door vegetatie

Voorbeelden van abiotische factoren:

- Bodem.
 - Zand: grote bodemdeeltjes, open structuur, veel lucht en weinig water. Kan water niet goed vasthouden.
 - Klei: kleine bodemdeeltjes, weinig lucht en veel water. Kan water en voedingszouten goed vasthouden.
 - Humus: mengsel van organische en anorganische stoffen en micro-organismen (reducenten). Humus verbetert de structuur van de bodem en gaat uitspoeling van voedingszouten tegen.
 - Andere factoren: o.a. de pH (zuurgraad), grondwaterstand, gehalte aan voedingszouten.

- Licht.
 - Nodig voor fotosynthese. Zonplanten groeien het best bij een hoge lichtintensiteit (bijv. in het open veld), schaduwplanten bij een lage lichtintensiteit (bijv. op de bodem van een loofbos).
 - De daglengte heeft bij veel organismen invloed op het tijdstip van voortplanting (bijv. bloemvorming bij planten, paring en eileg bij dieren).
 - In oppervlaktewater dringt alleen licht door in de bovenste lagen.
- Water.
 - Landplanten in een vochtig milieu hebben zwak ontwikkelde wortelstelsels, bladeren met een dunne cuticula en veel huidmondjes.
 - Landplanten in een droog milieu hebben goed ontwikkelde wortelstelsels, bladeren met een dikke cuticula en weinig huidmondjes (speciaal aan de onderkant van de bladeren).
- Temperatuur.
 - De enzymactiviteit is afhankelijk van de temperatuur.
- Microklimaat.
 - De abiotische factoren zijn op verschillende plaatsen in een ecosysteem anders. Elk plekje heeft daardoor zijn eigen microklimaat.

5.1.3

Je kunt de invloed van de belangrijke abiotische factoren op organismen beschrijven en de invloed van organismen op abiotische factoren.

- Abiotische factoren zijn van invloed op de soortensamenstelling in een gebied.
- Soortensamenstelling: de verschillende soorten (planten, dieren, schimmels, prokaryoten) die in het gebied voorkomen.
- Tolerantie: het vermogen van organismen om schommelingen in een abiotische factor te verdragen.
- Tolerantiegrens: de uiterste waarde van een abiotische factor waarbij organismen van de soort kunnen overleven.
- Optimum: de waarde van een abiotische factor die het gunstigst is voor het organisme.

- Optimumkromme: in een diagram wordt het aantal individuen uitgezet tegen een abiotische factor.
- Beperkende factor: abiotische factor die bepaalt hoeveel organismen van een soort in een gebied kunnen overleven.
 - Soorten met een grote tolerantie hebben een groot verspreidingsgebied.
 - Verspreidingsgebied: het gebied op aarde waar een soort voorkomt.

5.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt binnen een ecosysteem vormen van concurrentie en van coöperatie onderscheiden.

- Concurrentie (competitie) binnen een populatie.
 - Bijv. concurrentie om voedsel, ruimte, een partner, licht.
 - Natuurlijke selectie: de organismen die het best zijn aangepast aan het milieu, hebben de grootste overlevingskansen.
- Concurrentie tussen populaties.
 - Meestal minder sterk dan binnen een populatie.
 - Niche: de rol die een soort speelt in het geheel van relaties in een ecosysteem.
- Coöperatie binnen een populatie.
 - Bijv. voor voedsel, bescherming tegen vijanden, bij de voortplanting.
 - Samenwerking in paren, in groepen of in staten.
- Coöperatie tussen populaties.
 - Bijv. voor voedsel, voortplanting.
- Symbiose: langdurige samenleving van organismen van verschillende soorten.
- Drie vormen van symbiose:
 - Mutualisme: de organismen van beide soorten hebben voordeel (bijv. schimmels en algen in korstmossen).
 - Commensalisme: de organismen van de ene soort hebben voordeel en de organismen van de andere soort geen voordeel en geen nadeel (bijv. koereigers en grote grazende zoogdieren).
 - Parasitisme: een parasiet leeft op of in een organisme van een andere soort en onttrekt er voedsel aan (bijv. vlooiën, luizen, lintworm, maretak, duivelsnaaigaren).

5.2.2

Je kunt de dynamiek en het evenwicht in een ecosysteem beschrijven.

- Populatiegrootte: het totale aantal individuen van een soort in een bepaald gebied.

- Populatie-dichtheid: het gemiddeld aantal individuen van een soort per oppervlakte-eenheid (op het land) of per volume-eenheid (in het water).
- Factoren die van invloed zijn op de populatie-dichtheid:
 - dichtheidsafhankelijke factoren: predatie, parasitisme, ziekte, voedselconcurrentie
 - dichtheidsonafhankelijke factoren: meestal veroorzaakt door het klimaat of door de mens
- De populatie-dichtheid blijft binnen bepaalde grenzen schommelen door negatieve terugkoppeling van biotische factoren (zie **BiNaS** tabel 93D2):
 - Als de populatie groter wordt, nemen predatie, parasitisme, ziekten en concurrentie toe en neemt de hoeveelheid voedsel af. Hierdoor krimpt de populatie weer.
 - Als de populatie kleiner wordt, nemen predatie, parasitisme, ziekten en concurrentie af en neemt de hoeveelheid voedsel toe. Hierdoor groeit de populatie weer.
- Dynamiek: het schommelen van biotische factoren.
- Dynamisch evenwicht: een toestand waarin de populatie-dichtheid van elke soort in een ecosysteem schommelt om een bepaalde waarde.
- De populatiegrootte kan ook veranderen door geboorte, sterfte en migratie.
 - geboortecijfer: aantal organismen dat per tijdseenheid door voortplanting ontstaat (meestal per duizend organismen per jaar)
 - sterftcijfer: aantal organismen dat per tijdseenheid sterft (meestal per duizend organismen per jaar)
 - immigratie: aantal binnentrekkende individuen
 - emigratie: aantal wegtrekkende individuen
- Als een soort zich nieuw in een ecosysteem vestigt, kan populatiegroei plaatsvinden.
- Inheems: soort die van nature in een gebied voorkomt.
- Uitheems: soort die van nature niet in een gebied voorkomt.
- Exoot: soort die als gevolg van menselijk handelen terecht komt in een gebied waar hij van oorsprong niet thuishoort.
 - Invasieve exoten bezitten eigenschappen waardoor ze zich in het nieuwe leefgebied kunnen vestigen en verspreiden. Het gevaar is dat ze inheemse soorten verdringen.
 - Als de soort goed is aangepast aan het nieuwe milieu, vindt in de beginfase exponentiële groei plaats.

- Als de hulpbronnen (bijv. voedsel) beperkt zijn en/of als er natuurlijke vijanden aanwezig zijn, stelt zich na de beginfase een biologisch evenwicht in (S-vormige groeicurve).
- Als de hulpbronnen onbeperkt zijn en als natuurlijke vijanden ontbreken, gaat de exponentiële groei na de beginfase door (J-vormige groeicurve). Dit kan leiden tot een plaag.
- Draagkracht: de maximale populatiegrootte van de verschillende populaties die over langere tijd in een ecosysteem kunnen worden gehandhaafd.
 - Na overschrijding van de draagkracht en het instorten van een populatie kan zich een nieuw biologisch evenwicht instellen, meestal met een lagere draagkracht.

5.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt de voedselrelaties en de informatienetwerken binnen een ecosysteem beschrijven.

- Vraat: het eten van planten door dieren.
 - Signaalstoffen: chemische verbindingen die informatie overdragen tussen en binnen organismen.
 - Andere planten reageren op signaalstoffen, bijv. door de aanmaak van gifstoffen, waardoor vraat wordt voorkomen.
- Voedselketen: een reeks soorten waarbij elke soort een voedselbron is voor de volgende soort.
 - Een voedselketen geeft de voedselrelaties in een ecosysteem weer.
 - De pijlen in een voedselketen geven de energiestroom door een voedselketen weer.
- Voedselweb (zie **BiNaS** tabel 93E1): het geheel van voedselrelaties in een levensgemeenschap.
- Predatie: het eten van dieren.
- Trofisch niveau: schakel in de voedselketen.
 - Het eerste trofische niveau bestaat uit autotrofe organismen.
- Producenten: organismen die in staat zijn om hun eigen voedsel te maken door middel van assimilatie.
 - Assimilatie: vorming van grote organische moleculen uit kleine (anorganische) moleculen. Hierbij wordt energie vastgelegd in de verbindingen.
 - Koolstofassimilatie: vorming van glucose uit koolstofdioxide en water(stof).
 - Energie voor koolstofassimilatie is afkomstig van fotosynthese of chemosynthese.
 - Foto-autotrofe organismen maken gebruik van fotosynthese: een vorm van koolstofassimilatie waarbij licht als energiebron wordt gebruikt.

- Chemo-autotrofe organismen maken gebruik van chemosynthese: een vorm van koolstofassimilatie waarbij oxidatie als energiebron wordt gebruikt.
- Voortgezette assimilatie: uit onder andere glucose worden koolhydraten, eiwitten, vetten en DNA gevormd.
- Consumenten: organismen die andere organismen als voedsel nodig hebben.
 - Moeten organische stoffen uit hun voedsel opnemen (heterotroof).
 - Planteneters (herbivoren), vleeseters (carnivoren) en alleseters (omnivoren).
 - Consumenten van de eerste orde worden gegeten door consumenten van de tweede orde, die worden gegeten door consumenten van de derde orde, enz.
- Reducenten (bacteriën en schimmels) breken dood organisch materiaal af tot anorganische stoffen.
- Dissimilatie: afbraak van organische moleculen. Hierbij komt energie vrij die is opgeslagen in de verbindingen.

5.3.2

Je kunt de energiestromen door een ecosysteem beschrijven.

- Biomassa: het totale gewicht van alle organische stoffen.
- Ecologische piramiden geven de voedselrelaties in een ecosysteem weer.
 - Piramide van aantallen: aantal organismen per trofisch niveau.
 - Piramide van biomassa (zie **BiNaS** tabel 93E2): biomassa per trofisch niveau.
 - Elk trofisch niveau heeft zijn eigen productiviteit: de hoeveelheid energie die wordt vastgelegd in organische stoffen.
- Productiviteit van een ecosysteem:
 - Bruto primaire productie (BPP): alle biomassa die in een ecosysteem bij de fotosynthese wordt gevormd.
 - Een deel hiervan wordt verbruikt bij de dissimilatie in de autotrofe organismen.
 - Netto primaire productie (NPP): alle biomassa waarmee nieuwe weefsels worden gevormd in de autotrofe organismen.
- De energiestroom door een ecosysteem (zie **BiNaS** tabel 93A):
 - In elke schakel van een voedselketen treedt energieverlies op door afgestorven weefsels, door onverteerd voedsel en door dissimilatie.
 - Je kunt berekeningen uitvoeren met informatie over de energiestromen in een ecosysteem.

5.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt veranderingen in een ecosysteem beschrijven.

- Successie: verandering van de soortensamenstelling in een gebied. Het ecosysteem gaat geleidelijk over in een ander ecosysteem.
- Pionierecosysteem: ecosysteem dat als eerste ontstaat in een onbegroeid gebied.
- Pioniersoorten: de eerste planten en dieren die zich vestigen op kale grond.
- Gelaagdheid: door successie krijgt de vegetatie verschillende lagen (mossen, kruiden, struiken, bomen).
- Climaxecosysteem: eindstadium in de successie.
 - Bijv. tropische regenwouden, koraalriffen en (in Nederland) loofbossen.
- Primaire successie: successie op een bodem zonder humus.
- Secundaire successie: successie als er al een bodem met humus aanwezig is.
 - Secundaire successie verloopt sneller dan primaire successie.
 - Bijv. de successie na het kappen van een bos.
- Erosie: bij erosie spoelt of waait de bovenste laag van de bodem weg.
- Verlanding: successie in een plas.
- Gradiëntecosysteem: een ecosysteem met geleidelijke overgangen.
- Indicatorsoorten: soorten die een aanwijzing geven over een kenmerk van het milieu waarin ze voorkomen.

Factor	Pionier-ecosysteem	Climax-ecosysteem
Abiotische factoren	sterk wisselend	gematigd
Kringlopen	open	gesloten
Biomassa	toename	blijft gelijk
Bodem	humusarm	humusrijk
Vegetatie	één laag	meerdere lagen
Biodiversiteit	soortenarm	soortenrijk
Voedselweb	eenvoudig	ingewikkeld
Snelheid van successie	snelle afwisseling van soorten	weinig verandering in soorten

5.4.2

Je kunt in een model gegeven informatie over ecosystemen gebruiken, bewerken en analyseren.

- Een model is een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid.
- Ecologisch model:
 - De biotische factoren in een ecosysteem kunnen in verschillende evenwichtssituaties verkeren.
 - Bij een kleine verstoring kan de evenwichtssituatie worden gehandhaafd.
 - Bij een flinke verstoring kan er blijvend een nieuwe evenwichtssituatie ontstaan.
- Een ecosysteem kan in verschillende evenwichtssituaties verkeren.
 - Het omslagpunt (kantelpunt) is de overgang tussen twee evenwichtssituaties.

SAMENHANG

- 5.S.1 Je kunt de kenmerken van de stadsecologie toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 5.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheid ecologisch denken toepassen op de ecologie van een stad.

ONDERZOEK – PRACTICA

- 5.O.1 Je kunt een korstmos onder de microscoop bekijken en delen herkennen en tekenen.
- 5.O.2 Je kunt met behulp van een computermodel de ontwikkeling in aantallen voorspellen van twee populaties die een onderlinge voedselrelatie met elkaar hebben.
- 5.O.3 Je kunt met een simulatieprogramma voorspellen hoe de aantallen van een populatie zich ontwikkelen als een andere populatie het ecosysteem binnenkomt.

 [Ga naar de Flitskaarten en de Oefentoets.](#)

NOTITIES

[illegible]

EXAMENOPGAVEN

VOSSEN VERANDEREN IN EEN ECOSYSTEEM

Naar: pilot examen vwo 2011-1, vraag 8.

Tussen Alaska en Siberië strekt zich over een afstand van 1500 km een keten van eilanden uit, de Aleoeten. Op de eilanden nestelen van oudsher miljoenen visetende zeevogels, zoals alken, papegaaiduikers en meeuwen. De begroeiing van sommige eilanden wordt gedomineerd door grassen.

De op de eilanden nestelende zeevogels dragen bij aan de verrijking van de bodem en daarmee aan de bruto primaire productie (BPP) op de eilanden.

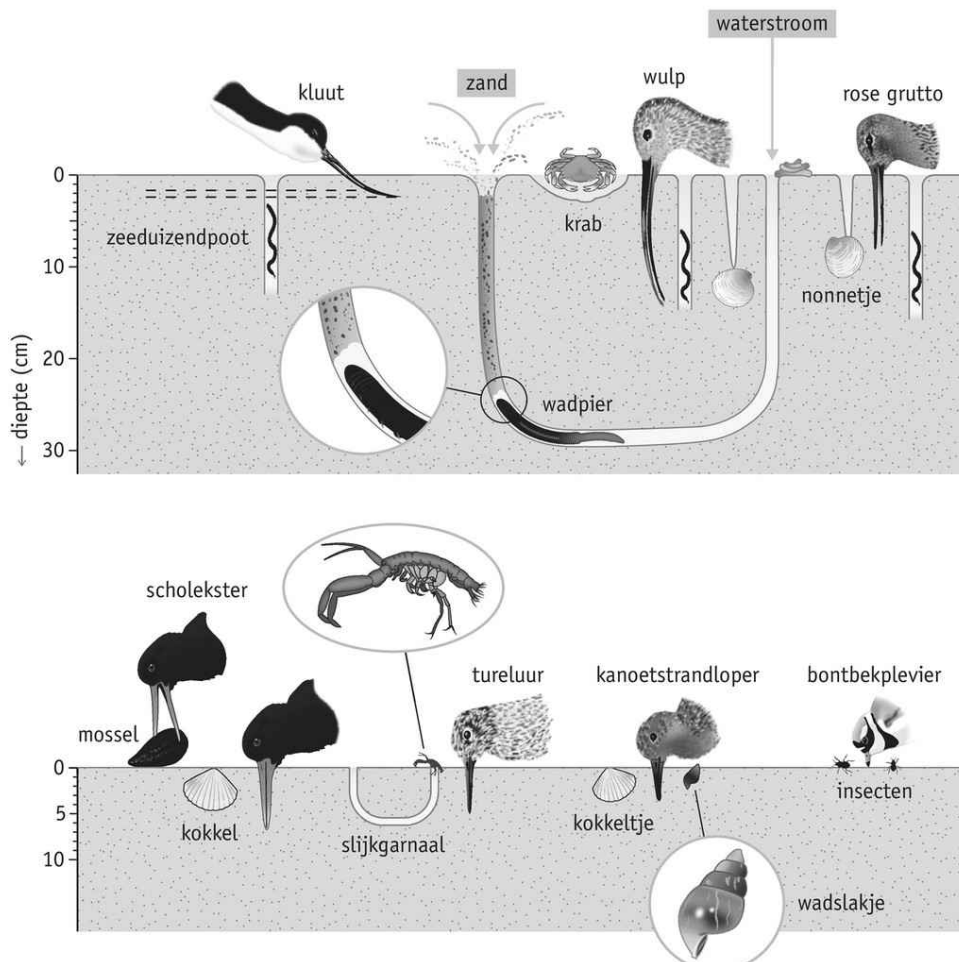
- 2p 1
- Leg uit dat door nestelende zeevogels de bodem van de eilanden steeds meer wordt verrijkt.
 - Waardoor kan dit de BPP verhogen?

VOEDSELRELATIES IN DE WADDENZEE

Naar: examen vwo 2007-2, vraag 11.

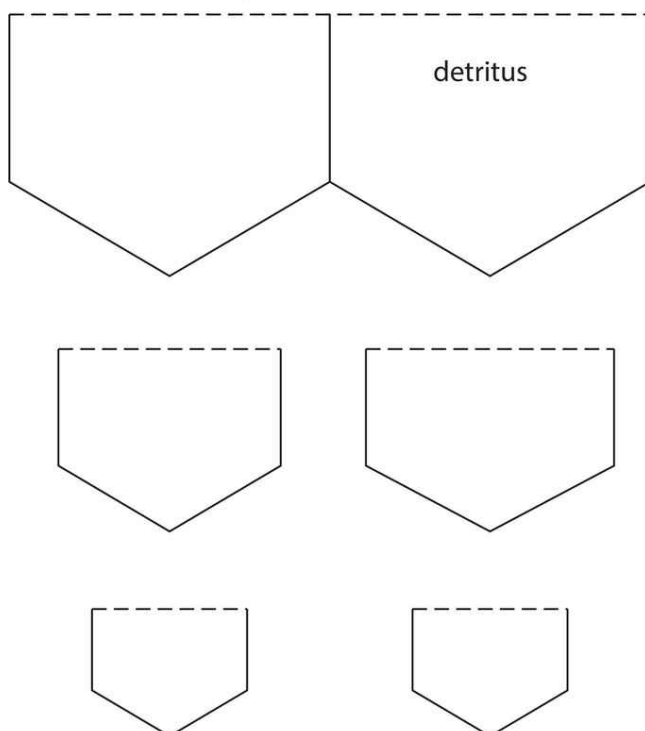
De relatie tussen een aantal vogels en bepaalde ongewervelden in het Waddengebied is in afbeelding 1 weergegeven.

■ **Afb. 1** De relatie tussen een aantal vogels en ongewervelden in het Waddengebied.



- 3p **2** De voedselketens in de Waddenzee kunnen in twee typen worden onderscheiden. Het ene type begint met levende planten, het andere met plantaardige detritus (dood organisch materiaal).
- In afbeelding 2 zijn beide energiestromen getekend in de vorm van een aantal vijfhoekige vakken. Op verschillende plaatsen vindt overdracht van stoffen binnen en tussen beide hoofdstromen plaats. Wanneer die overdracht in de vorm van pijlen wordt toegevoegd, ontstaat een schema van een voedselweb.
- Maak dit schema in afbeelding 2 als volgt compleet:
- Zet de namen van de volgende zes groepen organismen op een juiste plaats in de vakken: *algen* – *bacteriën* – *schelpdieren* – *schimmels* – *vogels* – *wormen*.
 - Verbind de vakken waartussen overdracht van organisch materiaal plaatsvindt met pijlen. Noteer ten minste zeven nieuwe pijlen.

■ **Afb. 2** Twee energiestromen.



ROTGANZEN OP SCHIERMONNIKOOG

Naar: examen vwo 2007-2, vraag 31 en 34.

Het Waddeneiland Schiermonnikoog ligt niet vast op zijn plek; de zee slaat zand weg aan de Noordzeekant, maar laat ook zand achter aan de oostkant van het eiland en vormt daar de kwelder. Bij de ontwikkeling van de kwelder blijken hazen een sleutelrol te spelen. De rotganzen die op de kwelder grazen, hebben

5 daar voordeel van.

Planten die zijn aangepast aan het zoute water zorgen voor het vastleggen van het zand en dragen zo bij aan de groei van de kwelder. Tijdens overstromingen zet de zee dunne laagjes klei af op de zandige ondergrond. Op een honderd jaar oude kwelder ligt een laag van wel vijftien centimeter. Steeds meer

10 plantensoorten groeien er op de ouder wordende kwelder. Op de jonge kwelder kunnen zeekraal en gerande schijnspurrie het hoofd net boven water houden, ze worden opgevolgd door een lage vegetatie van zilte rus, zeeweegebree en kweldergras. Enige tientallen jaren later groeien er struikachtige planten als zoutmelde en zeealsem. Naast insecten en bodemdiertjes zijn er grazers actief

15 zoals haas, konijn en verschillende soorten ganzen.

- 2p 3 Uit de tekst is een aantal kenmerken van successie af te leiden.
- Noteer twee algemene kenmerken van successie waarvan in de tekst een voorbeeld wordt gegeven.
 - Noteer bij beide kenmerken de regelnummers in de tekst waarin je een voorbeeld van deze kenmerken aantreft.
- 2p 4 De rotganzen bezoeken Schiermonnikoog in het voorjaar en trekken daarna weldoorvoed naar het noorden om te gaan nestelen. Ze grazen overdag. De hazen wagen zich in die periode pas in de avonduren op de kwelder om te grazen. Wanneer onderzoekers een plek alleen tegen ganzen afschermen, blijken de hazen er overdag vaker te foerageren.
- Hoe wordt de relatie tussen hazen en rotganzen op de kwelder genoemd?
- A commensalisme
B competitie
C coöperatie
D mutualisme

VOEDSELCONVERSIE

Naar: examen vwo 2009-2, vraag 10 en 15.

In het streven naar vergroting van de efficiëntie van de voedselproductie wordt weleens het eten van insecten of insectenlarven aanbevolen in plaats van vlees (overigens nog niet in de voedingsadviezen van de Nederlandse Gezondheidsraad). Door het eten van insecten wordt een efficiënter gebruik van de netto primaire productie (NPP) bereikt.

In de studie naar de efficiëntie van de voedselproductie is de conversiefactor een belangrijk begrip. De conversiefactor geeft aan welk deel van de energie in het voedsel van een organisme wordt omgezet in biomassa van dat organisme. Als de biomassa van een dier door het eten van 100 kJ biomassa toeneemt met 10 kJ, is de conversiefactor 0,1.

In tabel 1 zijn gegevens over de energiestroom in een stabiel graslandecosysteem opgenomen. Voor zowel de herbivoren als de carnivoren zijn de gemiddelde hoeveelheden van de voedselopname, van de assimilatie, van de onverteerbare resten, van de opbouw van organische stoffen (productie) en van de dissimilatie berekend. De hoeveelheden zijn gebaseerd op een NPP van 100 joule per m² per jaar.

Tabel 1

NPP 100 joule per m ² per jaar					
	opname	assimilatie	onverteerd	productie	dissimilatie
	I (joule)	A (joule)	F (joule)	P (joule)	R (joule)
Herbivoren					
gewervelden	25,00	12,50	12,50	0,25	12,25
ongewervelden	4,00	1,60	2,40	0,64	0,96
Carnivoren					
gewervelden	0,16	0,13	0,03	0,003	0,127
ongewervelden	0,27	0,135	0,135	0,040	0,095

- 2p **5** Uit tabel 1 blijkt dat in een graslandecosysteem de gewervelde dieren een groter deel van de NPP als voedsel opnemen dan de ongewervelde dieren. Waardoor wordt dat verschil in voedselopname veroorzaakt?
- A De productie van de ongewervelden is groter dan die van gewervelden.
 - B Het voedsel van de gewervelden is beter verteerbaar dan dat van de ongewervelden.
 - C De totale biomassa van de gewervelde herbivoren is groter dan die van de ongewervelde herbivoren.
 - D In de voedselpiramide staan de gewervelde herbivoren op een hoger niveau dan de ongewervelde herbivoren.
- 2p **6** Bij onderzoek naar de efficiëntie van voedselconversie bij landbouwhuisdieren worden proeven gedaan met jonge dieren, zoals kalveren, biggen en kuikens. Gebruikt worden gegevens over de opname (I), assimilatie (A), onverteerde stoffen (F), productie (P) en dissimilatie (R). Waarom worden voor het onderzoek naar de voedselconversie van landbouwhuisdieren jonge dieren gebruikt en niet de volwassen dieren?
- A Bij volwassen dieren is R relatief groter dan bij jonge dieren.
 - B Bij volwassen dieren is A/I kleiner dan bij jonge dieren.
 - C Bij volwassen dieren wordt de P vrijwel gelijk aan 0.
 - D Bij volwassen dieren is de F relatief groter dan bij jonge dieren.

This image shows a full page of blank white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for writing or drawing. There are no margins, text, or other markings on the page.



Thema 6

MENS EN MILIEU

In climaxecosystemen, zoals oude duinbossen, is de natuur in balans. Er is veel biodiversiteit en de kringlopen van stoffen zijn gesloten. Acties van de mens zijn vaak de reden dat dit evenwicht wordt verstoord. Door menselijk ingrijpen is veel natuur beschadigd of verdwenen en is het milieu verontreinigd. Maar steeds vaker doen we onderzoek en ontwikkelen we manieren om problemen die we hebben veroorzaakt weer op te lossen. Bijvoorbeeld door nieuwe natuur te ontwikkelen, zoals de Marker Wadden.

Inhoud

ORIËNTATIE

Plastic is overal, zelfs in ons lichaam	156
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Kringlopen	158
2 Voedselproductie	169
3 Versterkt broeikaseffect	184
4 Duurzame ontwikkelingen	195

SAMENHANG

Voedselbos combineert natuur en landbouw	206
--	-----

EXTRA STOF

Metingen aan water: fosfaatgehalte	
Invasieve uitheemse soorten	

ONDERZOEK

Practica	208
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	210
Examenopgaven	214

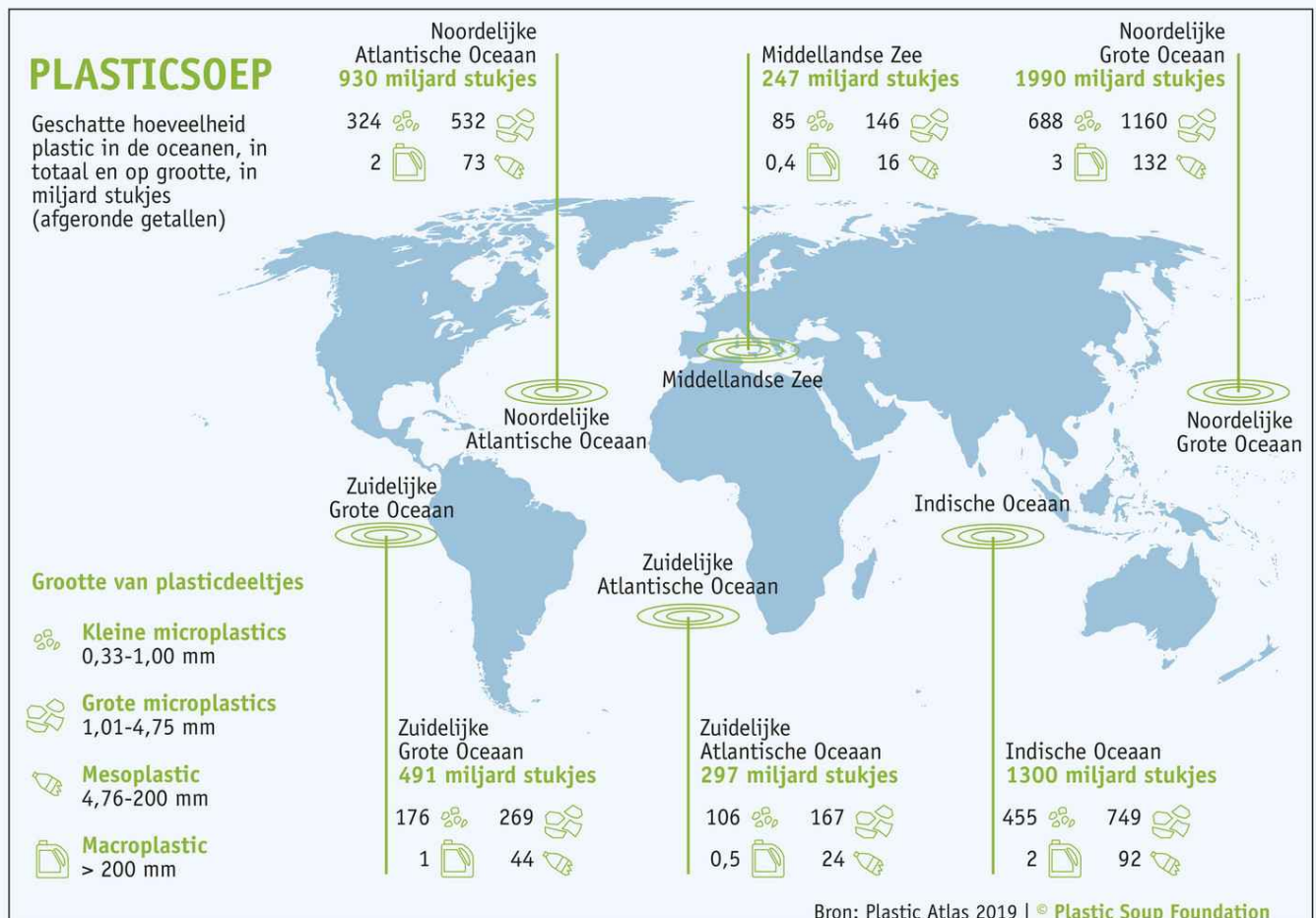
PLASTIC IS OVERAL, ZELFS IN ONS LICHAAM

Ze zitten in je eten, in je drinkwater, in cosmeticaproducten en zweven door de lucht. Je ziet ze vaak niet met het blote oog, maar microplastics komen over de hele wereld voor. Daarom maken mensen zich zorgen over de invloed van deze plastics op onze gezondheid.

Elk jaar wordt er in de wereld meer dan vierhonderd miljoen ton plastic geproduceerd. Ongeveer elf miljoen ton eindigt ieder jaar via rivieren in de oceanen. Het gevolg hiervan is dat in een gebied in de Stille Oceaan, dat twee keer zo groot is als Frankrijk, een enorme hoeveelheid afval drijft van plastic flessen, jerrycans, tassen en netten. Grote gebieden met plasticafval in zee noem je plasticsoep. Grotendeels bestaat dit

afval uit microplastics, maar het bevat ook grotere stukken plastic. Wereldwijd komen er enkele van deze gebieden voor (zie afbeelding 1). Voor zeedieren kan het plastic in zee schadelijk zijn. Ze raken verstrikt in stukken plastic, zoals touw of een deel van een net en kunnen daardoor doodgaan. Of ze zien stukken plastic aan voor voedsel. Zo verwacht de zeeschildpad plastic zakken met kwalen (zie afbeelding 2). Het plastic

■ Afb. 1 Gebieden in de oceanen met plasticsoep.



dat in de maag van deze zeedieren komt, verteert niet en hoopt zich op, waardoor de dieren langzaam verzadigd raken. Doordat ze te weinig voedsel binnenkrijgen, verhongeren ze.

Plastic dat niet wordt opgegeten, valt uiteen door golfslag en uv-straling van de zon. Het kleiner worden van plastic is een continu proces. Uiteindelijk wordt plastic zo klein dat het verandert in microplastics of nanoplastics. Microplastics hebben een grootte tussen de 0,1 μm en 5 mm (1 μm is 1 miljoenste meter). Ter vergelijking: 100 μm is de gemiddelde dikte van een vel krantenpapier. Nanoplastics zijn plasticdeeltjes die kleiner zijn dan 0,1 μm . Daarmee is hun afmeting gelijk aan of kleiner dan die van een virus. De kleine fragmenten hechten zich aan andere stoffen, die langzaam naar beneden zakken. Op deze manier en via de uitwerpselen van vissen komen ze ook op de bodem terecht.

Microplastics komen ook in de natuur terecht door bijvoorbeeld het wassen van synthetische kleding, het gebruik van cosmeticaproducten, tandpasta en het opendraaien van een plastic dop van een petfles. Microplastics zijn overal op aarde aangetroffen: van hoog in de bergen tot op de Noordpool. Ook komen microplastics in jouw omgeving voor. Kijk maar eens op een mooie zonnige dag in je slaapkamer. Dan zie je in het zonlicht allemaal stofdeeltjes in je kamer zweven. Grote kans dat daar ook microplastics tussen

zitten. Veel van deze deeltjes zijn afkomstig van synthetische kleding. Microplastics zijn dus overal en omdat de natuur plastic nauwelijks afbreekt, verdwijnen ze niet zo snel.

In alle schakels van de voedselketen komen microplastics voor. Planten nemen microplastics op met hun wortels en microplastics belanden op planten via verpakkingen of neerslag. Dieren, ook mensen, krijgen microplastics binnen in hun bloed via de darmen en longen. Onderzoek heeft aangetoond dat microplastics in het bloed van mensen voorkomen. Ze kunnen zich in bepaalde organen ophopen. Het grootste deel van de microplastics poept je overigens uit. Over de effecten van microplastics op ons lichaam is nog niet veel bekend.

■ **Afb. 2** Een schildpad is verstrikt geraakt in plastic.



Opdrachten

- 1 Op welke manieren kunnen micro- en nanoplastics in de voedselketen terechtkomen?
- 2 Noordse stormvogels trekken lange perioden over zee, waardoor ze regelmatig zijn aangewezen op hun energiereserves.
Wat kan het gevolg zijn voor een noordse stormvogel als hij lange afstanden vliegt na het eten van plastic?
- 3 Mosselen, krabben en zeeanemonen zijn kustdieren die ook op grote stukken plastic op open zee kunnen overleven. Zodoende zijn ze in staat om met het plastic mee te liften, waardoor ze zich op grote schaal naar andere kustgebieden kunnen verplaatsen.
Leg uit waarom het ecosysteem in die kustgebieden daardoor verstoord kan raken.
- 4 Veel verzorgingsproducten zoals douchecrème en tandpasta bevatten microplastics. Met de app *Beat the Microbead* kun je zelf onderzoeken of de verzorgingsproducten die jij of iemand anders gebruikt microplastics bevatten. Deze app kun je downloaden.
 - Scan met behulp van de app de ingrediënten op de verpakking van de verzorgingsproducten die jij gebruikt en noteer of ze microplastics bevatten.
 - Ben je bereid om het verzorgingsproduct dat microplastics bevat te vervangen door een product dat geen microplastics bevat? Licht je antwoord toe.
- 5 Microplastics zitten ook in tapijten en kleding. Ze komen ook vrij bij het openen van verpakkingsmaterialen.
Noteer twee maatregelen die je kunt nemen zodat er minder (micro)plastics in het milieu terechtkomen.



[Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 KRINGLOPEN

LEERDOELEN

6.1.1 Je kunt de koolstofkringloop in hoofdlijnen beschrijven en schema's hiervan interpreteren.

6.1.2 Je kunt de stikstofkringloop in hoofdlijnen beschrijven en schema's hiervan interpreteren.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	6.1.1	6.1.2
Begrijpen	1, 2, 3, 4	5, 6, 7
Toepassen	8, 16a	12a, 13, 15bc
Analyseren	9, 10a	10b, 11, 12b, 14, 15a, 16b

Ongeveer 97% van het gewicht van alle organismen bestaat uit slechts vier elementen: koolstof, zuurstof, waterstof en stikstof. Hierdoor is recycling van biologische materialen in de natuur een stuk eenvoudiger dan recycling van producten die zijn gemaakt door de mens, want die bestaan juist uit veel verschillende elementen. De natuur kent bovendien weinig afval. Moleculen worden in kringlopen keer op keer opnieuw gebruikt.

MENSEN BEÏNVLOEDEN HET MILIEU

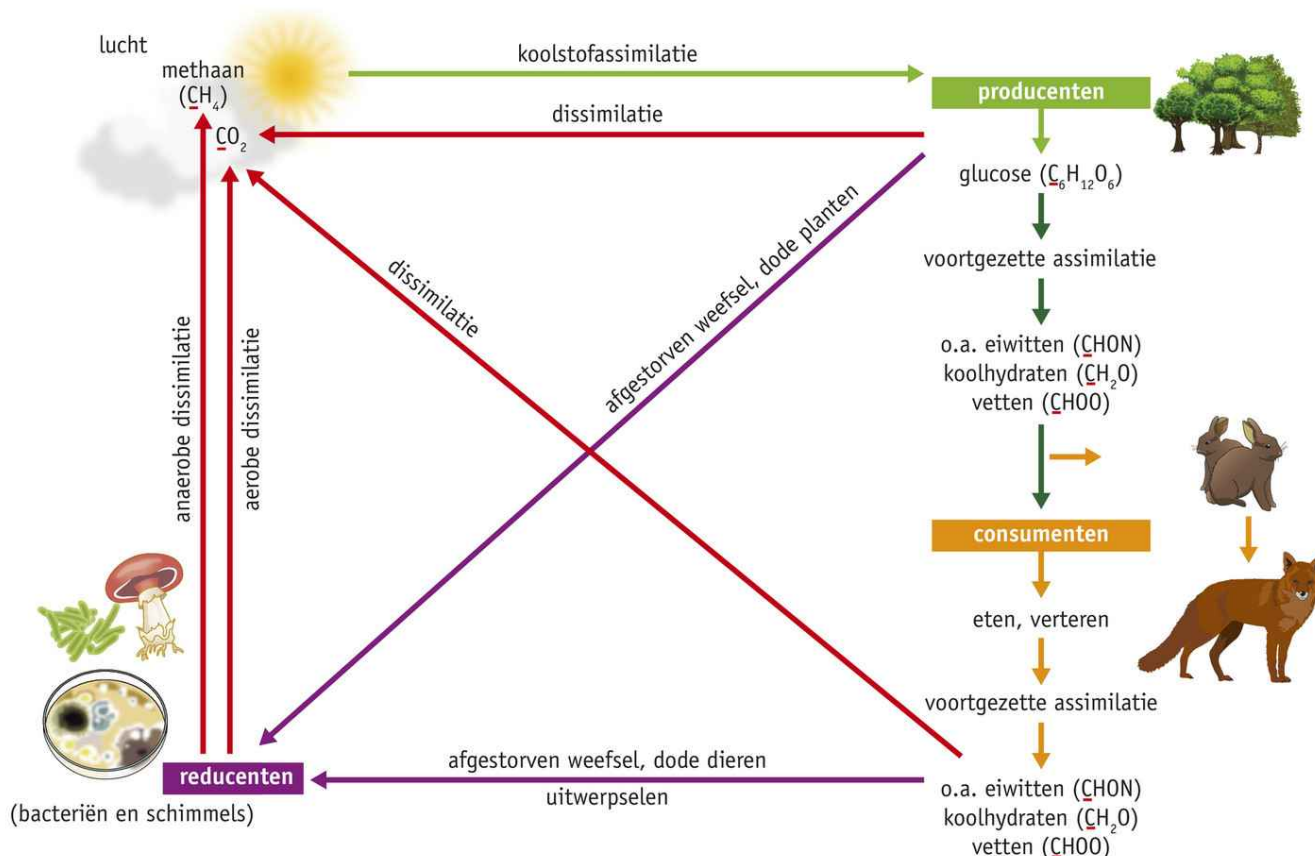
De invloed van de mens op het milieu is groot. Door hun levenswijze voegen mensen stoffen toe aan het milieu. Dat kan leiden tot vervuiling. Ook onttrekken mensen veel stoffen aan het milieu, wat kan leiden tot uitputting. Menselijk ingrijpen verstoort vaak het natuurlijk milieu, waardoor milieuproblemen ontstaan. Als mensen het milieu sterk veranderen, noem je dat aantasting.

Door deze invloeden van de mens worden de natuurlijke **kringlopen** van stoffen beïnvloed. Stoffen maken in de natuur onderdeel uit van verschillende kringlopen. In deze basisstof worden er twee besproken: de koolstofkringloop en de stikstofkringloop.

KOOLSTOFKRINGLOOP

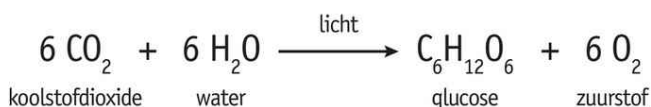
Koolstof (C) komt in de lucht voor in koolstofdioxidemoleculen (CO₂). In organismen komt koolstof voor in alle moleculen van organische stoffen. In de levenloze natuur komt koolstof voor in bijvoorbeeld rotsen en aardolie. Koolstof doorloopt een kringloop in het systeem aarde. In afbeelding 1 is deze **koolstofkringloop** schematisch weergegeven, zie ook **BiNaS** tabel 93F.

■ **Afb. 1** Koolstofkringloop.



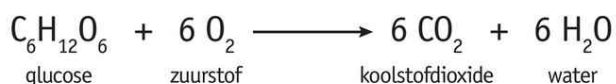
Lucht bestaat voor ongeveer 0,04% uit CO₂. Planten zijn foto-autotrofe soorten. Foto-autotrofe soorten gebruiken CO₂ uit de lucht om door fotosynthese glucose (C₆H₁₂O₆) te vormen (koolstofassimilatie, zie afbeelding 2).

■ **Afb. 2** De formule van fotosynthese.



Een deel van de geproduceerde glucose wordt gebruikt voor dissimilatie (zie afbeelding 3). Glucose wordt dan afgebroken tot CO₂, water en energie. CO₂ en water worden weer afgegeven aan de lucht en de energie wordt door een organisme voor verschillende processen gebruikt. Een ander deel van de geproduceerde glucose wordt omgezet in de organische stoffen waaruit de autotrofe soorten bestaan, zoals eiwitten, zetmeel, cellulose en vetten. Dit noem je voortgezette assimilatie. De koolstofatomen bevinden zich dan in de moleculen van deze stoffen.

■ **Afb. 3** De formule van aerobe dissimilatie.



Als een heterotroof organisme een autotroof individu eet, komen de organische stoffen van het autotrofe organisme in het heterotrofe organisme terecht. Na vertering en opname in het bloed wordt een deel van de organische stoffen gebruikt om energie te leveren (dissimilatie). Hierbij komt CO_2 vrij. Een ander deel van de organische stoffen wordt door voortgezette assimilatie omgezet in dierlijke organische stoffen. En een deel van de organische stoffen wordt niet verteerd, maar uitgescheiden met de uitwerpselen. Als het dier op zijn beurt wordt gegeten door een ander dier, komt de koolstof van het ene individu terecht in het andere individu.

Alle dode organismen, dode resten van organismen (bijvoorbeeld afgevallen bladeren) en andere afvalproducten van organismen (bijvoorbeeld uitwerpselen) worden samengevat onder de naam detritus of afval. Al dit afval wordt uiteindelijk door reducenten (schimmels en bacteriën) afgebroken tot anorganische stoffen.

Dit is ook een voorbeeld van dissimilatie. De CO_2 die hierbij vrijkomt, wordt afgegeven aan de lucht. Autotrofe soorten kunnen deze CO_2 weer opnemen.

In deze kortlopende koolstofkringloop gaat koolstof in maximaal een paar honderd jaar eenmaal rond.

Koolstof is ook opgeslagen in gesteenten en **fossiele brandstoffen**. Fossiele brandstoffen zoals steenkool, aardolie en aardgas konden ontstaan doordat miljoenen jaren geleden organische stoffen gedeeltelijk door anaerobe bacteriën werden afgebroken. Gesteenten zoals krijtrotsen bevatten ook veel koolstof, doordat ze miljoenen jaren geleden zijn ontstaan uit microscopische kalkskeletjes van algen en kleine zeedieren. Door het verbranden van fossiele brandstoffen of het langzaam afbreken en oplossen van krijtrotsen in de zee komt langdurig opgeslagen koolstof weer in de kringloop. Dit noem je de langlopende koolstofkringloop. Het verbranden van fossiele brandstoffen en oplossen van kalkrotsen zorgt ervoor dat de hoeveelheid CO_2 in de huidige kortlopende koolstofkringloop toeneemt.

Opdrachten **KENNIS**

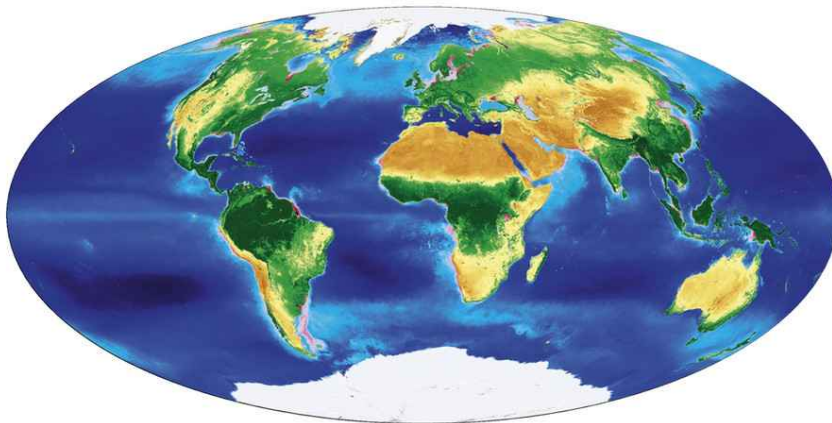
- 1 Maak een schema van de koolstofkringloop. Gebruik daarbij de volgende organismen en stoffen: *detritus* – *konijnen* – *koolstofdioxide (CO_2)* – *kruidachtige planten* – *rottingsbacteriën* – *vossen*.
Plaats in je schema alle voor deze koolstofkringloop relevante pijlen.

- 2 In afbeelding 4 is de maandelijkse verandering van de CO_2 -concentratie op aarde weergegeven.
Leg deze verandering uit aan de hand van afbeelding 5.

■ **Afb. 4** Maandelijkse verandering in CO_2 -concentratie.



- **Afb. 5** Satellietfoto van de aarde met verdeling van de planten op het land en in de zee.



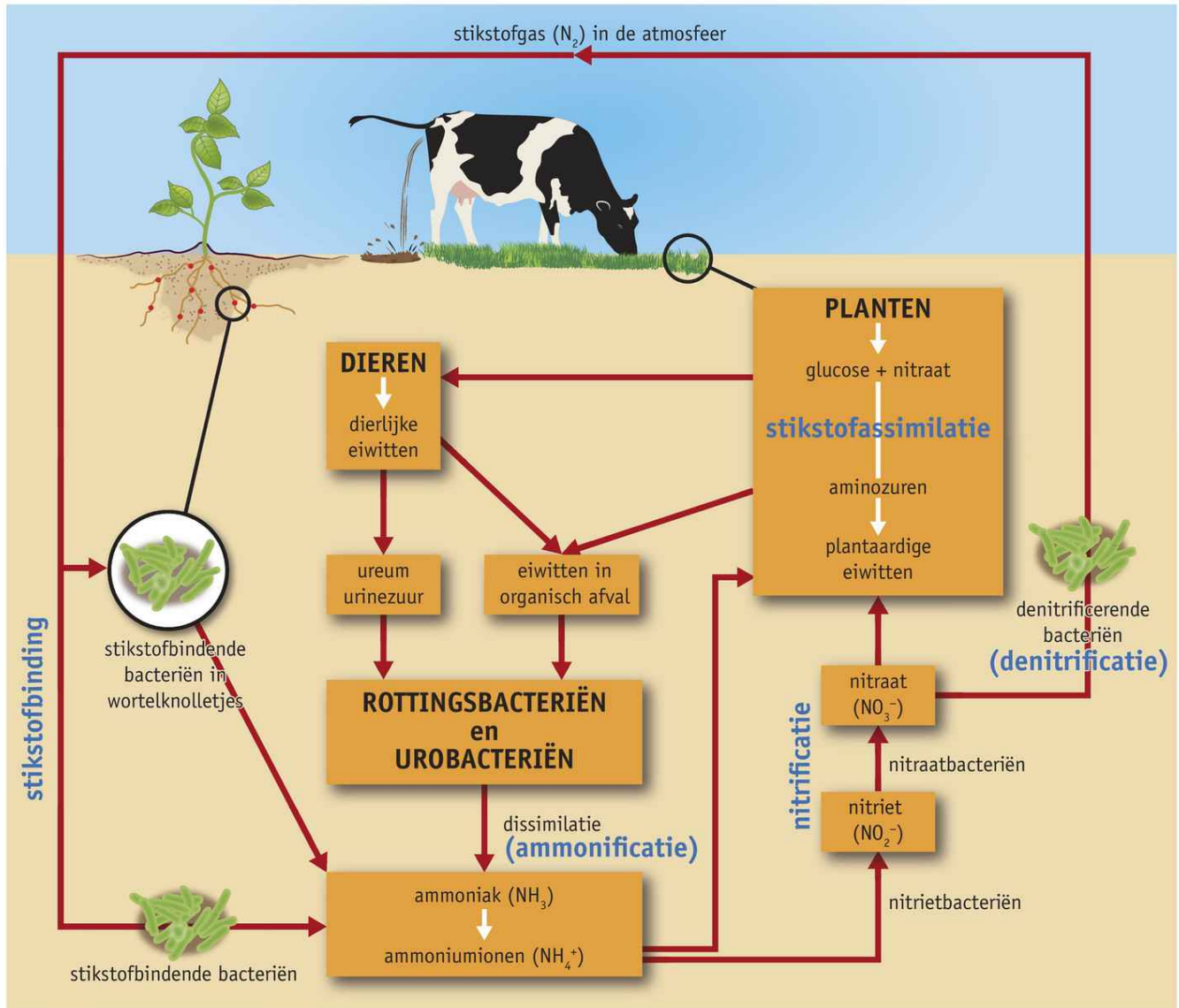
Plantengroei op het land is weergegeven van lichtgroen (weinig planten) tot donkergroen (dichte begroeiing). In de oceanen is plantengroei weergegeven van lichtblauw (weinig algen) tot donkerblauw (dichte algengroei).

- 3 Door fotosynthese van planten wordt er elk jaar 121,3 miljard ton CO_2 uit de lucht vastgelegd in planten in de vorm van koolhydraten. Een deel van dit CO_2 komt weer vrij door dissimilatie in planten (60 miljard ton), in dieren (60 miljard ton) en door bosbranden (1,6 miljard ton). Daarnaast wordt 92 miljard ton CO_2 opgenomen in zeeën en komt er uit diezelfde zeeën 90 miljard ton in de atmosfeer. Door verbranding van fossiele brandstoffen komt 5,5 miljard ton CO_2 in de atmosfeer.
- a Welke organismen in zeeën zorgen voor de opname van CO_2 ?
 - b Wat is de voornaamste bron voor de toename van CO_2 in de atmosfeer?
 - c Bereken de jaarlijkse toename van CO_2 in de atmosfeer.
- 4 Belgische onderzoekers ontdekten dat de buitenkant van een klein bosje meer koolstof opslaat dan de bomen midden in een groot bos. In 45 verschillende loofbossen maten ze zowel in de bomen, in de bodem, als in de strooisellaag (humus, organisch materiaal afkomstig van gedeeltelijk afgebroken detritus) de hoeveelheid opgeslagen koolstof. Uit hun onderzoek bleek dat aan de rand van het bos gemiddeld 230 ton koolstof per hectare voorkwam, terwijl dat 100 meter diep in het bos 176 ton was. Geef een mogelijke verklaring voor deze hogere koolstofopslag aan de bosrand.

STIKSTOFKRINGLOOP

Stikstof (N) komt in organismen onder andere voor in eiwitten, DNA en ATP. Net als koolstof doorloopt stikstof een kringloop in het systeem aarde, de **stikstofkringloop**. In afbeelding 6 is deze stikstofkringloop schematisch weergegeven, zie ook **BiNaS** tabel 93G.

■ Afb. 6 Stikstofkringloop (op het land).



Lucht bestaat voor ongeveer 79% uit gasvormig stikstof (N_2). In de bodem komt stikstof voor in ammoniumionen (NH_4^+), nitrietionen (NO_2^-) en nitraationen (NO_3^-).

De meeste organismen zijn niet in staat om stikstof uit de lucht te gebruiken. Planten kunnen wel stikstof opnemen uit de bodem, vooral in de vorm van nitraationen. Ze gebruiken stikstof om organische stoffen te vormen, zoals aminozuren en eiwitten. Dit proces heet stikstofassimilatie.

Als een plant wordt gegeten door een dier, worden de plantaardige eiwitten afgebroken tot aminozuren. Uit de aminozuren maakt het dier weer eiwitten. Een deel van de eiwitten wordt in het dier afgebroken. Hierbij komt ammoniak (NH_3) vrij. Waterdieren scheiden deze stof met hun urine uit in het water. Landdieren zetten ammoniak eerst om in urinezuur of ureum en scheiden deze stoffen met hun urine uit.

De eiwitten in detritus en de afbraakproducten van eiwitten in urine worden opgenomen door rottingsbacteriën en urobacteriën. Bij de dissimilatie van deze stoffen door bacteriën ontstaat ammoniak. Dit proces heet **ammonificatie**. Een deel van de ammoniak verdwijnt als ammoniakgas in de lucht. Ook bij een dood dier in ontbinding komt ammoniakgas vrij. Het grootste deel van de vrijgekomen ammoniak wordt in het (bodem)water omgezet in ammoniumionen (NH_4^+).

Planten nemen slechts een klein deel van deze ammoniumionen op. De meeste ammoniumionen worden eerst door nitrietbacteriën omgezet in nitrietionen (NO_2^-). Daarna worden de nitrietionen door nitraatbacteriën omgezet in nitraationen (NO_3^-). Planten kunnen nitraationen weer opnemen. Het proces waarbij ammonium en zuurstof worden omgezet in (onder andere) nitriet, dat vervolgens met zuurstof wordt omgezet in nitraat, heet **nitrificatie**. De nitriet- en de nitraatbacteriën noem je samen nitrificerende bacteriën.

Bij de vorming van nitraationen uit ammoniumionen hebben nitrificerende bacteriën zuurstof (O_2) nodig, het zijn aerobe bacteriën. In een zuurstofarme bodem zijn denitrificerende bacteriën actief. Deze anaerobe bacteriën gebruiken geen zuurstof bij de afbraak van organische stoffen, maar nitraationen (NO_3^-). Ze zetten nitraationen uit de bodem om in gasvormige stikstof die in de lucht verdwijnt en in zuurstof die deels door de wortels wordt opgenomen. Dit proces heet **denitrificatie**. Hierdoor neemt de hoeveelheid stikstofhoudende ionen in de bodem af: de grond wordt stikstofarm. Veel planten groeien niet goed op een stikstofarme bodem. Maar sommige planten hebben baat bij een stikstofarme bodem. Dan worden ze niet weggeconcentreerd.

STIKSTOFBINDING

In de bodem komen bacteriën voor die stikstof uit de lucht kunnen gebruiken voor hun stofwisseling. Deze bacteriën bezitten het enzym nitrogenase, dat stikstofmoleculen (N_2) kan splitsen in twee stikstofatomen (N). De vrijkomende stikstofatomen binden aan waterstofatomen (H), waardoor ammoniak (NH_3) en ammoniumionen (NH_4^+) ontstaan. Dit proces noem je **stikstofbinding** of stikstoffixatie. De stikstofbindende bacteriën produceren meer NH_4^+ dan ze voor hun eigen stofwisseling nodig hebben. Het overschot aan ammoniumionen kan na nitrificatie worden gebruikt voor de opbouw van aminozuren door planten. Stikstofbinding in deze organismen kan alleen plaatsvinden onder anaerobe omstandigheden.

Er zijn bacteriën die ook in een zuurstofrijke omgeving stikstof kunnen binden, bijvoorbeeld cyanobacteriën. Deze hebben aparte compartimenten (heterocysten), waarin ze anaerobe omstandigheden creëren. Daarin vindt stikstofbinding plaats. Knolletjesbacteriën zijn stikstofbindende bacteriën van het geslacht *Rhizobium*. Deze bacteriën komen vooral voor in wortelknolletjes van vlinderbloemige planten zoals erwten, bonen, klaver, luzerne en lupine (zie afbeelding 7). De bacteriën krijgen van de planten organische stoffen zoals glucose voor hun stofwisseling en ze geven op hun beurt de planten ammoniumionen of aminozuren. Dankzij de knolletjesbacteriën kunnen deze planten groeien op stikstofarme grond.

Bij onweer reageert gasvormig stikstof met ozon (O_3), waarbij nitraat ontstaat, de zogenoemde fotochemische stikstofbinding.

■ **Afb. 7** Wortelstelsel met wortelknolletjes.



Naast deze natuurlijke stikstofbinding, nodig om de kringloop in stand te houden, zorgt menselijk toedoen ook voor stikstofbinding. Vooral de industrie en het verkeer veroorzaken een hoge afgifte van stikstofoxiden (NO_x) aan de lucht, doordat stikstof bij hoge temperaturen (bijvoorbeeld in een verbrandingsmotor) reageert met zuurstof.

ANDERE KRINGLOPEN

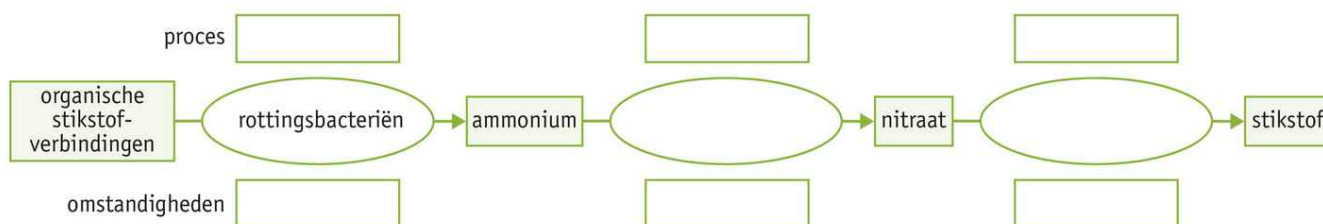
De kringlopen van andere elementen zoals fosfor, zwavel, kalium of ijzer, beginnen ook met de opname van het mineraal uit de bodem, gevolgd door assimilatie (inbouw in een organisch molecuul).

Opdrachten KENNIS



- 5 Bij de vorming van stikstof uit organische stoffen in de bodem spelen verschillende bacteriën, processen en omstandigheden een rol. Vul het schema van afbeelding 8 in. Kies uit: *aeroob* – *ammonificatie* – *anaeroob* – *denitrificatie* – *denitrificerende bacteriën* – *nitrificatie* – *nitrificerende bacteriën* – *rottingsbacteriën*.

■ **Afb. 8** De vorming van stikstof uit organische stoffen in de bodem.



- 6 De Nederlandse regering wil de stikstofuitstoot drastisch verlagen, vooral rond natuurgebieden. Stikstofmaatregelen kun je nemen voor de industrie, de bouw, het verkeer, de landbouw en de veeteelt.
- Over welke vorm van stikstof wordt gesproken als het gaat om een vermindering van de stikstofuitstoot door de boerensector?
 - Zou denitrificatie een oplossing kunnen zijn om de stikstofuitstoot van landbouwbedrijven tegen te gaan? Leg uit waarom wel of waarom niet.
- 7 In diverse Nederlandse natuurgebieden wordt gewerkt aan natuurherstel. Toen de waterkwaliteit verbeterde, kwam in natuurgebied de Nieuwkoopse Plassen het blaasjeskruid terug: een vleesetende waterplant.
- Hoe komt het blaasjeskruid aan stikstofverbindingen?
 - Door de natuurherstellende maatregelen is het water weer stikstofarm geworden. Hierdoor heeft het blaasjeskruid zo'n sterke comeback kunnen maken. Leg dit uit.

Opdrachten INZICHT

- 8 Voor de bossen op zandgronden vormen de strooisellaag en de bovenste bodemlagen een belangrijke opslag voor koolstof. De koolstofgehalten zijn het hoogst in de strooisellaag. Daaronder neemt het koolstofgehalte in de bovenste bodemlagen steeds verder af naarmate je dieper in de bodem komt.
Leg uit waarom het koolstofgehalte in de strooisellaag hoger is dan in de bovenste bodemlagen.
- 9 Bij de verbranding van snoeiafval komt koolstofdioxide vrij. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komt ook koolstofdioxide vrij.
Beredeneer waarom de verbranding van snoeiafval niet tot een toename van de hoeveelheid koolstofdioxide in de lucht leidt en de verbranding van fossiele brandstoffen wel.
- 10 In de landbouw worden allerlei maatregelen genomen om de oogst te verhogen. Na het oogsten van gewassen blijft de bodem stikstofarm achter. Een oplossing is de bemesting van de grond met drijfmest. Drijfmest bestaat uit dode resten van planten (hooi en stro) en uitwerpselen en urine van dieren. Boeren kunnen ook kiezen voor bemesting met kunstmest.
 - a Licht aan de hand van de koolstofcyclus toe of bemesting met kunstmest beter of slechter is voor het milieu.
 - b Een andere maatregel in combinatie met bemesting is het omploegen van de bodem in het voorjaar. Beredeneer waarom dit goed is voor de vorming van nitraat.
- 11 Door een daling van de grondwaterstand kan er meer lucht doordringen in een bodem. Op veengronden kan dit leiden tot de vorming van nitraat. Deze mineralisatie kan oplopen tot honderden kilogram stikstof per hectare per jaar. Verhoging van de grondwaterstand in veengebieden kan bijdragen aan de vermindering van de mineralisatie, zodat het nitraatgehalte van de bodem gelijk blijft of zelfs daalt.
Leg uit hoe een verhoging van de grondwaterstand in veengebieden op twee manieren kan leiden tot vermindering van het nitraatgehalte van veengronden. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 93G.
- 12 Tijdens sommige evenementen wordt urine ingezameld en gerecycled tot kunstmest. In urine zit veel fosfaat, dat nu nog in mijnen wordt gewonnen. Over vijftig jaar zijn deze mijnen leeg.
 - a Fosfaat is nodig voor de groei van gewassen. Voor de vorming van welke organische moleculen wordt fosfaat vooral gebruikt? Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 91D.
 - b Leg uit dat met het terugwinnen van fosfaat uit urine de fosfaatkringloop wordt gesloten.

The diagram illustrates the nitrogen cycle in the Netherlands, showing the flow of nitrogen from various sources through the food chain and environment. The cycle is represented by a series of boxes connected by arrows, with numerical values indicating the amount of nitrogen in kg N/ha.

Inputs and Processes:

- denitrificatie N_2, N_2O** : 5 kg N/ha (output from soil).
- atmosferische afzetting**: 10 kg N/ha (input to soil).
- biofixatie N_2** : 35 kg N/ha (input to food crops).
- verdamping NH_3** : 5 kg N/ha (output from food crops).
- verbranding NO_x** : 10 kg N/ha (output from fuel).

Flow and Storage:

- anorganische N in bodem**: 80 kg N/ha (input from food crops), 5 kg N/ha (output to green manure), 15 kg N/ha (output to organic N in soil), 5 kg N/ha (output to surface water).
- voedselgewassen**: 60 kg N/ha (input from food crops), 50 kg N/ha (output to harvest residues), 5 kg N/ha (output to organic N in soil), 5 kg N/ha (output to feed and straw).
- voedsel**: 65 kg N/ha (input from food crops), 10 kg N/ha (output to humans), 35 kg N/ha (output to pigs and poultry).
- groenbemesting**: 40 kg N/ha (input from organic N in soil), 5 kg N/ha (output to organic N in soil).
- oogstresten**: 35 kg N/ha (input from harvest residues), 5 kg N/ha (output to feed and straw).
- organische N in bodem**: 5 kg N/ha (input from organic N in soil), 5 kg N/ha (output to surface water).
- diervoer en ligstro**: 35 kg N/ha (input from feed and straw), 5 kg N/ha (output to pigs and poultry).
- mensen**: 10 kg N/ha (input from food), 30 kg N/ha (output to excrement).
- varkens en pluimvee**: 35 kg N/ha (input from feed and straw), 65 kg N/ha (output to excrement).
- brandstof**: 10 kg N/ha (input from food), 10 kg N/ha (output to excrement).
- mest en menselijke uitwerpselen**: 30 kg N/ha (input from human excrement), 65 kg N/ha (input from animal excrement), 5 kg N/ha (output to surface water).
- oppervlaktewater**: 5 kg N/ha (input from surface water), 5 kg N/ha (output to denitrification).

Vier geïsoleerde stammen (A-D) van bodembacteriën werden onderzocht op hun invloed op de stikstofkringloop. Elke stam werd gekweekt op vier verschillende voedingsbodems: (1) pepton (korte polypeptiden), (2) ammonium, (3) nitraat en (4) nitriet. Alleen de nitraatvoedingsbodem bevat een koolhydraat als koolstofbron. Na een incubatietijd van zeven dagen werden de bacterieculturen biochemisch onderzocht op veranderingen. De resultaten zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1

Nr.	Voedingsbodem	Stam			
		A	B	C	D
1	Pepton	+, pH ⁺	+, pH ⁺	-	-
2	Ammonium	-	-	+, NO ₂ ⁻	-
3	Nitraat (+ koolhydraat)	+, gas	+	-	-
4	Nitriet	-	-	-	+, NO ₃ ⁻

+ = bacteriële groei werd waargenomen

- = bacteriële groei werd niet waargenomen

pH⁺ = pH is gestegen

NO₂⁻ = positief getest op aanwezigheid van nitriet

NO₃⁻ = positief getest op aanwezigheid van nitraat

gas = gasproductie wordt waargenomen

Naar aanleiding van de resultaten worden de volgende beweringen gedaan:

- 1 Bacteriestam A kan bestaan uit bacteriën die nitraat als oxidator gebruiken om energie te produceren.
 - 2 Bacteriestam B behoort tot de denitrificerende bacteriën.
 - 3 Bacteriestam C behoort tot de nitrificerende bacteriën.
 - 4 Bacteriestam C en D behoren tot de heterotrofe bacteriën.
- Geef voor iedere bewering aan of deze juist of onjuist is.



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Wetenschap

EEN TEKORT AAN STIKSTOF

De afgelopen 150 jaar is de CO_2 -concentratie van de atmosfeer door menselijk handelen met 50% toegenomen. Veel planten groeien harder door de hoge uitstoot van dit broeikasgas, maar de hoeveelheid van andere beschikbare voedingsstoffen blijft gelijk. Dit resulteert erin dat de weefsels van deze planten relatief minder stikstof bevatten (zie afbeelding 10). Dit blijkt uit een publicatie van een Amerikaans onderzoek in het wetenschappelijke tijdschrift *Science*. In delen van Europa, Centraal-Azië en het zuiden van Afrika is er een dalende trend in de concentratie stikstof in bladeren. De onderzoekers concluderen dat dit op de lange termijn schadelijk kan zijn voor natuurlijke ecosystemen. Het heeft gevolgen voor de biodiversiteit, want het relatieve stikstoftekort kan leiden tot een afname van populaties van insecten en andere planteneters.

De wetenschappers geven aan dat de uitkomst van hun onderzoek opvallend is, omdat momenteel de meeste aandacht uitgaat naar stikstofoverschotten en de daaruit voortvloeiende stikstofvervuiling. Denk maar aan de stikstofproblematiek in Nederland, waar juist een overmaat aan stikstof, veroorzaakt door verkeer, landbouw en industrie, natuurgebieden aantast en een grote oorzaak is van verlies aan biodiversiteit. Zo bestaan er dus tegelijkertijd twee tegengestelde stikstofproblemen.

De voor de hand liggende oplossing om stikstof meer over de aarde te verspreiden, raden de wetenschappers niet aan. Niet een stikstoftekort, maar de hoge concentratie CO_2 in de atmosfeer is het probleem en dat moet worden aangepakt. Zomaar ingrijpen in ecosystemen zonder dat je de gevolgen begrijpt, is gevaarlijk. Toch zou volgens de wetenschappers de toevoeging van extra stikstof aan de onderzochte natuurgebieden in theorie wel voordelig kunnen zijn.

■ **Afb. 10** Bladeren met een gelige kleur wijzen op een stikstoftekort.



Opdrachten

- 15 **a** De studie lijkt een 'tekort' aan stikstof aan te tonen, maar dat is in feite niet juist. Leg uit waarom de onderzoekers in hun studie spreken over een 'relatief tekort aan beschikbare stikstof' in de onderzochte gebieden en niet over een 'stikstoftekort'.
 - b** Volgens de onderzoekers kan dit tekort aan beschikbare stikstof leiden tot een afname van de populaties planteneters in deze gebieden. Licht toe hoe dit kan gebeuren.
 - c** Welk gevolg kan dit verder hebben voor de voedselketen?
- 16 Zomaar stikstof toevoegen aan de stikstofarme gebieden is niet aan te raden volgens de wetenschappers. Maar het zorgt wel voor voedzamere bladeren voor planteneters.
 - a** Het toevoegen van stikstof kan ook leiden tot een verlaging van de hoeveelheid CO_2 in de lucht. Leg dit uit.
 - b** Andere onderzoeken die de effecten van bemesting met alleen stikstof in bossen in kaart brachten, lieten maar weinig effecten op de groei zien. Wat is de meest voor de hand liggende verklaring hiervoor?

2 VOEDSELPRODUCTIE

LEERDOELEN

- 6.2.1** Je kunt de oorzaken en gevolgen van eutrofiëring van water uitleggen en mogelijke oplossingen hiervoor aandragen.
- 6.2.2** Je kunt uitleggen op welke manieren een optimale productie van voedsel kan worden verkregen en wat de eventuele gevolgen hiervan voor de natuur zijn.
- 6.2.3** Je kunt de verschillen in de wijze van voedselproductie in de gangbare en de biologische landbouw beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	6.2.1	6.2.2	6.2.3
Begrijpen	17	18, 19, 20cd	20ab, 21, 22
Toepassen	26, 28ab	27a	23
Analyseren	25b, 28cde	25a, 27bc	24

De Britse econoom Malthus voorspelde rond 1800 hongersnood op grote schaal, doordat de groei van de wereldbevolking groter was dan de groei van de voedselproductie. Door de intensivering van de landbouw groeide de voedselproductie uiteindelijk relatief sneller dan de bevolking.

EFFECTEN VAN VOEDSELPRODUCTIE OP HET MILIEU

De focus van de Nederlandse landbouw lag lang op het produceren van zoveel mogelijk voedsel tegen zo laag mogelijke kosten. Met succes, Nederland is de tweede voedselexporteur ter wereld. Maar door de intensieve landbouw raakt de bodem uitgeput, neemt de biodiversiteit af en verslechtert onze leefomgeving. Landbouw, waarbij je zoveel mogelijk rekening houdt met de natuur, kan hier verandering in brengen.

Om de sterk groeiende wereldbevolking te kunnen blijven voeden, is er steeds meer voedsel nodig. Manieren om de **voedselproductie** te verhogen zijn:

- bemesting
- bescherming van landbouwgewassen en landbouwhuisdieren tegen ziekten en plagen
- aanpassing van de erfelijke eigenschappen van landbouwgewassen en landbouwhuisdieren

BEMESTING

Planten nemen water en voedingszouten op uit de bodem. Voedingszouten zijn anorganische stoffen (onder andere nitraat, fosfaat, sulfaat, natrium, kalium en calcium) die planten gebruiken als voedingsstoffen. Door de oogst van voedingsgewassen en door uitspoeling verdwijnen deze anorganische stoffen uit de kringloop van stoffen op landbouwgrond. Door **uitspoeling** zakken anorganische stoffen met het regenwater weg naar diepere lagen.

Door bemesting voegen boeren weer voedingszouten toe aan de bovenste bodemlagen van landbouwgrond. Hiervoor gebruiken ze kunstmest of drijfmest. Kunstmest bestaat vooral uit stikstofhoudende anorganische stoffen (onder andere nitraat) en fosfaat. De anorganische stoffen kunnen direct door voedingsgewassen worden opgenomen.

Drijfmest bestaat uit uitwerpselen en urine van dieren, vermengd met stro. Reducenten (bacteriën en schimmels) in de bodem breken de organische stoffen in drijfmest af tot anorganische stoffen. De anorganische stoffen kunnen door voedingsgewassen worden opgenomen en gebruikt bij het maken van organische stoffen (de voortgezette assimilatie).

In de intensieve veehouderij wordt veel meer mest geproduceerd dan de boeren zelf nodig hebben voor bemesting van hun land. Hierdoor ontstaat een mestoverschot. Als meer mest op het land wordt uitgereden dan de planten kunnen opnemen, noem je dat overbemesting. In de biologische landbouw krijgen planten niet meer mest dan ze kunnen opnemen en wordt geen kunstmest gebruikt.

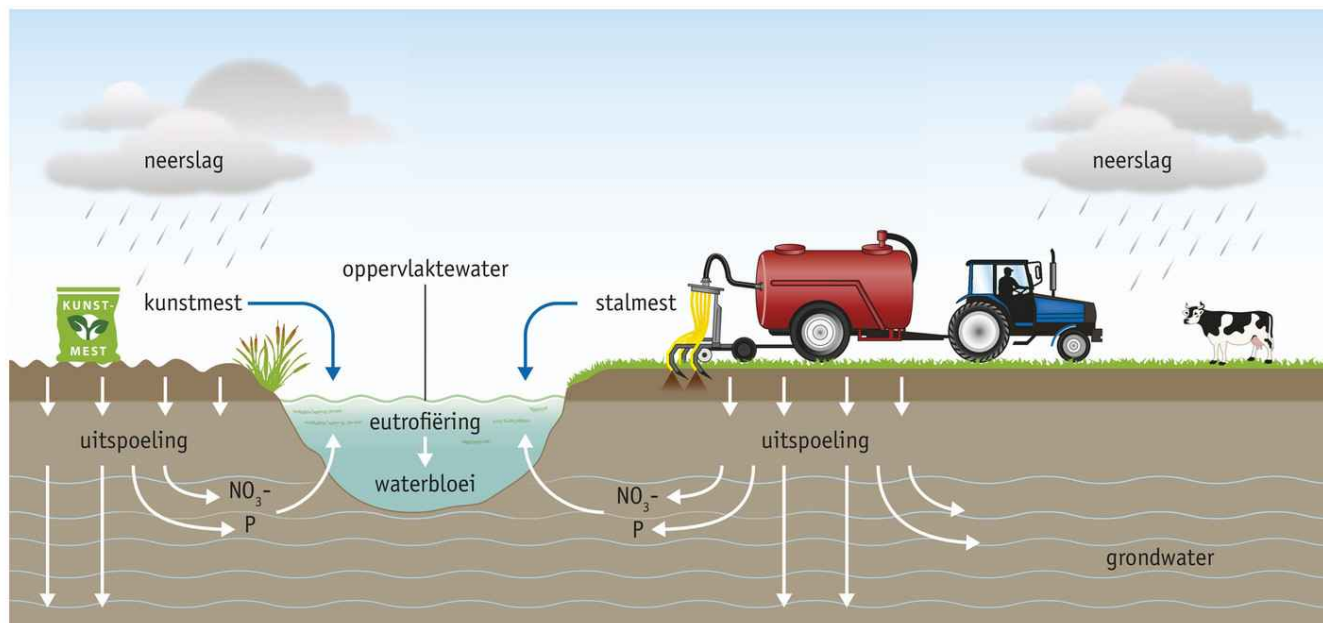
EUTROFIËRING

In het oppervlaktewater (het water in sloten, rivieren, kanalen en de bovenste lagen van zeeën en oceanen) blijven dode resten van planten en dieren achter. Reducenten zetten deze organische stoffen om in anorganische stoffen. Dit noem je het zelfreinigend vermogen van water. De anorganische stoffen worden door producenten in het water gebruikt bij de opbouw van organische stoffen. In stabiele zoetwaterecosystemen is de productie van organische stoffen in evenwicht met de afbraak.

Bij (over)bemesting met drijfmest spoelt een deel van de mest met de regen van het land af en komt terecht in het oppervlaktewater. Door afbraak van de organische stoffen in de drijfmest neemt de hoeveelheid anorganische stoffen (onder andere fosfaat (PO_4^{3-}) en nitraat (NO_3^-) in het water sterk toe. De anorganische stoffen die vrijkomen door de afbraak van drijfmest in de bodem spoelen uit naar het grondwater en kunnen via het grondwater in het oppervlaktewater terechtkomen (zie afbeelding 11). Ook bij gebruik van kunstmest kunnen door uitspoeling anorganische stoffen in het oppervlaktewater terechtkomen. Water met veel van deze anorganische stoffen is voedselrijk ofwel eutroof. Als de hoeveelheid fosfaat en nitraat in het water sterk toeneemt, noem je dat **eutrofiëring**.

De Europese Unie heeft als doel gesteld om de hoeveelheid van deze voedingszouten die door uitspoeling in de omgeving terechtkomt, in 2030 ten minste te halveren. Mestoverschotten bij de intensieve veehouderij moeten worden voorkomen en er mag minder bemesting van landbouwgrond plaatsvinden. Ook andere oorzaken van eutrofiëring, zoals lozing van industrieel of huishoudelijk afvalwater, dienen te worden aangepakt.

■ **Afb. 11** Door overbemesting komen er meer anorganische stoffen in het oppervlaktewater.



WATERBLOEI

Als gevolg van eutrofiëring van oppervlaktewater kunnen sommige soorten waterplanten, bijvoorbeeld algen, zich enorm uitbreiden. Door een sterke algengroei krijgt het water een groene kleur. Dit verschijnsel heet waterbloei (zie afbeelding 12). Vooral een hoge concentratie fosfaat en nitraat veroorzaakt waterbloei.

Door de grote toename van algen en door de sterke uitbreiding van drijvende waterplanten zoals eendenkroos, dringt licht minder ver door in het water. Door dit gebrek aan licht voor de fotosynthese sterven veel planten die onder water leven. Algen leven betrekkelijk kort en gaan in grote aantallen tegelijk dood. Samen met de afgestorven waterplanten veroorzaakt deze massale algensterfte een flinke toename in de hoeveelheid organisch materiaal (dode resten). Hierdoor zullen reducenten in het water zich snel vermeerderen. Doordat de reducenten veel zuurstof verbruiken bij de mineralisatie (afbraak van organische stoffen), bevat het water minder zuurstof. Daardoor sterven waterdieren, vooral vissen. Dit leidt tot nog meer organische afvalstoffen, nog meer reducenten en nog minder zuurstof. Uiteindelijk ontstaat water waarin vrijwel geen planten, dieren en reducenten meer voorkomen.

■ **Afb. 12** Waterbloei.



BESCHERMING TEGEN ZIEKTEN EN PLAGEN

Voedingsgewassen worden vaak verbouwd in monocultuur (zie afbeelding 13). Dat wil zeggen dat op een groot landbouwareaal één soort gewas wordt geteeld. Monoculturen maken een efficiënte bewerking van het land mogelijk. Monoculturen vergroten echter ook de kans op plagen, doordat er een groot voedselaanbod is. Bovendien kunnen ziekten van het gewas zich sneller uitbreiden. Plantenziekten en vraat door organismen (bijvoorbeeld insecten) kunnen de opbrengst van voedingsgewassen sterk verminderen (zie afbeelding 14). Gewassen kun je tegen ziekten en plagen beschermen met chemische **bestrijdingsmiddelen**, door mechanische bestrijding of op een biologische manier.

■ **Afb. 13** Monocultuur.



■ **Afb. 14** Een rupsenplaag bedreigt de oogst van broccoli.



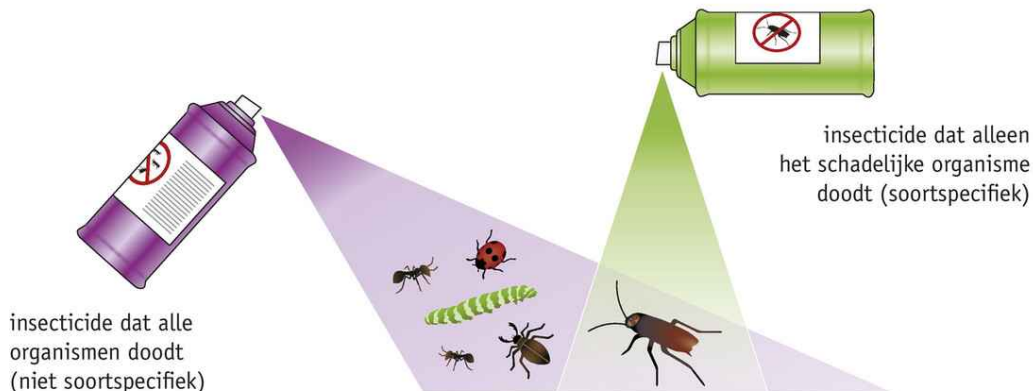
CHEMISCHE BESTRIJDING

Chemische bestrijdingsmiddelen in het algemeen heten pesticiden. Middelen voor de bestrijding van insecten zijn insecticiden en middelen om onkruid te bestrijden zijn herbiciden.

Chemische bestrijdingsmiddelen hebben als voordeel dat ze effectief zijn. Ziekten en plagen kun je met chemische bestrijdingsmiddelen meestal goed bestrijden. Om die reden gebruiken veel boeren ze.

Chemische bestrijdingsmiddelen hebben ook grote nadelen. Sommige pesticiden zijn niet soortspecifiek, ze doden niet alleen de organismen die de plaag veroorzaken (zie afbeelding 15). Een ander nadeel is dat de soort die wordt bestreden, **resistent** (ongevoelig) kan worden tegen het bestrijdingsmiddel. Resistentie ontstaat vooral bij soorten die zich snel voortplanten, zoals de meeste plaagorganismen.

■ **Afb. 15** Soortspecifiek en niet-soortspecifiek.

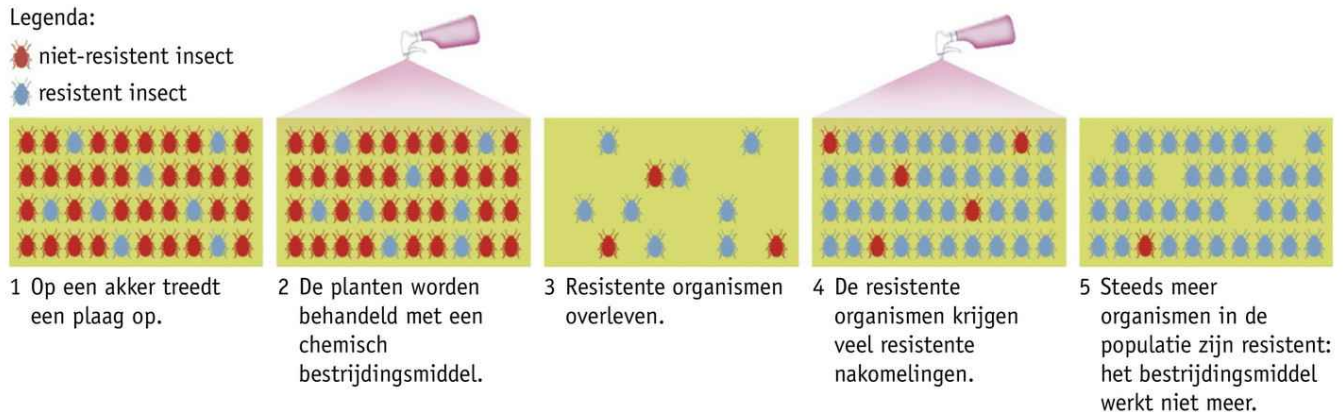


In veel populaties komen individuen voor met gemuteerde genen, waardoor ze resistent zijn tegen het gebruikte pesticide. Resistentie berust dus op erfelijke aanleg. Vooral de resistente individuen overleven en planten zich voort, zodat er na een aantal generaties een resistente populatie is en er een nieuwe plaag optreedt (zie afbeelding 16). Om deze plaag te bestrijden, moet je dan een hogere concentratie van het pesticide gebruiken, of een ander pesticide.

■ **Afb. 16** Het ontstaan van resistentie tegen een chemisch bestrijdingsmiddel.

Legenda:

- niet-resistent insect
- resistent insect



Sommige pesticiden zijn **persistent**. Dat betekent dat ze niet of zeer langzaam op natuurlijke wijze worden afgebroken. Wanneer dieren bespoten planten eten, krijgen ze ook de resten van pesticiden in hun lichaam. Ze slaan pesticiden op, vooral in vetweefsel. Wanneer deze dieren worden gegeten, komen de pesticiden in de volgende schakel van de voedselketen terecht. De biomassa neemt per trofisch niveau af. Als de pesticide niet wordt afgebroken, neemt de concentratie in elke schakel naar verhouding toe. Dit heet **accumulatie** (zie afbeelding 17). Dieren die aan het einde van een voedselketen staan, hebben hierdoor enorm hoge concentraties pesticiden in hun lichaam.

Een deel van de pesticiden kan terechtkomen in sloten en rivieren, waardoor het water wordt vervuild. Een ander deel komt met het regenwater in het grondwater terecht. Drinkwater wordt voor een belangrijk deel opgepompt uit de grond. Daardoor vormen pesticiden een bedreiging voor de kwaliteit van ons drinkwater.

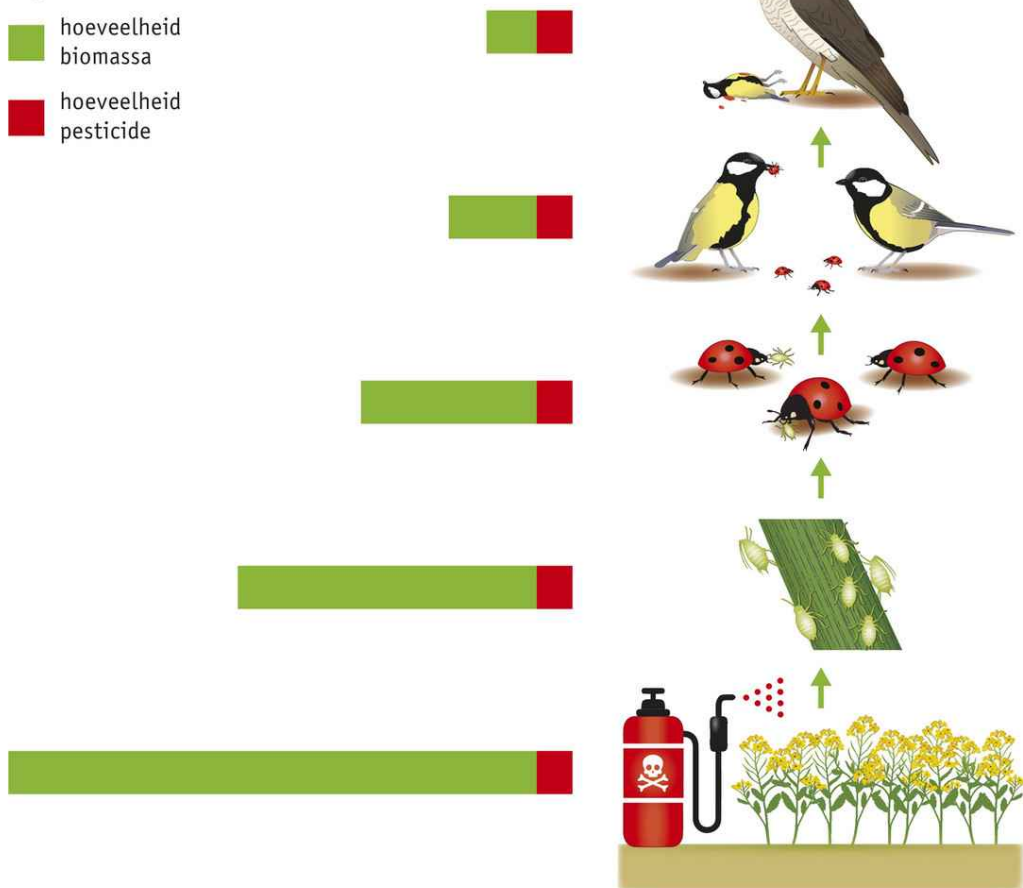
Deze nadelen hebben geleid tot de ontwikkeling van minder schadelijke bestrijdingsmiddelen. Sommige bestrijdingsmiddelen zijn bijvoorbeeld **biologisch afbreekbaar**. Ze kunnen door micro-organismen worden afgebroken en daardoor blijven ze kort in het ecosysteem.

■ **Afb. 17** Accumulatie van een pesticide in een voedselketen.

Legenda:

■ hoeveelheid
biomassa

■ hoeveelheid
pesticide



MECHANISCHE BESTRIJDING

Onkruid kun je mechanisch bestrijden met behulp van werktuigen, machines en gereedschappen. Het voordeel hiervan is dat er minder gifstoffen in de natuur terechtkomen. Handmatige mechanische bestrijding, zoals het wieden van onkruid, heeft als nadeel dat het erg arbeidsintensief is. Het nadeel van machines is dat ze CO₂ uitstoten.

Ook vallen en vogelverschrikkers zijn voorbeelden van mechanische bestrijding van plagen en vraat (zie afbeelding 18). Een nadeel is dat je maar een beperkt aantal dieren kunt vangen of weggagen. Bovendien leren dieren de vallen te vermijden of schrikken ze na een bepaalde tijd door gewenning niet meer van een vogelverschrikker.

■ **Afb. 18** Insectenval.



Opdrachten **KENNIS**

- 17** Uitspoeling kan leiden tot eutrofiëring van oppervlaktewater. Deze eutrofiëring kan soms leiden tot vissterfte, maar in eerste instantie treedt er vooral sterfte van planten op.
- a** Op welke twee manieren ontstaat de enorme toename van dood organisch plantaardig materiaal? Leg je antwoord uit.
 - b** Leg uit waardoor er uiteindelijk ook vissterfte optreedt in een eutrofe plas.
- 18** Een fabriek loosde enige tijd afval met kwik in een meer. Het kwikgehalte in het water werd steeds hoger. Enkele mensen die vis uit het meer hadden gegeten, stierven door vergiftiging. Mensen lopen meer gevaar door het eten van een kilogram met kwik verontreinigde vis uit dit meer dan door het drinken van dezelfde hoeveelheid ongezuiverd water uit het meer. Leg uit hoe dit komt.
- 19** Chemische bestrijdingsmiddelen hebben een slechte naam. Toch worden er tegenwoordig door de chemische industrie ook bestrijdingsmiddelen geproduceerd die veel minder impact op het milieu hebben.
- a** Aan welke drie voorwaarden moeten deze milieuvriendelijkere chemische bestrijdingsmiddelen ten minste voldoen? Leg je antwoord uit.
 - b** Zal de chemische industrie in het algemeen meer kennis nodig hebben voor de productie van een soortspecifiek insecticide of voor de productie van een niet-soortspecifiek insecticide? Leg je antwoord uit.

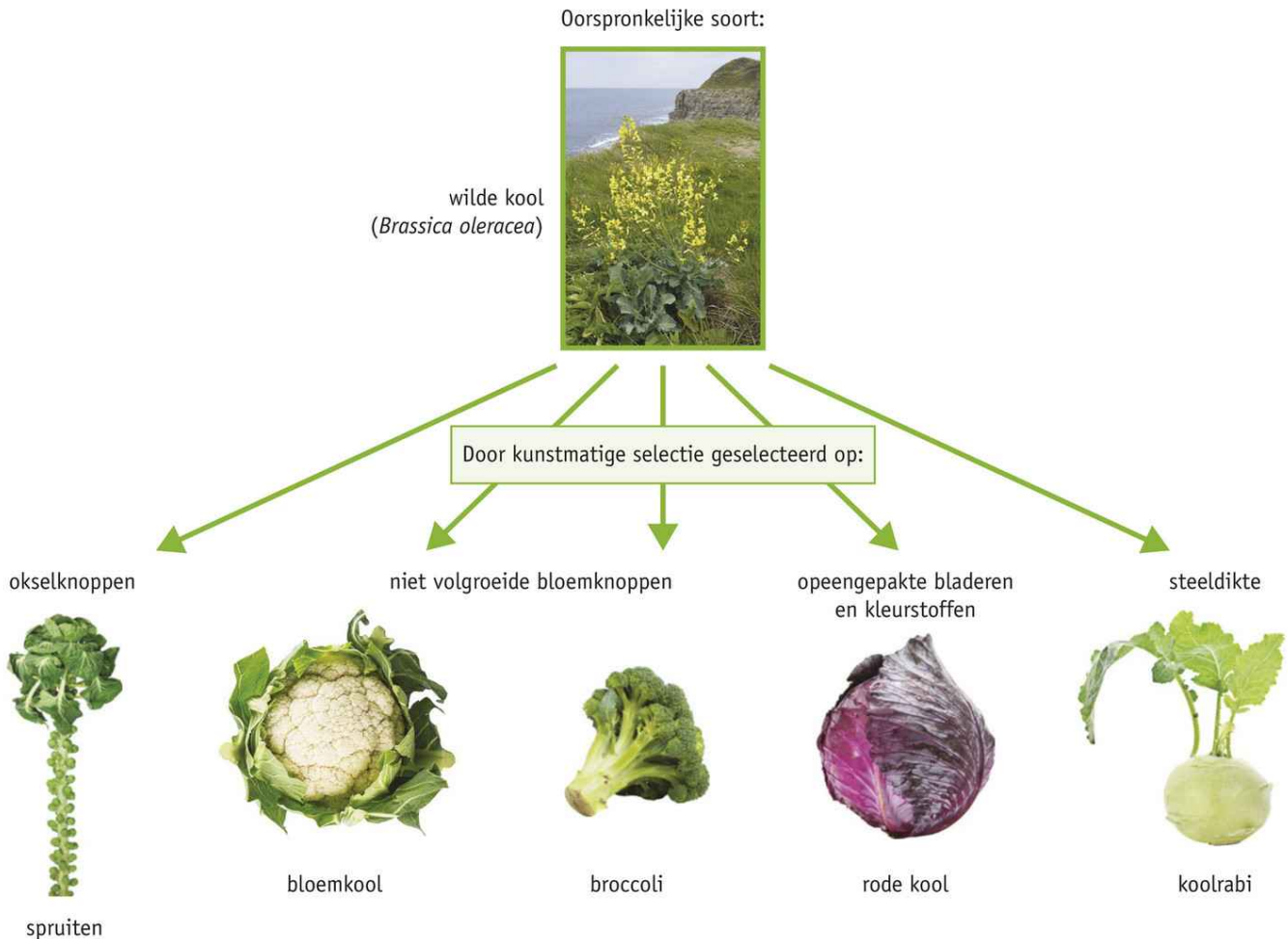
VERANDERING VAN ERFELIJKE EIGENSCHAPPEN

De voedselproductie kun je ook verhogen door **veredeling**. Dat is het veranderen van de erfelijke eigenschappen van voedingsgewassen en landbouwhuisdieren.

In een klassiek veredelingsbedrijf (planten) of fokkerij (dieren) selecteert de veredelaar of fokker individuen met de gewenste eigenschappen en laat deze kruisen. De nakomelingen met de gunstigste erfelijke eigenschappen worden gebruikt om verder te kweken of fokken.

Op deze manier ontstaan steeds betere, 'veredelde' planten of dieren, die bijvoorbeeld een grote vruchtbaarheid, een hoge voedingswaarde of een hoge melkproductie hebben. Door veredeling kunnen ook resistente of nieuwe soorten ontstaan. De verschillende koolgewassen in afbeelding 19 zijn ontstaan doordat veredelaars al eeuwen koolplanten selecteren op eigenschappen die het meest worden gewaardeerd.

■ Afb. 19 Veredeling van kool.



Een andere manier om de genetische eigenschappen van organismen te veranderen, is genetische modificatie. Met behulp van recombinant-DNA-technieken kun je bijvoorbeeld voedingsgewassen resistent maken tegen ziekten en plagen.

Veredeling en genetische modificatie zijn vormen van kunstmatige selectie. Ze leiden net als natuurlijke selectie tot nieuwe soorten, maar de selectie op bepaalde eigenschappen doet de mens, niet de natuur. De eigenschappen waarop wordt geselecteerd bij genetische modificatie of veredeling leiden dan ook niet per se tot een grotere overlevingskans in de natuur.

BIOLOGISCHE LANDBOUW

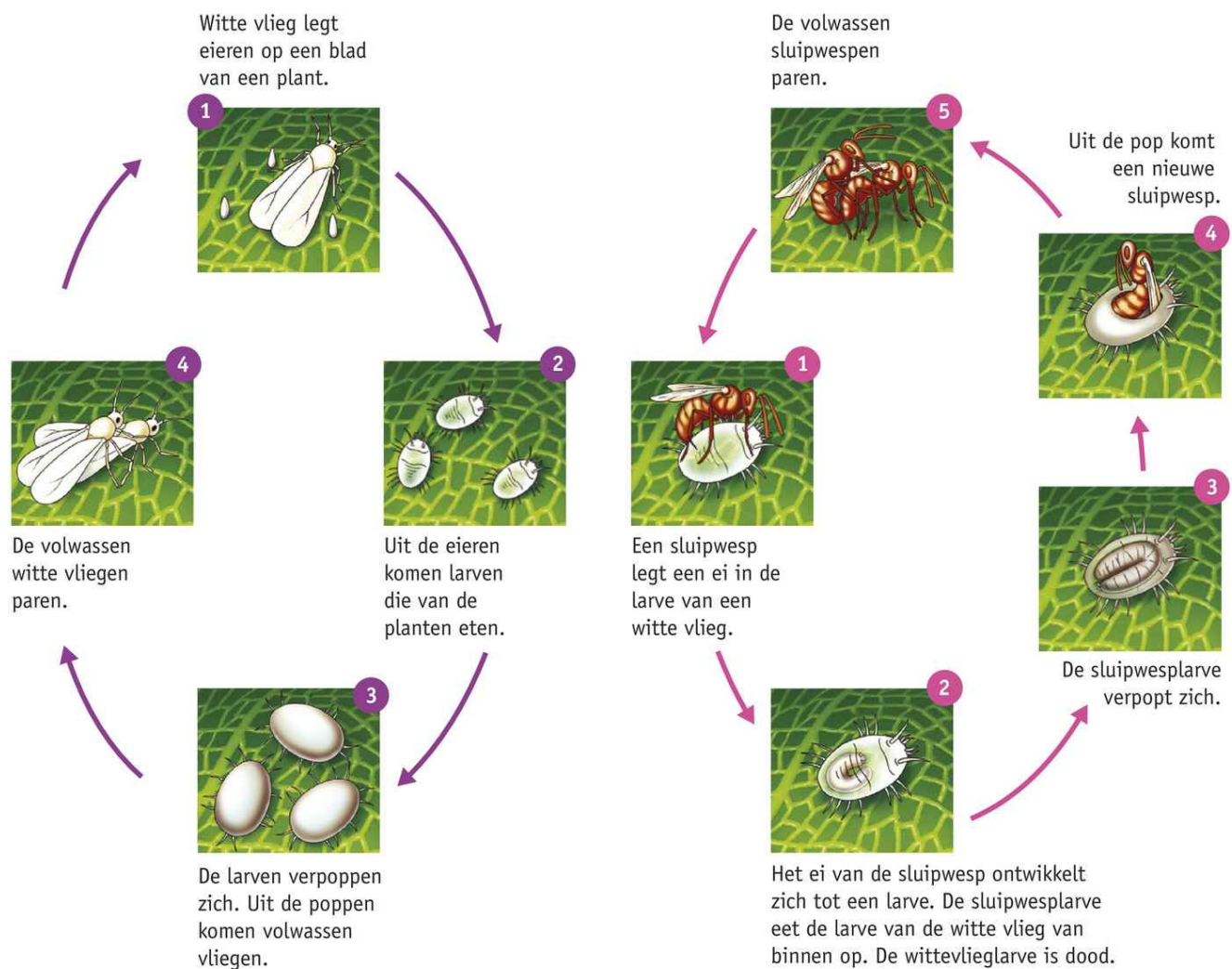
Door de gangbare landbouwmethoden is er in Nederland voldoende voedsel en is het voedsel betaalbaar. De meeste ruimte op het platteland in Nederland is in gebruik voor de landbouw. De vervuiling door bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen hebben geleid tot een enorme afname van de biodiversiteit. Steeds meer boeren schakelen daarom over op duurzame methoden van voedselproductie. Europa heeft als doel om in 2030 25% van de landbouw te vervangen door **biologische landbouw**. Biologische landbouw heeft minder milieunadelen. Producten van de biologische landbouw noem je biologische voedingsmiddelen.

Uiteraard kleven er ook nadelen aan biologische landbouw. De productiviteit is lager, waardoor er meer landbouwgrond nodig is om aan dezelfde vraag naar voedsel te kunnen voldoen. Dit gaat ten koste van de natuur. Daarnaast vraagt de overstap naar biologisch boeren flinke investeringen en zijn er andere vaardigheden en kennis nodig dan bij de intensieve landbouw.

BIOLOGISCHE BESTRIJDING

De biologische landbouw past vooral biologische en mechanische bestrijding toe en gebruikt veel minder chemische bestrijdingsmiddelen. Schadelijke organismen worden vaak bestreden met hun natuurlijke vijanden (predatoren, parasieten of ziekteverwekkers). Een voorbeeld is de bestrijding van witte vlieg met sluipwespen (zie afbeelding 20). Witte vlieg zuigt sappen op uit planten en kan hierdoor grote schade aanrichten bij de teelt van bijvoorbeeld groenten in kassen. Om witte vlieg te bestrijden, worden de poppen van sluipwespen in kassen verspreid of worden volwassen sluipwespen losgelaten.

■ Afb. 20 Biologische bestrijding van witte vlieg met sluipwespen.



Een andere manier in de biologische landbouw om plantenziekten en plagen te voorkomen, is het toepassen van wisselteelt, ook wel vruchtwisseling genoemd. Vruchtwisseling houdt in dat je nooit twee jaar achtereenvolgend hetzelfde gewas op een bepaald stuk grond verbouwt.

Biologische akker- en tuinbouw:

- heeft meer ruimte nodig dan gangbare landbouw.
- maakt geen gebruik van kunstmest.
- bemest niet meer dan planten kunnen opnemen.
- past geen monoculturen toe.
- gebruikt vooral natuurlijke bestrijdingsmiddelen.

Voedingsgewassen worden beschermd tegen ziekten en plagen door:

- toepassen van wisselteelt (meestal een zesjarig vruchtwisselingsschema).
- verschillende soorten voedingsgewassen op kleine stukken grond.
- bestrijding van insectenplagen met natuurlijke vijanden.

Biologische veehouderij:

- geeft dieren biologisch geteeld veevoer.
- houdt rekening met het welzijn van de dieren.
- gebruikt diergeneesmiddelen pas als een dier ziek is.

OVERBEVISSING

Het overgrote deel van de aarde bestaat uit water. De biodiversiteit in zeeën en oceanen is enorm en uiteraard maakt de mens hier voor de voedselvoorziening gebruik van. De afgelopen vijftig jaar is de vraag naar vis verdubbeld en om aan die vraag te voldoen, is de visvangst ook veel grootschaliger geworden. Hierdoor wordt er nu te veel gevestigd op veel soorten vis. Als er meer vis wordt gevestigd dan er door natuurlijke aanwas bijkomt, noem je dat **overbevinging**. Daarnaast vindt er vaak bijvangst plaats, onbedoeld belanden ook andere diersoorten in de netten of lijnen. Het leefgebied van organismen kan beschadigd raken door schadelijke vangsttechnieken zoals het gebruik van sleepnetten of dynamiet. De visserij is daarmee een van de belangrijkste oorzaken van de afname van biodiversiteit en aantasting van ecosystemen in de oceanen.

Opdrachten

KENNIS

- 20 Als een boer meerdere jaren achtereenvolgend aardappelen op dezelfde akker verbouwt, treedt aardappelmoeheid op. Bij deze ziekte tasten microscopisch kleine parasitaire rondwormen (aardappelmoeheidscysten) de wortels van aardappelplanten aan, waardoor een deel van de oogst verloren gaat. Chemische bestrijding is niet toegestaan.
 - a Leg uit hoe een boer aardappelmoeheid kan voorkomen door wisselteelt toe te passen.
 - b Na de oogst van de aardappelen blijven eitjes van de rondwormen achter in de bodem. De eitjes kunnen lange tijd overleven en komen pas uit als ze worden geactiveerd door een stof die wordt uitgescheiden door groeiende aardappelplanten. Leg uit waarom boeren het advies krijgen om minimaal drie jaar te wachten voordat ze op hetzelfde stuk land weer aardappelen telen.
 - c Er bestaan aardappelrassen die beter resistent zijn tegen aardappelmoeheidscysten. Waarom duurt het via klassieke veredeling vaak jaren om een resistent aardappelras te krijgen?
 - d Genetische modificatie is sneller. Welk gen of welke genen zou je op basis van de eerder verstrekte informatie kunnen modificeren om infectie van aardappelplanten te voorkomen?

- 21 In de biologische landbouw is het gebruik van kunstmest verboden en het gebruik van drijfmest aan banden gelegd. Daarom wordt vaak gebruikgemaakt van zogenaamde groenbemesting, liefst met vlinderbloemige planten. De planten worden ingezaaid wanneer het land braak ligt, vaak in de periode na de oogst. Voor het inzaaien van de productiegewassen plaatsvindt, worden de groenbemesters ondergeploegd.
Leg uit waarom je dit groenbemesting noemt.
- 22 Over het algemeen wordt er iets anders bedoeld met het gebruik van biologische bestrijdingsmiddelen dan met de term biologische bestrijding.
Leg uit wat het verschil is.

Opdrachten INZICHT

- 23 Een voorbeeld van biologische bestrijding die veelvuldig in de glastuinbouw tegen een spintmijtplaag wordt gebruikt, zijn de roofmijten *Phytoseiulus persimilis* en *Amblyseius californicus*. Spintmijten (zie afbeelding 21) zorgen in alle stadia voor schade aan planten. De larven, nimfen en volwassen spintmijten penetreren het plantweefsel aan de onderkant van de bladeren. Bij ernstige aantasting kan uiteindelijk de hele plant doodgaan.
- a *Phytoseiulus persimilis* is de meest ingezette natuurlijke vijand en voedt zich met alle stadia van de spintmijt. Leg uit hoe het komt dat er bij bestrijding van de spintmijt met *Phytoseiulus persimilis* geen kans bestaat op het ontstaan van een plaag van deze roofmijt.
 - b *Amblyseius californicus* voedt zich ook met alle stadia van de spintmijt, met een voorkeur voor eieren, larven en nimfen. In tegenstelling tot de *Phytoseiulus* kan hij zich ook voeden met het stuifmeel van planten, indien nodig.
Leg uit waarom je deze roofmijt ook preventief kunt inzetten bij de bestrijding van spintmijt.
 - c Leg uit waarom inzet van deze natuurlijke vijanden vooral geschikt is voor de glastuinbouw (de teelt van gewassen in kassen).

■ **Afb. 21** Spintmijtplaag op tomaat.



- 24** Bij de bestrijding van sommige insectensoorten worden feromonen gebruikt. Met behulp van feromonen worden in de paringstijd de mannetjesinsecten gelokt en gevangen. Een mannetje kan met veel vrouwtjes paren. Vrouwtjes die eenmaal hebben gepaard, verliezen hun belangstelling voor mannetjes. Er zijn twee maatregelen mogelijk: je kunt de gevangen mannetjes doden of ze onvruchtbaar maken en vervolgens weer in hetzelfde gebied loslaten.
Welke maatregel zal het aantal insecten in de volgende generatie het sterkst beperken? Leg je antwoord uit.
- 25** Onderzoekers zijn erin geslaagd de rijstproductie op een rijstveld door middel van genetische modificatie tot 40% te verhogen. Door het toevoegen van een extra kopie van een bepaald gen (coderend voor een transcriptiefactor) groeit de plant sneller en produceert hij meer rijstkorrels. De onderzoekers vertellen hoe belangrijk dergelijke oplossingen zijn om te voldoen aan de stijgende vraag naar voedsel zonder de aarde nog meer te belasten.
- a** Tegenstanders van genetische modificatie zijn bang dat de gentechgewassen schade toebrengen aan mens en milieu. Geef een ecologisch argument tegen genetische modificatie.
 - b** De conclusie van de wetenschappers is dat hun genetisch gemodificeerde rijstplanten meer opbrengen, doordat ze in staat zijn tot een efficiëntere stikstofopname, zelfs op een stikstofarme bodem.
Stel dat de genetische modificatie breed inzetbaar is bij andere voedselgewassen. Hoe zou deze modificatie dan kunnen bijdragen aan een vermindering van een ander probleem zoals uitspoeling? Leg je antwoord uit.
- 26** Intensieve bemesting kan leiden tot uitspoeling van mineralen. Uit onderzoek blijkt de mate waarin dat gebeurt te verschillen tussen grondsoorten.
Twee verschillende grondsoorten zijn klei en zand. Bij welke grondsoort verwacht je meer uitspoeling? Verklaar dit aan de hand van de structuur van de bodem.

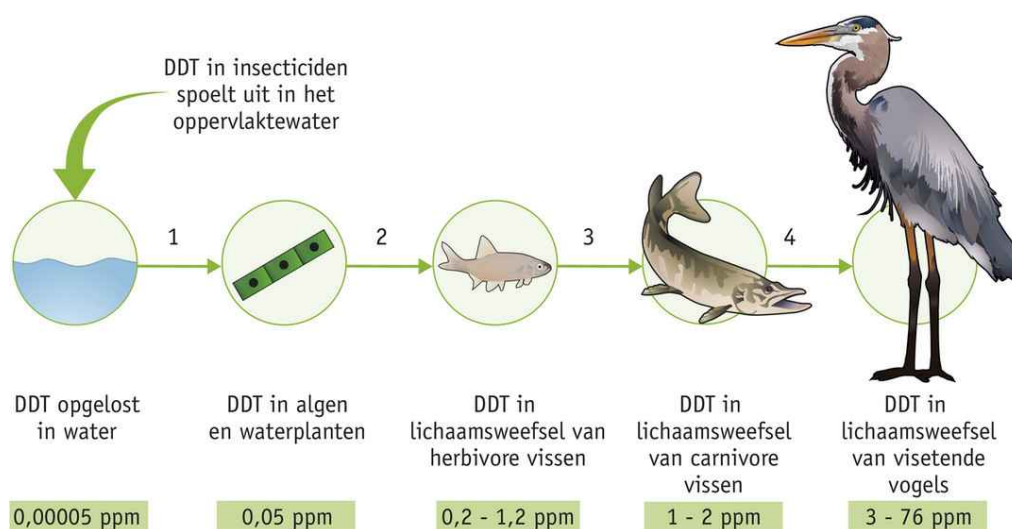


27 DDT in voedselketen

Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2012, vraag 6.

In afbeelding 22 is de ophoping van het insecticide DDT (dichloordifenyiltrichloorethaan, concentratie is gegeven in ppm) in een voedselketen weergegeven.
De vier stappen in de voedselketen zijn genummerd.

■ Afb. 22 Ophoping van DDT in een voedselketen.



- a Is uit deze gegevens in afbeelding 22 op te maken bij welke stap de relatieve accumulatie van DDT het grootst is? Zo ja, in welke stap is dit het geval? Licht je antwoord toe.
- b DDT werd vanaf het begin van de Tweede Wereldoorlog gebruikt als bijzonder effectief middel om verspreiding van ziekten zoals malaria, tyfus, luizen en de builenpest tegen te gaan. Daarnaast werd het al snel breed ingezet voor de bestrijding van insecten in zowel de landbouw als binnenshuis. Inmiddels is het middel vrijwel overal ter wereld verboden, omdat nu bekend is hoe schadelijk het is. Daarnaast is de werkzaamheid sterk afgenomen.
Beredeneer waarom er nog steeds significante concentraties van DDT worden gevonden in het water en organismen.
- c Hoe kun je verklaren dat de werkzaamheid van DDT sterk is afgenomen in de periode dat het intensief werd gebruikt?

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Leefwereld

BEN JIJ KLAAR VOOR HET ETEN VAN INSECTEN?

Door de bevolkingstoename neemt de vraag naar vlees toe, waardoor een tekort aan eiwitten dreigt. De gangbare methoden voor de productie van dierlijk vlees leggen een te grote druk op het milieu, door vervuiling, uitputting van grondstoffen en een tekort aan ruimte. Alternatieve, duurzame eiwitbronnen kunnen bijdragen aan een oplossing.

Een voorbeeld van zo'n duurzame en volop beschikbare eiwitbron is insectenvlees (zie afbeelding 23). Op aarde komen meer dan 2000 verschillende eetbare insectensoorten voor. Onder andere sprinkhanen, krekels, rupsen, kevers, kakkerlakken, mieren, bijen, wespen, termieten, vlinders en motten zijn geschikt als voedsel. Ze kunnen zich snel vermenigvuldigen, hoeven geen constante lichaamstemperatuur te handhaven (ze zijn poikilotherm) en hun voedingswaarde is gelijk aan dat van vlees. Hierdoor lijken ze de ideale 'vleesvervanger'. Hoewel het in grote delen van de wereld gebruikelijk is om insecten te eten, loopt de Nederlander er nog steeds niet warm voor. De insectensnacks die de afgelopen tien jaar in de Nederlandse supermarkten werden geïntroduceerd, verkochten niet. Dus moet je voor smakelijke meelwormen, sprinkhanen, krekels en kevers naar natuurwinkels of speciaalzaken. Het aanbod is divers:

van krekelsnacks en energierepen tot meelwormlolly's met een vruchtensmaakje. De afzetmarkt in Nederland is beperkt, dus zijn de prijzen voor de insectenproducten hoog. Wel eten we, vaak onbewust, delen van insecten die in producten zijn verwerkt, in de vorm van E-nummers.

Natuurlijk zijn er Nederlanders die wel enthousiast zijn en insecten heerlijk vinden. Vooral de gefrituurde sprinkhaan doet het bij hen goed. Maar de meerderheid vindt het eten van insecten een onsmakelijk idee. Tot welke categorie behoort jij?

■ **Afb. 23** Zou jij deze insecten eten?



Opdrachten

- 28** Bij onderzoek naar de efficiëntie van voedselproductie is de conversiefactor belangrijk. Deze geeft aan welk deel van de energie in het voedsel van een organisme wordt omgezet in biomassa. Als de biomassa van een dier door het eten van 100 kilojoule (kJ) biomassa toeneemt met 10 kJ, is de conversiefactor 0,1. In tabel 2 staan gegevens over de energiestroom in een stabiel graslandecosysteem: de gemiddelde hoeveelheden van de voedselopname, de

assimilatie, de onverteerbare resten, de opbouw van organische stoffen (productie) en de dissimilatie. De hoeveelheden zijn gebaseerd op een netto primaire productie (NPP) van 100 joule per m² per jaar.

- Bereken op basis van de gegevens in tabel 2 de gemiddelde conversiefactor van plantenetende insecten. Geef je antwoord in twee decimalen nauwkeurig.
- Bereken ook de gemiddelde conversiefactor van plantenetende dieren zoals kippen en koeien.

- c** Leg met behulp van de conversiefactor uit dat insecten eten minder belastend is voor het milieu dan het eten van kippen- of koeienvlees.
- d** Geef een verklaring waarom de conversiefactor bij insecten zoveel hoger ligt dan bij kippen en koeien.
- e** Beargumenteer dat alleen de gegevens over het verschil in voedselconversie onvoldoende zijn voor de aanbeveling om meer insecten te eten.

Tabel 2 Energiestromen in een stabiel graslandecosysteem.

NPP 100 joule per m ²	Opname	Assimilatie	Onverteerd	Productie	Dissimilatie
	I (joule)	A (joule)	F (joule)	P (joule)	R (joule)
Herbivoren					
gewervelden	25,00	12,50	12,50	0,25	12,25
ongewervelden	4,00	1,60	2,40	0,64	0,96
Carnivoren					
gewervelden	0,16	0,13	0,03	0,003	0,127
ongewervelden	0,27	0,135	0,135	0,040	0,095

3 VERSTERKT BROEIKASEFFECT

LEERDOEL

6.3.1 Je kunt uitleggen wat de oorzaken en gevolgen van het versterkte broeikaseffect zijn.

► Practicum 1

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	6.3.1
Begrijpen	29, 30, 31, 32, 33, 34
Toepassen	36ce, 38, 39, 42
Analysen	35, 36abd, 37, 40, 41

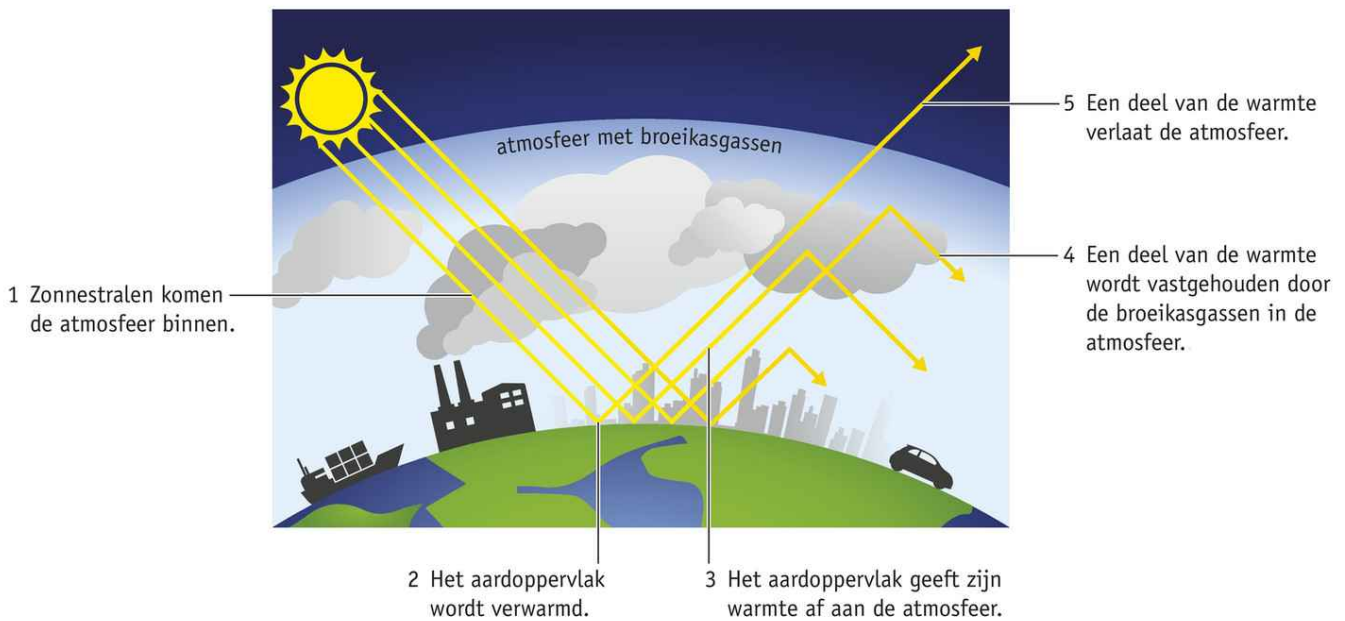
Sinds 1958 wordt de CO_2 -concentratie van de lucht constant gemeten. Uit ijsonderzoek op de Noordpool is gebleken dat er aan het begin van de industriële revolutie (1750) gemiddeld 278 CO_2 -moleculen per miljoen lucht moleculen waren. In 2021 waren dat er gemiddeld 417. Dat is bijna 50% meer.

VERSTERKT BROEIKASEFFECT

Het klimaat op aarde wordt voor een groot deel bepaald door de atmosfeer (dampkring). Dat is een mengsel van verschillende gassen die zonnestralen naar de aarde doorlaten. De zonnestralen verwarmen het aardoppervlak en die geeft de warmte weer af aan de atmosfeer. Net als een broeikas houdt een aantal gassen in de atmosfeer een deel van deze warmte vast. Dit voorkomt dat de aarde veel warmte verliest aan het heelal en dit noem je het **broeikaseffect**. Zonder deze gassen in de atmosfeer zou de temperatuur aan het aardoppervlak 33°C lager zijn. De temperatuurverschillen tussen gebieden op aarde en tussen dag en nacht zouden veel groter zijn. De gassen in de dampkring die het broeikaseffect veroorzaken, heten **broeikasgassen**. De belangrijkste natuurlijke broeikasgassen zijn koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en waterdamp (H_2O).

Sinds de industriële revolutie in 1750 is de emissie (uitstoot) van broeikasgassen door de mens enorm toegenomen. Hierdoor is de concentratie CO_2 in de atmosfeer met bijna 40% gestegen en de concentratie CH_4 met 150%. Dit leidt tot het **versterkte broeikaseffect** (zie afbeelding 24), waarbij de atmosfeer meer warmte vasthoudt en de temperatuur op aarde stijgt, met milieuproblemen tot gevolg.

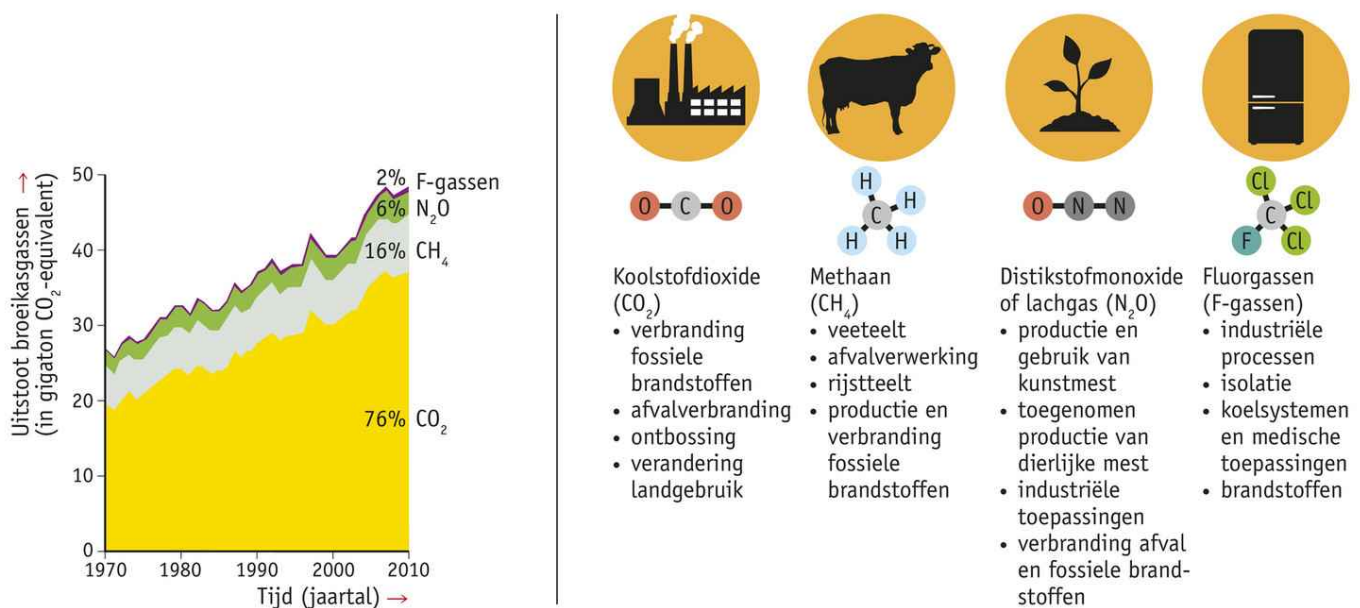
■ **Afb. 24** Het versterkte broeikaseffect.



UITSTOOT VAN BROEIKASGASSEN

De belangrijkste broeikasgassen die worden uitgestoten door de mens zijn koolstofdioxide, methaan, lachgas en fluorgassen (zie afbeelding 25).

■ **Afb. 25** De belangrijkste broeikasgassen.



1 mondiale uitstoot van broeikasgassen

2 bronnen van broeikasgassen

Vooral de toename van de koolstofdioxideconcentratie in de atmosfeer versterkt het broeikaseffect. Het CO₂-gehalte in de atmosfeer stijgt door de verbranding van fossiele brandstoffen (aardolie, aardgas en steenkool). Vooral de sectoren industrie, elektriciteit, transport, landbouw en gebouwde omgeving (verwarming van gebouwen) maken gebruik van fossiele brandstoffen.

Ook de verandering van landgebruik door de mens draagt bij aan een verhoging van het CO_2 -gehalte. Als bos permanent verdwijnt, noem je dat **ontbossing**. Bos heeft op grote schaal plaats moeten maken voor landbouw, veeteelt, bebouwing en infrastructuur. Ook worden bomen massaal gekapt voor de (niet-duurzame) houtproductie. Een ander voorbeeld is de drooglegging van veengrond, waar Nederland van nature rijk aan is, maar waar bij drooglegging veel CO_2 uit vrijkomt.

De emissie van methaan (CH_4) is verantwoordelijk voor ongeveer 20% van het versterkte broeikaseffect. CH_4 houdt de warmte 34 keer beter vast dan CO_2 en is dus een sterker broeikasgas. Wel wordt het in de atmosfeer in verhouding snel omgezet in CO_2 , het halveert in minder dan tien jaar. Dat is een groot verschil met andere broeikasgassen, die honderden jaren in de atmosfeer aanwezig kunnen blijven. Methaangas wordt onder andere gevormd bij de afbraak van organische stoffen door anaerobe bacteriën. Van nature is het vooral afkomstig uit moerassen en venen en ook bossen stoten methaan uit. Het tropisch regenwoud is een grote natuurlijke bron, mogelijk geven bomen het methaan uit de natte grond door aan de lucht.

Door toedoen van de mens is de methaanuitstoot enorm gestegen. In Nederland is de veeteelt verantwoordelijk voor twee derde van de methaanuitstoot. In de maag van herkauwers zoals koeien bevinden zich methaanbacteriën, die nodig zijn om gras te verteren. Eén koe produceert enkele honderden liters methaangas per dag. Daarnaast ontstaat methaan bij de afbraak van organische stoffen uit mest.

Een andere bron van methaanuitstoot is de winning en het gebruik van fossiele brandstoffen. Zo bestaat aardgas hoofdzakelijk uit methaangas. Er wordt ook veel methaan uitgestoten door natte gebieden die zijn ontstaan door menselijk handelen, zoals rijstvelden (zie afbeelding 26). Hier staat altijd een laagje water op, waarin (net zoals bij moerassen) reducenten organische stoffen afbreken met behulp van zuurstof. Doordat de diffusie van zuurstof in water trager verloopt dan het verbruik, ontstaat er een anaeroob milieu. Anaerobe bacteriën breken de organische stoffen dan verder af tot methaan. Hetzelfde gebeurt in Siberië, waar door de opwarming van de aarde elke zomer de bovenlaag van de toendra ontdooit (zie afbeelding 27). Ook op vuilstortplaatsen wordt een hoge methaanuitstoot gemeten.

■ **Afb. 26** Rijstveld.



■ **Afb. 27** Zomer op de toendra in Siberië.



Lachgas (N_2O , distikstofmonoxide) is vooral bekend als drug, maar het is ook een broeikasgas. Lachgas wordt vooral gevormd door bacteriën tijdens de nitrificatie en denitrificatie van nitraat in de bodem en in water, mestopslagen of composthopen. Het risico op uitstoot van lachgas door de bodem neemt toe als er meer ammonium- en nitraationen aanwezig zijn, bijvoorbeeld door het gebruik van kunstmest of door stikstofneerslag. De veeteelt is hierdoor een belangrijke bron van lachgas. Doordat de verblijfsduur van lachgas in de atmosfeer erg lang is, werkt het 265 keer zo sterk als CO_2 . Lachgas breekt bovendien de ozonlaag af. Hierdoor wordt schadelijke uv-straling minder goed tegengehouden.

De sterkste broeikasgassen op aarde zijn fluorgassen. Dit zijn de enige broeikasgassen die geen natuurlijke oorsprong hebben, ze zijn geproduceerd voor industriële doeleinden. De bekendste zijn de hfk's en pfk's die voorkwamen in oude apparaten zoals koelkasten en airco's. Het sterkste fluorgas is het isolatiegas SF_6 (zwavelhexafluoride). Inmiddels is er strenge regelgeving om de uitstoot van fluorgassen te voorkomen. Desondanks komen er toch nog fluorgassen in de lucht, bijvoorbeeld wanneer oude apparaten niet goed worden gerecycled.

Waterdamp is ook een belangrijk broeikasgas en heeft grotendeels een natuurlijke oorsprong. Waterdamp versterkt de opwarming die wordt veroorzaakt door de uitstoot van andere broeikasgassen. Een warmere atmosfeer houdt meer waterdamp vast. Bij elke graad Celsius temperatuurstijging kan de atmosfeer 7% meer water vasthouden en wordt het broeikaseffect nog meer versterkt.

Opdrachten **KENNIS**

- 29 Door ontbossing is ongeveer de helft van de oorspronkelijke bossen op aarde verdwenen. Vooral in het tropisch regenwoud vindt ontbossing nog steeds op grote schaal plaats.
 - a Leg uit hoe ontbossing kan leiden tot een verhoging van het CO_2 -gehalte in de atmosfeer.
 - b Welk effect heeft ontbossing op de uitstoot van methaan? Leg je antwoord uit.
 - c Het aanplanten van bossen blijft toch zinvol als middel ter bestrijding van het broeikaseffect. Geef hiervoor een verklaring.
- 30 Methaan is een veel krachtiger broeikasgas dan CO_2 . Toch heeft CO_2 een veel grotere impact op het broeikaseffect. Geef hiervoor een verklaring.
- 31
 - a Leg uit hoe de concentratie van waterdamp indirect toeneemt door menselijk handelen.
 - b Leg uit dat de toename van de hoeveelheid waterdamp een zichzelf versterkend proces is.

KLIMAATVERANDERING

Er vindt veel onderzoek plaats naar de precieze gevolgen van het broeikaseffect. Het is in ieder geval duidelijk dat het versterkte broeikaseffect bijdraagt aan de opwarming van de aarde. Andere oorzaken van **klimaatverandering** zijn bijvoorbeeld de activiteit van de zon, vulkaanuitbarstingen en meteorietinslagen.

Sinds 1850 is de temperatuur op aarde met ongeveer 1 °C gestegen. Dat lijkt misschien niet veel, maar de gevolgen zijn duidelijk merkbaar (zie afbeelding 28).

■ **Afb. 28** Gevolgen van klimaatverandering in de zomer van 2022.



Bovendien is het tempo waarin deze opwarming heeft plaatsgevonden ongeëvenaard in de afgelopen 2000 jaar. De **effecten van klimaatverandering** hebben over de hele wereld gevolgen voor de mens en de natuur:

- Een effect van klimaatverandering is het smelten van poolijskappen en gletsjers. Hierdoor stijgt de zeespiegel. In de vorige eeuw is de zeespiegel met 14 tot 20 cm gestegen. Voor een deel is dat veroorzaakt doordat water uitzet bij stijging van de temperatuur. Volgens het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) van de Verenigde Naties zal het gemiddelde zeeniveau van de oceanen tegen het jaar 2100 met ongeveer 82 cm stijgen als we niets doen aan de uitstoot van broeikasgassen.
- Het weer wordt niet alleen warmer, de weersomstandigheden worden ook extremer. Er zijn langere perioden van hitte en droogte (hittegolven), maar ook juist perioden met extreem veel neerslag. Hierdoor veranderen natuurlijke ecosystemen en neemt de biodiversiteit af. Niet alleen door de directe invloed van de temperatuurstijging, maar ook door de indirecte invloed ervan.

- Oceanen nemen een deel op van de extra CO₂ die wordt uitgestoten en verzuren daardoor. Als de zuurgraad toeneemt, lost calciumcarbonaat (kalkzouten) op. Organismen met een skelet of schelp van calciumcarbonaat, zoals koralen en weekdieren, hebben dan meer moeite om die te vormen.
- Koraalriffen sterven af doordat de temperatuur van het zeewater stijgt. Ook de samenstelling en productiviteit van plankton neemt af. Dit heeft gevolgen voor alle voedselwebben in het water.
- Andere soorten organismen verdwijnen door afname van hun leefgebied of door verandering van het gebied waar ze leven. Soms verplaatsen planten- en diersoorten zich naar gebieden of wateren waar de temperatuur lager is. De groei van planten en bomen wordt bijvoorbeeld belemmerd door langdurige droogte en het aantal bosbranden neemt toe. Door het smelten van gletsjers in de bergen, meer verdamping en perioden van droogte kan er een tekort aan zoetwater ontstaan.
- Ook de landbouw lijdt onder de klimaatverandering. Zowel langdurige droogte als extreme neerslag zorgen voor mislukte oogsten, wat kan leiden tot een voedseltekort. Nieuwe ziekten en plagen (en een snellere verspreiding hiervan) kunnen de opbrengst van gewassen beperken.
- De klimaatverandering heeft ook gevolgen voor onze veiligheid. Door de hevige neerslag en de zeespiegelstijging neemt de kans op overstromingen toe (zie afbeelding 29). Ook orkanen worden krachtiger door klimaatverandering.

■ **Afb. 29** Overstroming in Valkenburg na hevige regenval.

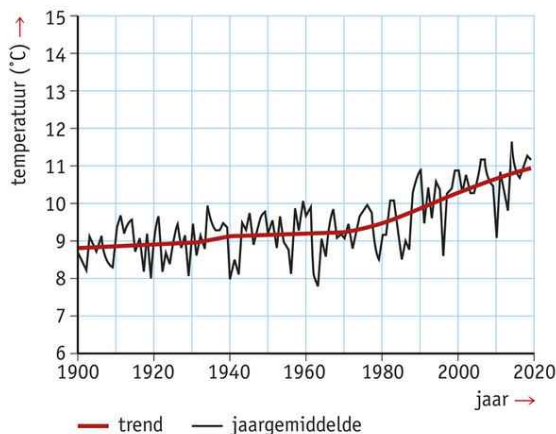


De invloed van de klimaatverandering is niet overal op aarde even groot. De poolgebieden warmen bijvoorbeeld twee keer zo snel op als de rest van de wereld en kunnen daardoor op den duur zelfs helemaal verdwijnen. Ook Nederland warmt sneller op dan je op basis van het mondiale gemiddelde zou verwachten (zie afbeelding 30.1 en 30.2).

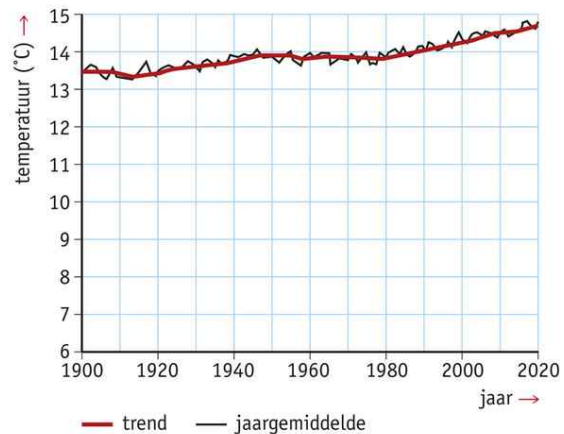
Om verdere gevolgen van temperatuurstijging te beperken, worden er op wereldniveau afspraken gemaakt. In het Klimaatverdrag van Parijs hebben 195 landen vastgelegd maatregelen te treffen, zodat de gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging in 2050 ruim onder de 2 °C blijft.

Het streven is deze stijging te beperken tot 1,5 °C. Landen bepalen zelf welke maatregelen zij nemen om hieraan te kunnen voldoen. Daarnaast bereiden landen zich voor op de risico's van het veranderende klimaat en passen ze de omgeving hierop aan, bijvoorbeeld door het verhogen van dijken. Dit noem je klimaatadaptatie.

■ **Afb. 30** Stijging van de temperatuur in Nederland en mondiaal.



1 temperatuurverloop in Nederland



2 mondiaal temperatuurverloop

Opdrachten **KENNIS**

- 32** In het krijt was het klimaat warmer dan nu. Onderzoekers stellen dat dit mogelijk kwam door een veel hogere vulkanische activiteit.
Leg uit hoe vulkaanuitbarstingen kunnen bijdragen aan de opwarming van de aarde.
- 33** China is wereldwijd veruit de grootste uitstoter van CO₂. Toch is de CO₂-voetafdruk van een persoon uit China lager dan de CO₂-voetafdruk van een Europeaan. De grootte van je CO₂-voetafdruk wordt bepaald door de hoeveelheid CO₂ die je uitstoot tijdens je leven, door alles wat je doet en gebruikt.
Leg uit waardoor de uitstoot van CO₂ in China een stuk groter is dan in Europa, maar de CO₂-voetafdruk van een Europeaan groter is dan die van iemand uit China.

- 34** De klimaatverandering heeft ook impact op de gezondheid van de mens. Uit een internationaal onderzoek blijkt dat in de periode van 1991 tot 2018 in Nederland jaarlijks ongeveer 250 mensen stierven aan de gevolgen van de klimaatverandering. Het betrof vooral oudere en kwetsbare mensen. Zij hebben een minder goede temperatuurregulatie.
- a** Welk gevolg van de klimaatverandering zal met name verantwoordelijk zijn voor de toename in sterfte?
 - b** Voorspellingen voor 2050 laten geen toename zien in de wereldwijde sterfte van mensen ten gevolge van de klimaatverandering (als de opwarming wordt beperkt tot 1,5 tot 2 °C). Hoe kun je dit verklaren?
 - c** Ook het aantal gevallen van hooikoorts (allergie voor pollen) is de afgelopen jaren toegenomen. Geef hiervoor een mogelijke verklaring.

Opdrachten INZICHT

- 35** Leg uit dat we niet zonder het broeikaseffect kunnen, maar dat het versterkte broeikaseffect een probleem is voor het leven op aarde.
- 36** Tijdens de coronacrisis was een scherpe daling zichtbaar in de mondiale CO₂-uitstoot. In de eerste helft van 2020 was er een afname van 8,8% ten opzichte van dezelfde periode in 2019.
- a** Geef hiervoor een verklaring.
 - b** Leg uit dat deze afname in de CO₂-uitstoot niet heeft geleid tot een afname van CO₂-concentraties in de atmosfeer, maar tot een minder snelle stijging.
 - c** De absolute toename van CO₂ in de atmosfeer is kleiner dan de geschatte totale CO₂-productie bij verbranding van fossiele brandstoffen. Blijkbaar komt niet alle CO₂ in de atmosfeer terecht.
Noteer twee processen waardoor CO₂ niet in atmosfeer terechtkomt of eruit verdwijnt. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 93F.
 - d** Een van die processen speelt zich met name af in de oceanen. Zij absorberen bijna 25% van de door de mens uitgestoten hoeveelheid CO₂.
Benoem welk proces dit is en leg uit wat de gevolgen zijn voor het water en de biodiversiteit in de oceanen.
 - e** De verzuring van de oceanen heeft vooral effect op schaaldieren en koralen die een skelet van kalk hebben. Leg dit uit.

- 37** Uit een onderzoek naar de staat van het Great Barrier Reef (zie afbeelding 31.1) blijkt dat een zone van 1200 km is aangetast. Het grootste koraalrif ter wereld heeft het zwaar door opwarming en verzuring van de oceanen, eutrofiëring, watervervuiling en visserij. Korallen zijn dieren met een uitwendig kalkskelet. De meeste korallen leven in symbiose met zoöxanthellen, een algensoort, maar als reactie op de temperatuurverhoging van het oceaankwater stoten de korallen de algen uit. Dit resulteert in koraalverbleking (zie afbeelding 31.2).

Twee gevolgen van het broeikaseffect zijn temperatuurstijging en verzuring van de oceanen. Leg voor beide factoren uit hoe ze het koraal bedreigen.

■ **Afb. 31** Great Barrier Reef.



1 gezond koraal



2 koraalverbleking

- 38** Het gebruik van fossiele brandstoffen beïnvloedt zowel de kortlopende als de langlopende koolstofkringloop. Leg dit uit.
- 39** De verwachting is dat muggen zich verder over de wereld zullen verspreiden door de klimaatverandering. Een van de muggen die nu vooral voorkomt in (sub) tropische gebieden, is de gelekoortsmug. Deze muggen zijn vaak geïnfecteerd met het denguevirus en kunnen deze voor de mens potentieel dodelijke ziekte aan ons overdragen. Een onderzoek naar de temperatuurgevoeligheid van deze muggen toonde echter aan dat geïnfecteerde muggen significant minder goed waren bestand tegen hoge temperaturen (42 °C).
Leg uit wat dit zou kunnen betekenen voor het verspreidingsgebied van de gelekoortsmug bij verdere opwarming van de aarde.

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Leefwereld

OP WEG NAAR EEN UITSTOOT VAN 0%

De stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde mag in 2050 niet hoger zijn dan 2 °C, en liefst niet hoger dan 1,5 °C. Dit is vastgelegd in het Klimaatverdrag van Parijs. Om dit doel te halen, heeft Nederland een Klimaatakkoord opgesteld met daarin maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen in 2030 te reduceren. Voor vijf sectoren zijn afspraken gemaakt: elektriciteit, industrie, gebouwde omgeving, landbouw en landgebruik, en mobiliteit.

Na aanscherping van de Green Deal-ambities van de Europese Unie streeft Nederland in 2030 naar een reductie van ten minste 55% ten opzichte van 1990. In 2050 wil Europa klimaatneutraal zijn.

Om de impact van de verschillende broeikasgassen op te kunnen tellen, wordt de uitstoot van elk gas omgerekend naar megaton CO₂-equivalent op basis van het Global Warming Potential (GWP). Het GWP geeft de mate aan waarin een gas bijdraagt aan het broeikaseffect, gedurende een bepaalde periode (honderd jaar). 1 kg CO₂-equivalent staat gelijk aan de broeikaswerking van 1 kg CO₂.

Het IPCC stelt om de paar jaar de waarden per broeikasgas vast op basis van nieuwe

wetenschappelijke inzichten. In de richtlijnen van het zogenoemde 'Sixth Assessment Report' uit 2022 staat de uitstoot van 1 kg lachgas gelijk aan 265 kg CO₂-equivalent en de uitstoot van 1 kg methaan aan 28 kg CO₂-equivalent over een periode van honderd jaar. De GWP's van fluorgassen variëren nogal en kunnen zeer groot zijn. Zo staat 1 kg van het sterkste fluorgas (SF₆) gelijk aan 22 800 kg CO₂-equivalent.

■ Afb. 32 Jongeren willen toekomst.



Opdrachten

- 40 a Gebruik de gegevens uit tabel 3 en de tekst om een grafiek te maken waarin je de totale broeikasgasuitstoot van 1990, 2000, 2010 en 2020 én de beoogde uitstoot van de klimaatdoelen voor 2030 en 2050 verwerkt.
- b Wat kun je zeggen over het verloop van de grafiek en wat zegt dit over de haalbaarheid van de doelen?
- c De uitstoot van methaan is flink gedaald in de periode 1990-2020. Toch valt hier nog veel winst te behalen. Leg uit waarom een heel sterke reductie in de uitstoot van methaan de snelste manier is om op korte termijn het versterkte broeikaseffect tegen te gaan.

Tabel 3 Uitstoot van de verschillende broeikasgassen in Nederland in megaton (= 1 miljoen ton = 1 miljard kg) CO₂-equivalent over de periode 1990-2021.

	Koolstofdioxide (megaton CO ₂ -equivalent)	Methaan (megaton CO ₂ -equivalent)	Lachgas (megaton CO ₂ -equivalent)	F-gassen (megaton CO ₂ -equivalent)
1990	162,7	35,7	15,5	7,5
2000	171,6	27,1	13,8	6,0
2010	182,0	21,7	7,2	2,4
2019	153,5	19,3	7,0	1,6
2020	138,3	19,0	6,9	1,3

Bron: CBS, RIVM/Emissieregistratie

- 41** Naar aanleiding van de uitkomst van de zogenaamde Urgenda-klimaatzaak was al vastgelegd dat Nederland in 2020 een reductie in uitstoot van minimaal 25% diende te halen ten opzichte van 1990.
Is dat doel behaald? Maak gebruik van de gegevens uit tabel 3 en toon je berekening.

- 42** De uitstoot van CO₂ is in Nederland in de periode 1990-2020 slechts met 15% afgenomen, dus Nederland treft maatregelen om de uitstoot van CO₂ verder terug te dringen. Welke maatregelen kun jij nemen om je CO₂-footprint te verkleinen? Noem drie voorbeelden.

4 DUURZAME ONTWIKKELINGEN

LEERDOELEN

6.4.1 Je kunt de voornaamste oorzaken en gevolgen van milieuproblemen toelichten.

6.4.2 Je kunt uitleggen wat duurzame ontwikkeling is.

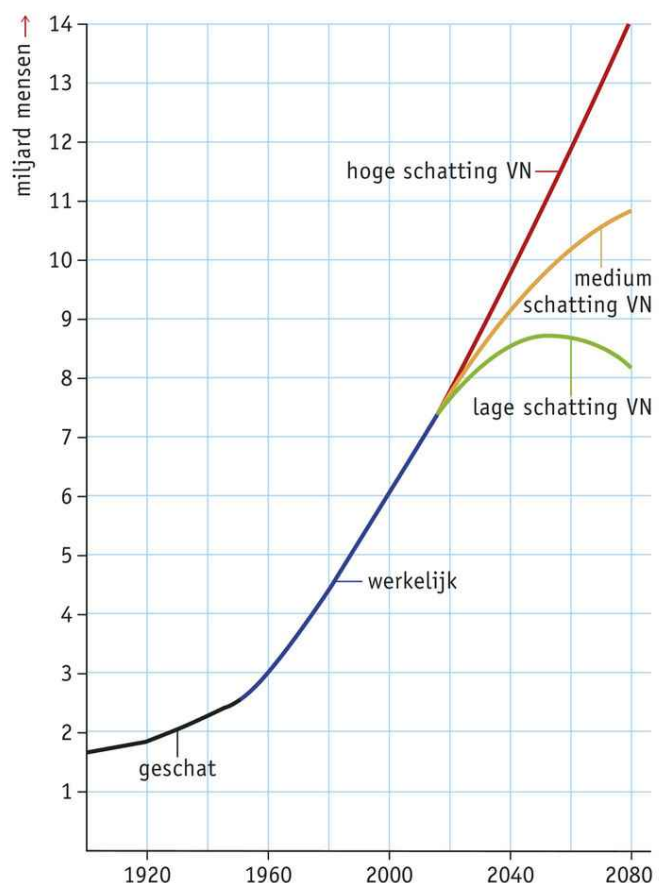
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	6.4.1	6.4.2
Begrijpen	43	44, 45, 46, 47, 48
Toepassen		49bc, 50, 52a, 53, 54b
Analyseren		49a, 51, 52b, 54ac

Een mobiele telefoon bevat zowel schaarse als voor het milieu schadelijke grondstoffen. Toch worden smartphones door bijna de helft van de gebruikers binnen drie jaar vervangen voor een nieuwe. Hoelang doe jij met je smartphone? En wat heb je met je oude toestel gedaan?

MENSEN BEÏNVLOEDEN HET MILIEU

De belangrijkste oorzaken van milieuproblemen zijn de enorme bevolkingstoename en menselijke activiteiten zoals het gebruik van fossiele brandstoffen, ontbossing en bepaalde industriële en agrarische activiteiten. De wereldbevolking is de laatste honderd jaar explosief gegroeid en zal de komende tijd nog verder groeien (zie afbeelding 33). De druk op het milieu neemt toe. Hierdoor kunnen ecosystemen uit evenwicht raken. We staan voor de grote uitdaging om het tij te keren op het gebied van **milieuvervuiling**, uitputting van grondstoffen, klimaatverandering en het verlies aan biodiversiteit.

■ Afb. 33 Groei van de wereldbevolking.



MILIEUVERVUILING

Door hun levenswijze voegen mensen stoffen aan het milieu toe. Dat kan leiden tot vervuiling. De enorme hoeveelheden afval die we produceren, veroorzaken problemen op het land, in het water en in de lucht (zie afbeelding 34).

■ Afb. 34 Vervuiling van het milieu.



1 op het land



2 in zee



3 luchtvervuiling door autoverkeer

Vervuiling van de bodem met schadelijke stoffen heeft grote gevolgen voor het bodemleven en daarmee ook voor de rest van het voedselweb. Als het om persistente stoffen gaat, zijn de gevolgen nog groter.

Het grondwater kan ook vervuild raken door uitspoeling van schadelijke stoffen uit de grond. Dit kan gevolgen hebben voor ons drinkwater. In het drinkwater worden ook microvervuilingen (lage concentraties) aangetroffen van stoffen uit bijvoorbeeld cosmetica (zoals hormoonverstorende stoffen en microplastics) en geneesmiddelen (zoals antibiotica en oestrogenen). **Microplastics** zijn stukjes plastic van minder dan 5 millimeter groot. Ze zijn niet biologisch afbreekbaar, maar kunnen wel uit elkaar vallen in nog kleinere deeltjes (de nanoplastics). Tegenwoordig worden ze overal aangetroffen, zelfs in menselijk bloed. Microplastics zijn toegevoegd aan veel verzorgingsproducten, maar komen ook in het milieu door plastic zwerfafval en slijtage van bijvoorbeeld kleding. Afvalwaterzuiveringsinstallaties kunnen dit soort stoffen onvoldoende uit afvalwater verwijderen. Watervervuiling wordt ook nog vaak veroorzaakt door de lozing van afval of afvalwater in oppervlaktewateren.

Ook luchtvervuiling vormt een groot probleem. Naast de uitstoot van broeikasgassen brengt de mens veel andere schadelijke stoffen in de lucht. Een hoge concentratie van fijnstof, een verzamelnaam van alle microscopisch kleine deeltjes in de lucht, verlaagt de luchtkwaliteit en vormt een bedreiging voor de natuur en onze gezondheid. Een groot deel van deze fijnstof bestaat uit stikstofverbindingen: NO_x -verbindingen en ammoniakgas (NH_3). De NO_x -verbindingen worden voornamelijk uitgestoten door de industrie of het verkeer. De fijnstofdeeltjes worden met de wind meegevoerd en slaan uiteindelijk ergens neer (stikstofdepositie). Er komt veel ammoniakgas vrij als vaste mest wordt gemengd met de urine van dieren in stallen (drijfmest) en het kan tot wel honderden kilometers verderop neerslaan. Het kan ook reageren met stofdeeltjes in de lucht en als fijnstof verder door de wind worden verspreid (zie afbeelding 35). De neerslag van extra stikstof heeft grote gevolgen voor natuurgebieden. Het grootste deel van de stikstofneerslag in Nederland, en dus ook in natuurgebieden, is afkomstig van de veeteelt.

■ **Afb. 35** Oorzaken van stikstofneerslag.

UITPUTTING VAN GRONDSTOFFEN

De mens onttrekt veel stoffen aan het milieu. De vraag naar grondstoffen neemt door de bevolkingsgroei en onze 'consumptiemaatschappij' alleen maar toe. Grondstoffen worden gebruikt voor de productie van werkelijk alles, bijvoorbeeld voedsel, kleding, apparaten en energie. Op het moment dat er meer grondstoffen worden verbruikt dan aangevuld, ontstaat er uitputting.

Vaak wordt er gesproken over een dreigende schaarste van fossiele brandstoffen. De voorraden aardgas, aardolie en steenkool zijn in de afgelopen jaren razendsnel geslonken door het sterk toegenomen energieverbruik. Ook worden er nog maar weinig nieuwe bronnen ontdekt. Het is dus belangrijk om niet langer afhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen.

In de lijst van kritieke grondstoffen van de EU komen fossiele brandstoffen niet voor. De lijst die is opgesteld in 2020 bevat dertig verschillende grondstoffen (metalen en mineralen) die op basis van beperkte beschikbaarheid en belang voor de productie zijn geselecteerd.

VERLIES VAN BIODIVERSITEIT

De biodiversiteit op aarde gaat snel achteruit. Zo is sinds 1970 de populatiegrootte van gewervelde dieren wereldwijd met 68% afgenomen. Menselijke druk, zoals bevolkingsgroei, vernietiging van habitats (zie afbeelding 36), versnippering, handel in wilde dieren, vervuiling en klimaatverandering heeft **gevolgen voor de biodiversiteit**. Soorten sterven steeds sneller uit. Tegen het einde van de 21e eeuw is klimaatverandering waarschijnlijk de hoofdoorzaak van het uitsterven van soorten. Door de intensiteit en snelheid van de klimaatverandering kunnen veel soorten organismen niet snel genoeg evolueren om te overleven in nieuwe omstandigheden. Soorten die wel in staat zijn tot een succesvolle adaptatie krijgen de overhand en hun verspreidingsgebied breidt zich uit. Zo kunnen exoten (uitheemse soorten) zich handhaven in gebieden waar ze eerst niet voorkwamen. Andere (inheemse) soorten worden zeldzamer, of sterven uit.

■ **Afb. 36** Vernietiging van het regenwoud voor goudwinning.

DUURZAME ONTWIKKELING

Voor de periode 2015-2030 zijn door alle lidstaten van de Verenigde Naties zeventien duurzame werelddoelen vastgesteld, de *Sustainable Development Goals* (zie afbeelding 37). De doelen moeten een einde maken aan armoede, ongelijkheid en klimaatverandering. Doel 15 is bijvoorbeeld: 'het beschermen van ecosystemen, bossen en biodiversiteit'.

■ Afb. 37 Sustainable Development Goals.



Er is sprake van **duurzame ontwikkeling** als kan worden voorzien in de behoeften van de huidige generatie mensen zonder de behoeften van de toekomstige generaties in gevaar te brengen. Onze levenswijze mag ook niet ten koste gaan van de natuur nu en in de toekomst. Bij de activiteiten die we 'hier en nu' ondernemen wordt rekening gehouden met de effecten 'later en ergens anders'. Het gebruik van biobrandstoffen vermindert bijvoorbeeld de afhankelijkheid van aardolie en de uitstoot van broeikasgassen. Maar als daarvoor tropisch bos wordt gekapt, tast dit de biodiversiteit aan. Bij duurzame ontwikkeling gaan mensen op een verantwoordelijke wijze om met hun omgeving en de schaarse hulpbronnen (grondstoffen, water en lucht).

Bij duurzame processen worden producten hergebruikt of gerecycled. Bij **hergebruik** worden producten of delen daarvan opnieuw gebruikt. Kleding, meubels en auto's zijn voorbeelden van producten die je opnieuw kunt gebruiken.

Recycling (afkomstig van het Engelse woord *recycling*: in een kring rondgaan) is het opnieuw gebruiken van grondstoffen en materialen voor een vergelijkbaar doel of voor een ander doel. Zo kan glas als grondstof dienen voor het maken van glazen producten (vergelijkbaar doel) en kun je plastic verbranden voor energie (ander doel). Om grondstoffen en materialen te kunnen recyclen, moet je ze eerst sorteren. In Nederland gebeurt dit vaak in containers voor papier, plastic en glas. Ook groente-, fruit- en tuinafval (gft) en klein chemisch afval worden vaak gescheiden.

Door te recyclen en te hergebruiken zijn er minder grondstoffen nodig. Voor het maken van papier hoeven er minder bomen te worden gekapt en voor het maken van plastic hoeft er minder aardolie uit de bodem te worden gepompt. Ook hoeven er minder natuurgebieden te worden opgeofferd voor de productie van katoen voor de kledingindustrie. Ten slotte is er minder uitstoot van schadelijke gassen en CO₂, doordat hergebruik of recyclen minder energie kost. Al deze ontwikkelingen kunnen leiden tot **duurzaamheid**, waarbij de maatschappij voor onbepaalde tijd productief kan blijven, zonder dat dit ten koste gaat van de omgeving.

Niet alle producten kun je hergebruiken of zijn recyclebaar. Deze producten eindigen bij het restafval. De bedoeling is om het gebruik van deze producten sterk te reduceren. Uiteindelijk is het de bedoeling om deze producten te vervangen door producten die wel te recyclen zijn óf technieken te ontwikkelen waarmee je de producten alsnog kunt hergebruiken of recyclen.

Opdrachten **KENNIS**

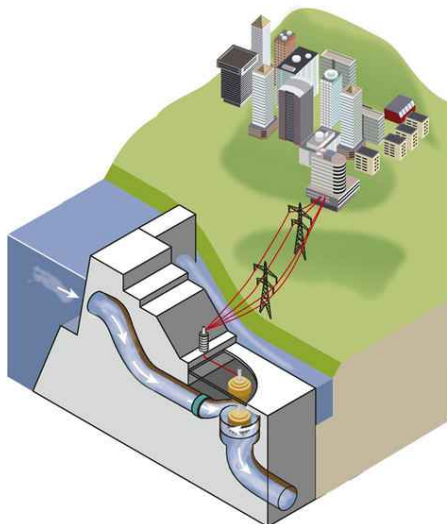
- 43 De neerslag van extra stikstof (afkomstig van NO_x -verbindingen of ammoniakgas) heeft grote gevolgen voor natuurgebieden. Leg uit welke gevolgen dit kan hebben voor de vegetatie.
- 44 Nederlandse supermarkten importeren verschillende sojaproducten vanuit Azië naar Nederland.
Leg uit dat dit niet duurzaam is.
- 45 **a** Geef een voorbeeld van een voorwerp dat je hebt hergebruikt en een voorbeeld van een voorwerp dat je hebt gerecycled. Leg in beide gevallen uit op welke manier.
b Welk gevolg van overbelasting van de aarde gaan recycling en hergebruik van voorwerpen vooral tegen?

DUURZAME ENERGIE

Als mensen de klimaatverandering veroorzaken, kunnen ze dit proces ook stoppen. Bijvoorbeeld door klimaatneutraal te leven. Klimaatneutraal betekent dat een overheid, organisatie, proces of product niet bijdraagt aan de klimaatverandering. Wanneer er uitstoot van broeikasgassen is, wordt die gecompenseerd. Het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen is essentieel voor het stoppen van de klimaatverandering.

Een van de belangrijkste stappen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken, is de **energietransitie**: de overgang van het gebruik van fossiele brandstoffen voor de **energieproductie** naar het gebruik van duurzame of **hernieuwbare energiebronnen** zoals de zon, wind, waterkracht (zie afbeelding 38) en aardwarmte (zie afbeelding 39). Hierdoor neemt ook de vervuiling af en er is geen risico op uitputting: duurzame energiebronnen raken niet op.

■ **Afb. 38** Energieproductie door een waterkrachtcentrale.



■ **Afb. 39** Geothermische elektriciteitscentrale op Sumatra, Indonesië.



Er zijn ook tal van andere oplossingen die kunnen bijdragen aan een beperking van de uitstoot, zoals goede isolatie. Hierdoor gaat er minder warmte of kou verloren en is er minder energie nodig om gebouwen te verwarmen of om de temperatuur te verlagen. De thermostaat lager zetten, korter douchen, apparaten niet op stand-by laten staan en het gebruik van energiezuinigere apparatuur of ledverlichting zijn voorbeelden van maatregelen voor **energiebesparing**.

Gebouwen kun je verwarmen met restwarmte uit bijvoorbeeld de industrie of je kunt gebruikmaken van **biobrandstof**. Biobrandstoffen worden gemaakt uit organisch materiaal en zijn hernieuwbaar. Bij het verbranden van biobrandstoffen komt dezelfde CO_2 vrij die de biomassa tijdens de groei uit de lucht heeft gehaald. Biobrandstoffen die zijn gemaakt uit organisch restafval worden als duurzaam beschouwd, omdat ze gebruikmaken van reeds aanwezige materialen en geen extra druk uitoefenen op landbouwgrond of ecosystemen. Maar biobrandstoffen waarvoor bossen zijn gekapt, zijn niet duurzaam, omdat ontbossing leidt tot verlies van biodiversiteit, hogere CO_2 -uitstoot en aantasting van natuurlijke ecosystemen. In het verkeer kun je het gebruik van fossiele brandstoffen terugdringen door voertuigen te laten rijden op duurzaam opgewekte elektriciteit. In plaats van te vliegen kun je kiezen voor vervoer per (hogesnelheids)trein. Bij kortere afstanden kun je lopen, fietsen, reizen per elektrische scooter of met het openbaar vervoer.

Het is onzeker of het genoeg is om met deze maatregelen de uitstoot van broeikasgassen voldoende te verminderen. Daarom wordt er door verschillende organisaties en bedrijven onderzoek gedaan naar methoden om CO_2 uit de lucht en oceanen te verwijderen. In IJsland wordt al CO_2 onder de grond gepompt. Het vulkanische gesteente daar reageert met de CO_2 , waardoor het voor altijd wordt vastgelegd. Ook de aanleg van nieuwe bossen kan bijdragen aan het vastleggen van CO_2 .

DUURZAME VOEDSELPRODUCTIE

De voedselproductiesector is wereldwijd verantwoordelijk voor ongeveer een kwart van de totale uitstoot van broeikasgassen en voor ongeveer 60% van de afname van biodiversiteit op het land. Door nieuwe ontdekkingen en technische verbeteringen kan de land- en tuinbouw duurzamer worden.

Naast maatregelen zoals het verkleinen van de veestapel en het beperken van het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen en mest, wordt er bijvoorbeeld ook onderzoek gedaan naar voedingssupplementen die koeien minder methaan laten boeren.

Voor verduurzaming en optimalisering wordt steeds vaker precisielandbouw toegepast. Met technologieën zoals gps, sensortechnologie, ICT en robotisering (*smart farming*) worden de toestand van de bodem of het gewas en eventuele gebreken of behoeften vastgesteld (zie afbeelding 40). Daarna kan per plaats of zelfs per plant worden bepaald welke behandeling moet volgen. Precisielandbouw wordt ook in de veehouderij toegepast. Koeien kunnen bijvoorbeeld sensoren dragen die hun gedrag en gezondheid registreren, zodat je de individuele verzorging kunt aanpassen (zie afbeelding 41).

■ **Afb. 40** Slimme tuinbouw waarbij gebruik wordt gemaakt van een robot.



■ **Afb. 41** Smart farming in de veehouderij.



Verticale landbouw (zie afbeelding 42) kan een oplossing bieden voor het tekort aan landbouwgrond of om weer meer landbouwgrond te kunnen veranderen in natuurlijke ecosystemen. Bij deze vorm van landbouw is er veel minder ruimte nodig, omdat je gewassen in meerdere lagen boven elkaar teelt. Dat kan bijvoorbeeld in leegstaande kantoren. Het energieverbruik is momenteel nog hoog, maar wanneer je de teelt volledig controleert, hoeft je geen gebruik te maken van pesticiden, verbruik je per kilogram groente maar 2 tot 4 L water, en is er tien tot twintig keer minder land nodig.

Een andere ontwikkeling is het gebruik van ledlampen in de glastuinbouw. Doordat ledlampen niet heet worden, kun je ze niet alleen boven, maar ook tussen de planten plaatsen. Door ledlampen met verschillende kleuren licht toe te passen en op het juiste moment de juiste intensiteit te geven, kan een kweker de fotosynthese optimaliseren.

■ **Afb. 42** Verticale landbouw met gebruik van ledlampen.



Voor een duurzame voedselproductie is het ook belangrijk om te kijken naar wat nu eigenlijk duurzaam voedsel is. Plantaardige producten hebben een veel lagere footprint dan dierlijke producten zoals vlees en zuivel. Daarnaast is het voor de footprint belangrijk dat voedsel lokaal wordt geproduceerd. Ook voedselverspilling moet je op alle fronten tegengaan.

NATUURBESCHERMING

De overheid en diverse organisaties beschermen de natuur tegen de invloed van de mens. Deze natuurbescherming is gericht op het behouden, herstellen of het ontwikkelen van natuur en biodiversiteit. Dit noem je **natuurbeheer**. Natuurbeheer is het beheren en beschermen van de natuur. Natuurbeheer kan op verschillende manieren:

- door niets te doen en zo de natuur haar gang laten gaan. Op die manier kan een spontane successie op gang komen.
- door actief beheer zoals kappen, maaien of dieren te laten grazen.
- door bijvoorbeeld het grondwaterpeil te laten stijgen of door de bodem voedselarmer (schraller) te laten worden. Zo kunnen specifieke planten- en diersoorten terugkeren in een gebied.

Veel natuurbeheer wordt uitgevoerd door grote, gespecialiseerde natuurbeheerders. Voorbeelden van natuurbeheer zie je in natuurgebieden zoals de Biesbosch en de Oostvaardersplassen (zie afbeelding 43).

■ **Afb. 43** Konikpaarden in de Oostvaardersplassen.



Om na te gaan in hoeverre je het milieu in een gebied moet beschermen, kun je kijken naar indicatorsoorten. Aan de hand van deze organismen kun je een verandering of verontreiniging van het milieu signaleren. Groot dooiermos (*Xanthoria parietina*, zie afbeelding 44) is bijvoorbeeld een veelvoorkomend korstmos en is een indicator voor de aanwezigheid van ammoniak in de lucht. Ook een verbetering van de milieumomstandigheden is meetbaar met indicatorsoorten.

■ **Afb. 44** Groot dooiermos.



VERANDEREND LANDSCHAP

Er komen bijna geen natuurlijke ecosystemen meer voor in Nederland. De natuur is vooral door grote verkeerswegen in kleine stukjes verdeeld. Dit noem je versnippering. Door maatregelen op het gebied van ruimtelijke ordening worden natuurgebieden met elkaar verbonden door bijvoorbeeld ecoducten, dassentunnels, boombruggen en ecoduikers, een doorlaat voor water onder een weg. Hierdoor kan het verspreidingsgebied van planten- en diersoorten groter worden.

Een andere manier om de biodiversiteit te vergroten is het aanbrengen van variatie in het landschap. Dit is een vorm van verstoring van het milieu met een positieve invloed. Door menselijk ingrijpen ontstaat er dan variatie in bodem, waterhuishouding, reliëf en weersinvloeden, denk aan beschutte plekken. In een gebied met veel variatie, bijvoorbeeld een houtwal (zie afbeelding 45), vinden veel verschillende soorten een geschikte leefomgeving.

■ **Afb. 45** Een houtwal.



RODE LIJSTEN

De Wet natuurbescherming bevat alle regels voor de bescherming van Nederlandse natuurgebieden en soorten. Daarnaast zijn er de Rode lijsten. Op een Rode lijst staat een overzicht van soorten die uit Nederland zijn verdwenen of dreigen te verdwijnen. Op de Nederlandse Rode lijsten staan alleen bedreigde soorten die zich in Nederland voortplanten. Een soort is pas wettelijk beschermd als hij is opgenomen in de Wet natuurbescherming.

Opdrachten

KENNIS

- 46 In het verleden werd voor de productie van biobrandstof vooral suikerriet of mais gebruikt. Deze gewassen werden speciaal gekweekt als grondstof voor energiewinning.
 - a Leg uit dat het duurzamer is om voor de energiewinning restmateriaal te gebruiken in plaats van speciaal gekweekte planten.
 - b Biobrandstoffen noem je hernieuwbaar. Wat betekent 'hernieuwbare energie'?
- 47 Zalmen planten zich alleen voort in schoon, snelstromend koud zoetwater met veel zuurstof. Veel jonge zalmen vertrekken naar de Groenlandse wateren, duizenden kilometers van hun paaipplaatsen. Ook paling is een trekvis: palinglarfjes uit de Sargassozee drijven zesduizend kilometer in één tot drie jaar met de zeestroming mee naar de Europese kust.
Zalm en paling zijn bedreigde en beschermde diersoorten. In Nederland komen nog maar weinig zalm en paling voor. Toch staan zalm en paling niet op de Nederlandse Rode lijst. Leg dit uit.

- 48** Het aantal elektrische auto's neemt toe, het aantal laadpalen ook. Toch kan het beter. In afbeelding 46 zie je studenten van de TU Delft die zich voorbereiden op de World Solar Challenge. Mogelijk zien we in de toekomst ook auto's met zonnepanelen op de weg.
- a** Leg uit wat hiervan het voordeel is.
 - b** Waarom kun je ook een dergelijke auto niet klimaatneutraal noemen?

■ **Afb. 46** World Solar Challenge.



Opdrachten INZICHT

- 49** In een mestvergistingsinstallatie wordt energie gewonnen uit mest en ander organisch afval.
- a** Leg uit hoe door vergisten bruikbare energie ontstaat uit biomassa.
 - b** Noteer twee duurzame aspecten van mestvergisting
 - c** Noteer ook een potentieel minder duurzaam aspect.
- 50** Tot in de jaren tachtig werden beken in Nederland gekanaliseerd. Dit zorgde voor een snelle waterafvoer uit een gebied, wat gunstig was voor de omliggende landbouw. De biodiversiteit in en rondom de beken nam daarna sterk af. In heel Nederland proberen waterbeheerders nu de beken weer te herstellen, door de natuurlijke bochten weer terug te brengen. Daardoor is er weer meer variatie in bijvoorbeeld de stroming van het water.
- a** Leg uit hoe deze maatregel kan leiden tot een toename van de biodiversiteit.
 - b** In Nederland is inmiddels bijna 2500 km beek hersteld. Toch valt het herstel van de biodiversiteit tegen ten opzichte van de verwachtingen. Geef hiervoor een verklaring.
- 51**
- a** Hoe duurzaam denk je dat je voedingspatroon is? Leg je antwoord uit.
 - b** Houd gedurende een dag bij wat je precies eet en drinkt. Zoek vervolgens zoveel mogelijk informatie over de footprint van je voedingsmiddelen. Wat is je conclusie met betrekking tot de duurzaamheid van je voedingspatroon (van die dag)?
 - c** Wat kun jij nog doen om je voedingspatroon duurzamer te maken?
- 52** *Urban farming* (stadslandbouw) is het verbouwen, bewerken en verkopen van voedsel in een stedelijke omgeving.
- a** Geef twee argumenten waarom urban farming, bijvoorbeeld op daken van kantoren of in leegstaande gebouwen, een duurzame vorm van voedsel verbouwen is.
 - b** Urban farming kan ook bijdragen aan klimaatadaptatie. Leg dit uit.

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

Context Beroep

WERKEN AAN EEN CO₂-NEUTRALE BOUWSECTOR

Wereldwijd zijn er enorme uitdagingen op het gebied van duurzaamheid. Het is dan ook niet gek dat er steeds meer studies zijn die zich hierop richten. Een voorbeeld is de bachelor Future Planet Studies aan de Universiteit van Amsterdam. Bij deze universitaire studie draait het om de vraag: Hoe kunnen wij ons leven inrichten, zodat we de aarde niet uitputten of oververhitten?

Een van de oud-studenten is Laetitia Nossek (zie afbeelding 47). Zij zet haar kennis en vaardigheden in als projectmanager circulariteit bij de Dutch Green Building Council. Het doel van deze organisatie is om de bouwsector in Nederland CO₂-neutraal te maken. Om dit te doen, wordt er gekeken naar regelgeving en beleid voor het terugdringen van de CO₂-uitstoot in twee categorieën in de bouw. Bij de operationele CO₂-uitstoot gaat het om de CO₂ die vrijkomt bij het gebruik van energie zoals verlichting en verwarming in gebouwen. De andere categorie is het zogenoemde *embodied carbon* (materiaalgebonden CO₂): de CO₂-uitstoot van materialen en processen in de gehele bouwketen. Vooral in deze laatste categorie valt er nog veel winst te behalen.

De verwachting is dat er wereldwijd tot 2050 veel wordt gebouwd, dus als er niets gebeurt, zal de impact van materiaalgebonden CO₂ nog vele malen groter worden. Om bij te dragen aan het behalen van de klimaatdoelstellingen voor 2050 moet er dus anders worden gebouwd. Laetitia geeft een ogenschijnlijk simpel voorbeeld: 'Als een gebouw een goed fundament en constructie heeft, is het veel beter om te renoveren, dan nieuwbouw te plegen.'

■ Afb. 47 Laetitia Nossek.



Opdrachten

- | | |
|--|--|
| <p>53 a Vanaf leerjaar 2 is de opleiding Future Planet Studies Engelstalig. Leg uit waarom dit handig is.</p> <p>b Laetitia is projectmanager en adviseert de bouwsector op het gebied van duurzaamheid. Zoek de opleiding op. Aan welke andere richtingen kun je ook denken qua werk als je deze opleiding hebt voltooid?</p> <p>c Zou deze opleiding iets voor jou zijn? Licht je antwoord toe.</p> | <p>54 a Leg uit op welke manier het renoveren van gebouwen voor minder CO₂ uitstoot zorgt.</p> <p>b Renovatie van gebouwen kan ook bijdragen aan het tegengaan van andere milieuproblemen. Noem er één.</p> <p>c Bedenk twee andere voorbeelden van maatregelen om de impact van <i>embodied carbon</i> in de bouw terug te dringen.</p> |
|--|--|

Mens en milieu // Samenhang

VOEDSELBOS COMBINEERT NATUUR EN LANDBOUW

LEERDOELEN

- 6.S.1** Je kunt de invloed van duurzame voedselproductie door de mens toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 6.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en systeemdenken toepassen op duurzame voedselproductie.

Nederland heeft een nieuw landbouwsysteem dat voedsel én natuur produceert: het voedselbos. Deze vorm van landbouw kan een van de oplossingen zijn voor de diverse milieuproblemen van dit moment.

Het voedselbos is zoals de naam al doet vermoeden geen gewoon bos. Het bos is door mensen aangelegd en heeft als doel om voedsel te produceren, net als bij de huidige landbouw. In het voedselbos groeien meerjarige planten. Dat zijn bijvoorbeeld bomen en struiken waar elk jaar delen van worden geoogst, zoals vruchten, zaden of bladeren. Op akkers staan meestal eenjarige planten die na één jaar volledig worden geoogst, zoals granen en mais. Een voedselbos wordt niet bemest en er worden geen bestrijdingsmiddelen gebruikt.

■ **Afb. 1** Wouter van Eck in het voedselbos in Groesbeek.



Het voedselbos zoals we dat nu kennen begon in 2009. Toen vormde Wouter van Eck (zie afbeelding 1) als een van de eersten in Nederland een maisakker om tot bos waar voedselproducerende bomen, struiken, kruiden en bodemplanten werden geplant. De oogst vindt verspreid over een groot deel van het jaar plaats. In het voorjaar kunnen bijvoorbeeld de eetbare bloemknoppen van Japans hoefblad worden geoogst. Ook de bladsteel en stengels van deze plant zijn goed te eten. Bamboescheuten en verschillende bladgroenten worden geoogst in de lente. Appels, peren, pruimen en frambozen in de zomer en walnoten in het najaar. In het voedselbos groeien ook minder bekende planten, zoals de szechuanpeper, nashiperen en Chinese mahonie. Een voedselbos kan bijvoorbeeld ook bouwmaterialen en gedroogde decoratieve planten als woondecoratie leveren.

Het bos is een zelfvoorzienend systeem. Het zorgt voor zijn eigen bemesting en insectenplagen worden in toom gehouden met natuurlijke vijanden. Doordat een bosbodem een betere doorworteling heeft dan een akker en de bodem permanent is bedekt met bodemplanten en organisch materiaal zoals bladeren, houden voedselbossen ook veel beter water vast dan akkers en treedt er minder uitspoeling op

van voedingsstoffen. De variatie en de verschillende plantensoorten zorgen voor veel soorten vogels, zoogdieren, vlinders, bijen en andere insecten. De biodiversiteit van een voedselbos is daarmee veel groter dan bij een gemiddelde akker of weiland. Daarnaast is het voedselbos vanwege de biodiversiteit weerbaarder tegen klimaatverandering dan een akker.

Voedselbossen hebben nog andere positieve invloeden op het milieu. Ze leggen veel organische stoffen vast met als grondstof CO_2 uit de lucht. Ook nemen de planten stikstof op, waardoor de hoeveelheid stikstof in de bodem afneemt.

Het voedselbos is daarom een vorm van duurzame landbouw, maar levert ook minder voedsel per hectare op dan de reguliere landbouw.

Opdrachten



- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *bladeren – Chinese mahonie – CO_2 – Japans hoefblad – klimaatverandering – mais – stengels – stikstof – vlinders – voedselbos – vogels.*

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 In voedselbossen groeien voornamelijk kruiden, vruchten, groenten en noten. Leg uit waarom je naast voedselbossen ook akkers nodig hebt om mensen te voeden.
- 3 Zal een akker of een voedselbos meer CO_2 vastleggen? Leg je antwoord uit.
- 4 Veel voedselbossen worden op voormalige landbouwgrond geplant. Eigenaren van deze voedselbossen geven geen mest, terwijl de planten wel voedingsstoffen nodig hebben.
- Leg uit waarom het niet noodzakelijk is om te bemesten.
 - De verwachting is dat op den duur ook voedselbossen moeten worden bemest. Vooral als de opbrengst hoger wordt. Leg uit waarom dit wordt verwacht.
 - In voedselbossen groeien ook stikstofbindende planten, zoals de olijfwilg. Leg uit dat je bij een lage voedselopbrengst waarschijnlijk niet hoeft te bemesten.
- 5 In een voedselbos wordt niet gespoten met bestrijdingsmiddelen.
- Waarom gaat de verspreiding van ziekten en plagen minder snel in een voedselbos dan op een akker?
 - Waardoor zullen ook in een voedselbos plagen en ziekten voorkomen?

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

6.O.1 Je kunt onderzoeken of de kleur (golflengte) van licht invloed heeft op de groei en ontwikkeling van planten.

► Basisstof 3

Invloed van kleur (golflengte) op de ontwikkeling van planten

🕒 75 minuten

INLEIDING

In Nederlandse kassen wordt gewerkt met variatie in verlichting om de productie op te voeren. Anders dan in de volle grond op de akker wordt in kassen het normale dag- en nachtritme doorbroken door meer licht aan te bieden en daarmee de fotosynthese te stimuleren. Bovendien wordt gewerkt met de kleur (golflengte) van de verlichting die het beste resultaat oplevert (zie afbeelding 1). In deze practicumopdracht onderzoek je of de kleur van het licht invloed heeft op de groei en ontwikkeling van planten.

■ **Afb. 1** Ledverlichting in een kas.



ONDERZOEKSVRAAG

Heeft de kleur (golflengte) van het licht invloed op de groei en ontwikkeling van planten?

HYPOTHESE

Vooraf blauw en rood licht zorgen voor een sterkere fotosynthese en groei van planten.

MATERIAAL

- zaden of kiemplanten van bijvoorbeeld boon of tuinkers
- petrischaaltjes met filtreerpapier of watten
- water
- bekerglazen
- lampen in de kleuren blauw, geel, groen en rood of 'witte' lampen en gekleurd doorzichtig folie in de kleuren blauw, geel, groen en rood
- weegschaal

METHODE

- Bedenk een proefopstelling om in het klein een kas na te bootsen en de invloed van de lichtkleur te onderzoeken. Gebruik afhankelijk van het materiaal dat op school beschikbaar is een serie gekleurde (led)lampen of witte lampen met een kleurfilter ervoor. Maak ook een controlegroep waarbij je alleen wit licht gebruikt. Maak een duidelijk schema met een tekening van je opstelling en je werkplan en geef daarbij aan wat je motivering is om het zo te doen. Laat dit schema controleren door je docent of TOA.
- Weeg op vooraf vastgestelde tijden het gewicht van de planten uit je onderzoeksgroep en uit de controlegroep.

RESULTAAT

Zet de resultaten van je experimenten uit in een tabel en/of een grafiek.

CONCLUSIE

- 1 **a** Beantwoord de onderzoeksvraag.
b Is de hypothese juist?

DISCUSSIE

- 2 Noteer een voordeel en een nadeel van het werken met zaden bij dit experiment. Doe hetzelfde voor werken met kiemplanten.
- 3 Wat was de reden om te werken met de door jou gekozen plantensoort?
- 4 Leg uit dat bedrijven in de glastuinbouw een voorkeur hebben voor het gebruik van ledlampen bij de kasverlichting.
- 5 Geef een verklaring voor de gevonden verschillen tussen de groei van planten bij verschillende golflengten. Betrek in je antwoord het feit dat chlorofyl (bladgroen) de hoofdrol speelt bij de fotosynthese.

SAMENVATTING

6.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt de koolstofkringloop in hoofdlijnen beschrijven en schema's hiervan interpreteren.

- Koolstof doorloopt een kringloop in het systeem aarde (zie ook **BiNaS** tabel 93F):
 - Producenten nemen koolstofdioxide (CO_2) op uit de lucht en produceren hiermee via fotosynthese organische stoffen zoals glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).
 - Consumenten nemen de organische stoffen van andere organismen op als voedsel.
 - Reducenten breken organische resten af tot anorganische stoffen, waaronder CO_2 .
 - In de huidige of kortlopende koolstofkringloop gaat koolstof in maximaal een paar honderd jaar eenmaal rond.
- Fossiele brandstoffen zijn miljoenen jaren geleden gevormd en opgeslagen en maken deel uit van de langlopende koolstofkringloop.
 - Door verbranding van fossiele brandstoffen komt extra CO_2 in de kortlopende koolstofkringloop.

6.1.2

Je kunt de stikstofkringloop in hoofdlijnen beschrijven en schema's hiervan interpreteren.

- Stikstof doorloopt een kringloop in het systeem aarde (zie ook **BiNaS** tabel 93G):
 - Stikstofassimilatie: producenten nemen stikstof vooral op via nitraationen (NO_3^-) en maken uit nitraationen en glucose stikstofhoudende organische verbindingen (bijv. eiwitten).
 - Consumenten maken hun eigen aminozuren met behulp van aminozuren uit hun voedsel en scheiden stikstof uit met de urine (als ammoniak, ureum of urinezuur).
 - Reducenten breken stikstofhoudende organische verbindingen af.
- Ammonificatie: rottingsbacteriën en urobacteriën breken de eiwitten in organisch afval en de afbraakproducten van eiwitten in urine af tot o.a. ammoniak (NH_3).
- Nitrificatie: nitrietbacteriën zetten ammoniak en ammoniumionen (NH_4^+) om in nitrietionen (NO_2^-) en nitraatbacteriën zetten nitrietionen om in nitraationen.

- Nitrificerende bacteriën zijn aerobe bacteriën: ze zijn actief in een zuurstofrijke bodem.
- Denitrificatie: denitrificerende bacteriën zetten nitraationen om in gasvormige stikstof (N_2).
 - Denitrificerende bacteriën zijn anaerobe bacteriën: ze zijn actief in een zuurstofarme bodem.
- Stikstofbinding of stikstoffixatie: stikstofbindende bacteriën zetten gasvormige stikstof om in ammoniak of ammonium.
 - Stikstofbinding kan alleen plaatsvinden onder anaerobe omstandigheden.
 - Stikstofbindende bacteriën: vrij levend in de bodem en in de wortelknolletjes van vlinderbloemige planten.
 - Fotochemische stikstofbinding: bij onweer reageert gasvormig stikstof met ozon (O_3), waarbij nitraat ontstaat.

6.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt de oorzaken en gevolgen van eutrofiëring van water uitleggen en mogelijke oplossingen hiervoor aandragen.

- Zelfreinigend vermogen van water: reducenten zetten organische afvalstoffen om in anorganische stoffen.
 - In stabiele zoetwaterecosystemen is de productie van organische stoffen in evenwicht met de afbraak.
- Eutrofiëring (vermesting): sterke toename van de hoeveelheid anorganische stoffen (vooral fosfaat en nitraat) in oppervlaktewater.
- Oorzaken van eutrofiëring:
 - overbesteding met drijfmest
 - bemesting met kunstmest
- Door afspoeling en uitspoeling komen de anorganische stoffen terecht in het oppervlaktewater.
 - Afspoeling: een deel van de mest spoelt van het land af naar het oppervlaktewater.
 - Uitspoeling: een deel van de anorganische stoffen spoelt via het grondwater uit naar het oppervlaktewater.
- Gevolgen van eutrofiëring:

- Verandering van de soortensamenstelling treedt op.
- Waterbloei: sommige soorten waterplanten, bijv. algen, breiden zich enorm uit en kleuren het water groen.
- Gevolgen van waterbloei:
 - Veel ondergedoken planten sterven doordat er minder licht in het water doordringt.
 - Algen leven kort en sterven snel.
 - Hierdoor zijn er grote hoeveelheden organische afvalstoffen.
 - Reducenten vermeerderen zich snel en verbruiken veel zuurstof.
 - Waterdieren sterven door zuurstofgebrek.
 - De hoeveel organisch materiaal neemt toe (met als gevolg meer reducenten en meer zuurstofgebrek).
 - Uiteindelijk ontstaat er water waarin vrijwel geen planten, dieren en reducenten meer voorkomen.

6.2.2

Je kunt uitleggen op welke manieren een optimale productie van voedsel kan worden verkregen en wat de eventuele gevolgen hiervan voor de natuur zijn.

- Manieren om de voedselproductie te verhogen zijn:
 - bemesting
 - bescherming van landbouwgewassen en landbouwhuisdieren tegen ziekten en plagen
 - aanpassing van erfelijke eigenschappen van landbouwgewassen en landbouwhuisdieren
- Bemesting:
 - Door de oogst van voedingsgewassen en door uitspoeling verdwijnen voedingszouten uit de kringloop van stoffen op landbouwgrond.
 - Met drijfmest, kunstmest of groenbemesting worden weer voedingszouten (vooral nitraat en fosfaat) toegevoegd.
 - Overbemesting: er wordt meer mest op het land uitgereden dan de planten kunnen opnemen.
- Bescherming tegen ziekten en plagen:
 - Bestrijding met chemische bestrijdingsmiddelen (pesticiden). Voordeel: effectief. Nadelen: vaak niet soortspecifiek, resistentie, persistentie en accumulatie.
 - Resistent: de soort die wordt bestreden wordt ongevoelig voor het bestrijdingsmiddel.
 - Persistente stoffen: kunnen niet of zeer langzaam op een natuurlijke manier worden afgebroken.
 - Accumulatie: als een pesticide niet wordt afgebroken, neemt de concentratie in elke schakel van de voedselketen naar verhouding toe.

- Sommige bestrijdingsmiddelen zijn biologisch afbreekbaar en daardoor minder schadelijk.
- Mechanische bestrijding met werktuigen, machines, gereedschappen of handmatig. Voordeel: minder gifstoffen. Nadelen: arbeidsintensief, machines stoten CO₂ uit.
- Biologische bestrijding: bijv. schadelijke organismen bestrijden met hun natuurlijke predatoren (bijv. bestrijding van witte vlieg met sluipwespen) of door het toepassen van wisselteelt (vruchtwisseling).
- Aanpassing van erfelijke eigenschappen van organismen:
 - Veredeling: het veranderen van de erfelijke eigenschappen van voedingsgewassen en landbouwhuisdieren door kunstmatige selectie en kruising.
 - Kunstmatige selectie: de veredelaar of fokker selecteert individuen met de gewenste eigenschap(en) om te kruisen.
 - Genetische modificatie: met behulp van speciale (recombinant-DNA-)technieken wordt het DNA van een organisme veranderd.
- Overbevissing: er wordt meer gevangen dan er door natuurlijke aanwas bijkomt.
 - Grootschalige visserij zorgt voor aantasting van ecosystemen en afname van de biodiversiteit in oceanen.

6.2.3

Je kunt de verschillen in de wijze van voedselproductie in de gangbare en de biologische landbouw beschrijven.

- Gangbare landbouw:
 - Monocultuur: er wordt maar één soort gewas geteeld op een groot landbouwareaal. Voordeel: efficiënte bewerking van het land. Nadeel: grotere kans op ziekten en plagen.
 - Voordeel: grootschalig, er kan veel en betaalbaar voedsel worden geproduceerd. Nadeel: leidt tot veel milieuproblemen.
- Biologische landbouw:
 - kleinschalig: verschillende soorten voedingsgewassen op kleine stukken grond
 - geen kunstmest
 - past vooral mechanische en biologische bestrijding toe
 - duurzamer
 - diervriendelijker
 - nadelen: lagere productiviteit, vereist andere vaardigheden en is tijdrovend

6.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt uitleggen wat de oorzaken en gevolgen van het versterkte broeikaseffect zijn.

- Broeikaseffect: gassen in de atmosfeer houden warmtestraling van de aarde vast.
 - De belangrijkste natuurlijke broeikasgassen zijn koolstofdioxide, methaan, lachgas en waterdamp.
- Versterkt broeikaseffect: door extra uitstoot van broeikasgassen door de mens houdt de atmosfeer meer warmte vast, waardoor de temperatuur op aarde stijgt.
- Oorzaken versterkt broeikaseffect:
 - Vooral: stijging van de CO₂-concentratie in de atmosfeer door toename van de verbranding van fossiele brandstoffen en verandering van landgebruik en ontbossing.
 - Uitstoot van methaan (CH₄). Methaan wordt gevormd bij de afbraak van organische stoffen door anaerobe bacteriën. Belangrijke bronnen: veeteelt, winning van fossiele brandstoffen, vuilstortplaatsen en rijstvelden.
 - Uitstoot van lachgas (N₂O). Lachgas wordt vooral gevormd door bacteriën tijdens de nitrificatie en denitrificatie van nitraat in de bodem en in water, mestopslagen of composthoppen. Veeteelt is dus een belangrijke bron.
 - Uitstoot van fluorgassen: de enige broeikasgassen die geen natuurlijke oorsprong hebben. Ze worden geproduceerd voor industriële doeleinden. De emissie is beperkt, maar het zijn wel zeer sterke broeikasgassen.
 - Het natuurlijke broeikasgas waterdamp (H₂O) versterkt de opwarming die wordt veroorzaakt door de uitstoot van andere broeikasgassen.
- Gevolgen van versterkt broeikaseffect:
 - Klimaatverandering: stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde.
- De effecten van klimaatverandering hebben over de hele wereld gevolgen voor de mens en de natuur:
 - stijging van de zeespiegel (zeewater zet uit en pool- en gletsjerijs smelt)
 - extremere weersomstandigheden, bijv. periodes van droogte of extreme neerslag, overstromingen, heftige orkanen
 - tekort aan zoetwater
 - afname van de opbrengst van de landbouw
 - verzuring van oceanen
 - verplaatsing van planten- en diersoorten, waardoor de soortensamenstelling van ecosystemen verandert
 - afname van de biodiversiteit

6.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt de voornaamste oorzaken en gevolgen van milieuproblemen toelichten.

- Oorzaken van milieuproblemen:
 - De hoge bevolkingsdruk: de bevolking groeit sterk, maar de beschikbare hulpbronnen niet.
 - De veranderde wijze van leven: industriële productie, chemische en technische ontwikkeling, grootschalige landbouw, veranderde infrastructuur en welvaartsgroei.
- Gevolgen van milieuproblemen:
 - Milieuvervuiling door afvalstoffen: vervuiling van lucht (bijv. met fijnstof), bodem (bijv. met persistente toxische stoffen) en water (bijv. met microplastics).
 - Uitputting van grondstoffen.
 - Aantasting van het landschap en ontbossing: natuurlijke ecosystemen zijn op grote schaal verdwenen, de natuur is in kleine stukjes verdeeld (versnippering) en vernietiging van habitats.
 - Klimaatverandering.
 - Gevolgen voor de biodiversiteit: veel soorten organismen kunnen niet snel genoeg evolueren om te overleven en sterven uit. Bepaalde soorten die dat wel kunnen, krijgen de overhand. Dit leidt tot verlies aan biodiversiteit.

6.4.2

Je kunt uitleggen wat duurzame ontwikkeling is.

- Duurzame ontwikkeling: als kan worden voorzien in de behoeften van de huidige generatie mensen zonder de behoeften van de toekomstige generaties en de natuur in gevaar te brengen.
- Voorbeelden van duurzame processen:
 - hergebruik: producten of delen daarvan worden hergebruikt
 - recycleren: het opnieuw gebruiken van grondstoffen en materialen voor een vergelijkbaar doel of voor een ander doel
- Energietransitie: de overgang van het gebruik van fossiele brandstoffen voor de energieproductie naar het gebruik van hernieuwbare en duurzame energiebronnen.
 - Duurzame energiebronnen: het gebruik ervan heeft geen effect op het milieu. Er komen bijv. geen broeikasgassen in de atmosfeer.
 - Hernieuwbare energiebronnen: raken niet op.
 - Voorbeelden van duurzame en hernieuwbare energiebronnen: de zon, wind, waterkracht, aardwarmte of biobrandstof. Biobrandstoffen worden gemaakt uit organisch materiaal.

- Energiebesparende maatregelen, bijv. isolatie van gebouwen.
- Duurzame voedselproductie, met maatregelen om de ecologische footprint van voedingsmiddelen te verkleinen:
 - Verkleining veestapel. Plantaardige voedingsmiddelen hebben een veel lagere footprint dan dierlijke producten.
 - Lokale voedselproductie.
 - Beperking van het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen en mest.
 - Precisielandbouw (smart farming) toepassen.
 - Verticale landbouw in bijv. leegstaande kantoren.
 - Ledlampen gebruiken in de glastuinbouw.
- Natuurbeheer: het beheren en beschermen van de natuur met als doel om de biodiversiteit te behouden.
 - Met behulp van indicatorsoorten kan verandering of verontreiniging van het milieu worden gesignaleerd en gemeten.
 - Rode lijst: overzicht van soorten die zich in Nederland voortplanten, maar uit Nederland zijn verdwenen of dreigen te verdwijnen.
- Maatregelen voor natuurbescherming:
 - De natuur haar gang laten gaan, waardoor een spontane successie op gang kan komen.
 - Actief beheer, zoals kappen, maaien of dieren laten grazen.
 - Aanbrengen van variatie in het landschap.
 - Tegengaan van versnippering door natuurgebieden met elkaar te verbinden met bijv. ecoducten, dassentunnels, boombruggen en ecoduikers.
 - Bescherming van organismen op de Rode lijst door opname in de Wet natuurbescherming.
- Duurzaamheid: de maatschappij kan voor onbepaalde tijd productief blijven, zonder dat dit ten koste gaat van de omgeving.
 - Door recyclen en hergebruik zijn er minder grondstoffen nodig en wordt er minder afval geproduceerd. Producten die niet kunnen worden hergebruikt of recyclebaar zijn, eindigen bij het restafval.
 - Door gebruik van duurzame energie neemt de vervuiling af en er is geen risico op uitputting.
 - Door duurzame voedselproductie neemt de kans op vervuiling en uitputting af. Voedselverspilling dient ook te worden tegengegaan.
 - Door natuurbescherming worden natuurlijke ecosystemen beschermd / hersteld en wordt de afname van biodiversiteit tegengegaan.

SAMENHANG

- 6.S.1** Je kunt de invloed van duurzame voedselproductie door de mens toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 6.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en systeemdenken toepassen op duurzame voedselproductie.

ONDERZOEK – PRACTICA

- 6.O.1** Je kunt onderzoeken of de kleur (golflengte) van licht invloed heeft op de groei en ontwikkeling van planten.



Ga naar de *Flitskaarten en Oefentoets*.

EXAMENOPGAVEN

ZEEGRASHERSTEL IN DE WADDENZEE

Naar: examen vwo 2022-1, vraag 11.

Zeegrasvelden zijn ecosystemen die bijdragen aan een grote biodiversiteit in kustgebieden. Van de 15 000 hectare zeegras die oorspronkelijk in de Nederlandse Waddenzee aanwezig was, is nu nog maar zo'n vijf hectare over. De Waddenvereniging, Rijkswaterstaat en Natuurmonumenten proberen nu de zeegrasvelden weer te herstellen.

Groot zeegras (*Zostera marina*) is een zaadplant die permanent in brak en zout water kan leven. Groot zeegras kent twee varianten: een flexibele eenjarige variant en een robuuste variant die meestal meerjarig is. Als gevolg van een wereldwijd optredende ziekte, stierf de robuuste variant van groot zeegras rond 1930 in de Nederlandse Waddenzee uit. Herintroductie van de robuuste variant van groot zeegras is alleen mogelijk als zowel de visserij met sleepnetten als de eutrofiëring van het water wordt beperkt.

- 3p 1 Beredeneer hoe eutrofiëring van het water een succesvolle herintroductie van de robuuste variant van het groot zeegras kan belemmeren.

FOSFIETBEMESTING IN STRIJD TEGEN ONKRUID

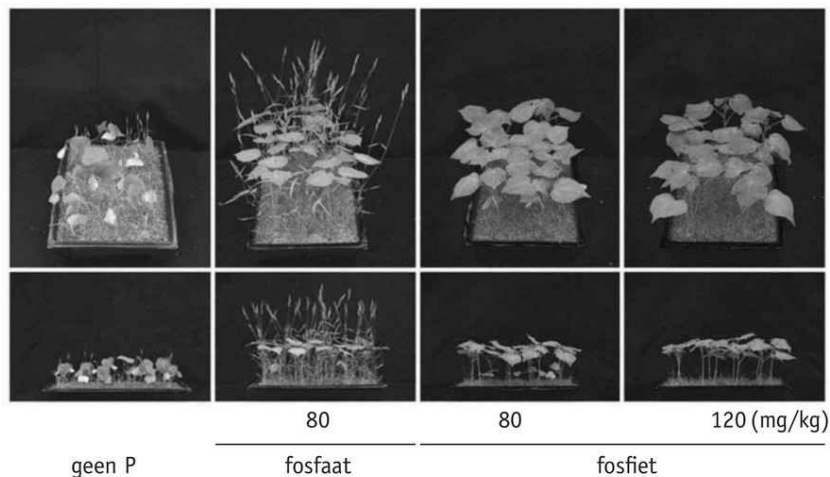
Naar: examen vwo 2022-3, vraag 17, 21, 22 en 23.

Glyfosaat is een herbicide (onkruidbestrijdingsmiddel) en is schadelijk voor organismen die in water leven. De concentratie glyfosaat die aanwezig is in het oppervlaktewater, is echter laag. Uit een onderzoek blijkt dat de halveringstijd van glyfosaat in het aquatisch milieu 7 tot 14 dagen is.

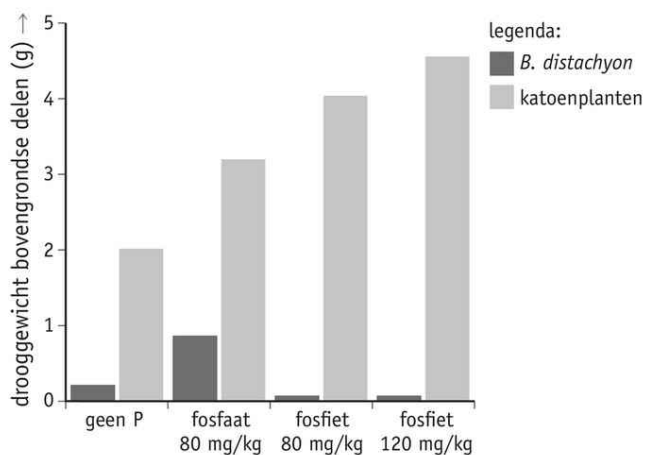
- 1p 2 Licht toe of deze informatie erop wijst dat glyfosaat een persistent bestrijdingsmiddel is.

In een vervollexperiment werden zaden van transgene katoenplanten ingezaaid, samen met zaden van het grasachtige onkruid *Brachypodium distachyon*. De planten werden opgekweekt in een proefopstelling met een bodem zonder fosforbron, in een proefopstelling met een bodem met fosfaat, en in twee proefopstellingen met bodems met verschillende hoeveelheden fosfiet. In afbeelding 1 zijn de planten te zien na zes weken (gezien vanaf schuin-boven en vanaf de zijkant). In afbeelding 2 is het totale drooggewicht na zes weken van de bovengrondse delen van drie representatieve planten uit elke proefopstelling weergegeven.

■ **Afb. 1** Transgene katoenplanten en het grasachtige onkruid *Brachypodium Distachyon*.



■ **Afb. 2** Het totale drooggewicht na zes weken.



Een milligram fosfiet bevat meer fosfor dan een milligram fosfaat, maar dit is niet voldoende om het verschil in groei van de transgene katoenplanten op de proefopstellingen met fosfaat (80 mg/kg) en fosfiet (80 mg/kg) te verklaren.

- 2p **3**
- Geef de oorzaak van het verschil in nettoproductie van *B. distachyon* in deze twee proefopstellingen.
 - Geef de voornaamste oorzaak van het verschil in nettoproductie van de transgene katoenplanten in deze twee proefopstellingen.

Om fosfiet in de akkerbouw toe te passen als effectieve onkruidbestrijdingsmethode, zal de bemesting moeten worden aangepast. Na de oogst moet met fosfiet worden bemest en moet de stikstofvoorraad worden aangevuld.

Twee manieren om de stikstofvoorraad aan te vullen zijn:

- drijfmest (urine en uitwerpselen van vee) uitrijden.
- groenbemesting toepassen door er vlinderbloemigen te laten groeien die in symbiose leven met knolletjesbacteriën, en die vervolgens onder te ploegen.

- 2p **4** Beredeneer dat:
- drijfmest niet geschikt is als aanvulling op fosfietbemesting in de strijd tegen onkruid.
 - groenbemesting niet toepasbaar is.

Als gevolg van kunstmestgebruik in de landbouw komt veel fosfaat in het oppervlaktewater, wat leidt tot algenbloei.

- 1p **5** Beargumenteer of algenbloei zal optreden bij gebruik van fosfiet in plaats van fosfaat.

HUIDMONDJES IN DE MIDDELEEUWEN

Naar: examen vwo 2021-2, vraag 26 en 27.

Aan het eind van de middeleeuwen, vanaf ongeveer het midden van de vijftiende eeuw, was het klimaat gedurende enkele decennia koeler. De frequentie van strenge winters op het noordelijk halfrond nam toe. Deze periode wordt de kleine ijstijd genoemd.

De lage temperaturen gedurende de kleine ijstijd gingen gepaard met een lichte daling van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer. Uit analyses van de huidmondjesdichtheid in de bladresten uit de bodemmonsters blijkt de CO_2 -concentratie echter al af te nemen vanaf de tweede helft van de veertiende eeuw.

De lagere CO_2 -concentratie in de atmosfeer in de kleine ijstijd kan hebben bijgedragen aan de daling van de temperatuur.

- 1p **6** Verklaar dat een lagere CO_2 -concentratie in de atmosfeer een lagere temperatuur tot gevolg kan hebben.

Het is het aannemelijk dat de daling van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer vanaf 1350 is veroorzaakt door de pestepidemie die West-Europa toen teisterde. Door deze epidemie stierf een derde van de bevolking van Europa. Uit de pollenanalyses van de bodemmonsters blijkt dat er veranderingen in de vegetatie optraden tijdens de pestepidemie. Er wordt steeds minder stuifmeel van granen en grassen aangetroffen, terwijl het aandeel stuifmeel van bomen en struiken toeneemt.

Deze veranderingen in vegetatie zouden hebben geleid tot een afname van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer.

- 3p **7** Beredeneer hoe door de pestepidemie de veranderingen in de vegetatie en de afname van de CO_2 -concentratie tot stand kunnen zijn gekomen.

KORAALVERBLEKING

Naar: examen vwo 2021-3, vraag 5.

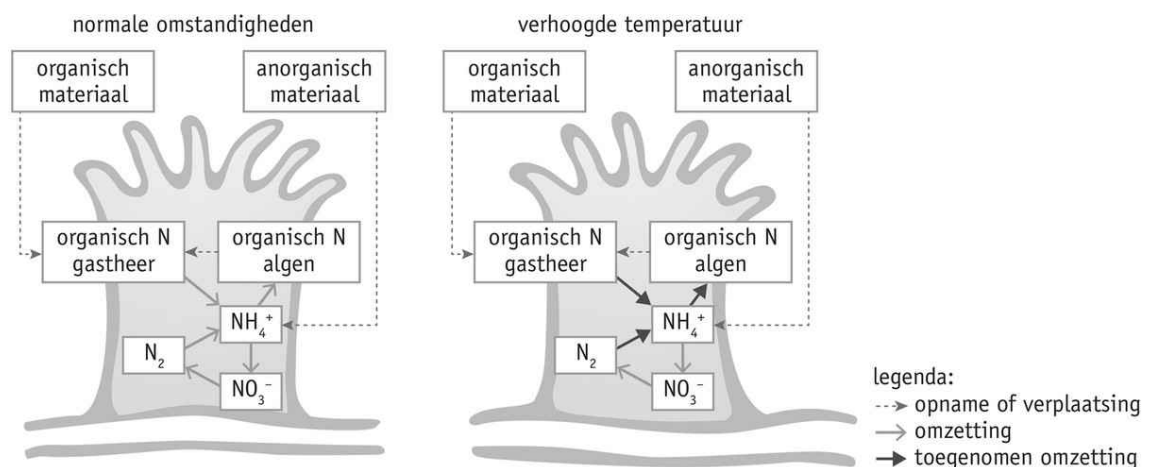
Koraalriffen in tropische oceanen zijn de grootste structuren die door organismen op aarde zijn gevormd. Deze waardevolle ecosystemen worden in hun voortbestaan bedreigd door klimaatverandering.

Koraalriffen worden opgebouwd door kolonievormende koraaldieltjes. De koraaldieltjes hebben een bekervormig uitwendig skelet van kalk (CaCO_3), waarmee ze zijn vastgehecht aan elkaar en aan de ondergrond. Het rif groeit doordat de kalkskeletten steeds boven elkaar worden afgezet.

Elk koraaldieltje heeft rondom de mondopening een ring van tentakels met netelcellen, waarmee het plankton en kleine diertjes uit het water vangt. De koraaldieltjes leven bijna allemaal in symbiose met verschillende soorten zoöxanthellen. Deze eencellige algen horen alle tot het geslacht *Symbiodinium*. Zoöxanthellen leven in cellen van de tentakels van de koraaldieltjes en produceren daar organische stoffen en zuurstof, die door de koraaldieltjes worden gebruikt. Koraaldieltjes zijn ook gastheren voor andere symbionten, zoals bacteriën die een rol spelen in de stikstofkringloop. Als de temperatuur van het zeewater stijgt, wordt de groei van zoöxanthellen bevorderd.

In afbeelding 3 is weergegeven welke veranderingen in dat geval optreden bij de opname en omzetting van stikstofverbindingen in de koraaldieltjes met hun symbionten.

■ **Afb. 3** Veranderingen bij koraaldieltjes met symbionten.



Enkele processen in de stikstofkringloop zijn:

- 1 nitrificatie
- 2 denitrificatie
- 3 stikstoffixatie
- 4 stikstofassimilatie

- 2p **8** Noteer de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar en schrijf erachter of het proces wel of niet toeneemt in koraaldieltjes met hun symbionten als de watertemperatuur stijgt.

 [Ga naar de Examentrainer.](#)

[illegible]

REGISTER

A		D			
aanpassing	33	denitrificatie	163	geslachtelijke voortplanting	32
abiotische factoren	91	dissimilatie	115	gevolgen voor de	
accumulatie	173	divergentie	58	biodiversiteit	197
adaptatie	33	DNA-analyse	61	gradiëntecosysteem	129
aeroob	14	DNA-virus	24	groeicurve	106
afstamming	61	draagkracht	106		
allelen	39	duurzaamheid	198	H	
allelfrequentie	39	duurzame ontwikkeling	198	habitat	92
allopatrische soortvorming	49	dynamiek	104	hergebruik	198
ammonificatie	163	dynamisch evenwicht	104	hernieuwbare	
anaeroob	14			energiebronnen	199
analogie	59	E		heterotroof	14
anorganische stoffen	12	ecologie	90	heterozygoot	39
archaea	16	ecosysteem	91	homologie	58
assimilatie	114	effecten van		homozygoot	39
autotroof	14	klimaatverandering	188		
		eilandtheorie	49	I	
B		eiwitmantel	24	Indicatorsoorten	129
bacteriën	14	endosymbiosetheorie	14	intelt	42
beperkende factor	95	energiebesparing	200		
bestrijdingsmiddelen	172	energieproductie	199	K	
biobrandstof	200	energiestroom	113	klimaatverandering	188
biodiversiteit	15	energietransitie	199	koolstofassimilatie	114
biologisch afbreekbaar	174	epigenetica	31	koolstofkringloop	158
biologische landbouw	176	eukaryoten	14	kringlopen	158
biomassa	118	eutrofiëring	170	kunstmatige selectie	41
biotische factoren	91	exoten	105		
black smokers	14	F		L	
bottleneck effect	42	fenotype	31	levensgemeenschap	91
broeikaseffect	184	fitness	33		
broeikasgassen	184	flagellen	21	M	
bruto primaire productie		flessenhalseffect	42	meiose	32
(BPP)	119	fossiele brandstoffen	160	microklimaat	93
C		foto-autotroof	114	microplastics	196
celwand	16	fotosynthese	114	migratie	105
chemische evolutie	12	founder effect	42	milieufactoren	31
chemo-autotroof	114			milieuvervuiling	195
chemosynthese	114	G		Miller-Urey-experiment	13
chlorofyl	16	geboorte	105	modelleren	130
cirkelvormig chromosoom	14	gelaagdheid	126	mutaties	32
clade	61	gene flow	38	mutualisme	101
cladogram	61	genen	31		
climaxecosysteem	127	genenpool	39	N	
co-evolutie	41	genetic drift	42	natuurbeheer	201
commensalisme	102	genetische variatie	32	natuurlijke selectie	32
concurrentie	100	genexpressie	31	negatieve terugkoppeling	104
consumenten	115	genotype	32	netto primaire productie	
convergentie	59	genus	17	(NPP)	119
coöperatie	101	geslacht	17	niche	100
				nitrificatie	163

O		T	
oersoep	14	tolerantie	95
omslagpunt	130	tolerantiegrens	95
ontbossing	186	trofisch niveau	114
optimum	95		
organische stoffen	12	U	
overbevissing	178	uitspoeling	170
overlevingskans	32		
		V	
P		veredeling	175
parasitisme	102	versterkte broeikaseffect	184
persistent	173	verwantschap	58
pH	94	virus	24
pionierecosysteem	126	voedselketen	113
pioniersoorten	126	voedselproductie	169
piramide van aantallen	118	voedselweb	114
piramide van biomassa	118	voortgezette assimilatie	115
plasmiden	22	voortplantingssucces	33
polyploidie	53	vraat	113
populatie	38		
predatie	114	Z	
primaire successie	127	zelforganisatie	14
producenten	114		
productiviteit	119		
prokaryoten	14		
R			
radioactieve isotopen	64		
recombinatie	32		
recyclen	198		
reducenten	116		
regel van Hardy-Weinberg	39		
reproductieve isolatie	48		
resistent	173		
RNA-virus	24		
schimmels	26		
S			
secundaire successie	128		
seksuele selectie	40		
selectiedruk	33		
signaalstoffen	113		
soort	37		
soortensamenstelling	93		
sterfte	105		
stichtereffect	42		
stikstofbinding	163		
stikstofkringloop	162		
successie	126		
symbiose	101		
sympatrische soortvorming	51		

COLOFON

ONTWERP BINNENWERK

Bianca Enthoven

EINDREDACTIE

Claud Biemans

Arthur Jansen

BUREAU REDACTIE

Renske Berckmoes

Maurice Breugelmans

ONTWERP OMSLAG

Michael Brugmans (Kimmic
concept & design)

Bianca Enthoven

AUTEURS

Ronald Deumens

Robin Hulshof

Michelle Sparnaaij

BEELDRESEARCH

BenU International Picture
Service, Amsterdam

UITVOERING BINNENWERK

Crius Group

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

123RF, Sviatlana Zykava: blz. 47; ANP Foto / EPA, Csaba Krizsan: blz. 64; ANP Foto / Science Photo Library, Dennis Kunkel Microscopy: blz. 26 (15.1); ANP Foto / Science Photo Library, NASA's Goddard Space Flight Center: blz. 161; ANP Foto, Lex Broere: blz. 203; ANP Foto, Nico Garstman: blz. 202 (43); ANP Foto, Sandra Uittenbogaart: blz. 200 (41); ANP Foto, Sem van der Wal: blz. 193; ANP Foto, Your Captain Luchtfotografie: blz. 99; Bas Teunis Zoological Illustrations, Sinderen: blz. 10 (1.1, 1.2), 33 (19.1-19.3), 56, 60 (44.1-44.3); Christopher Witt / University of New Mexico: blz. 43; Claud Biemans: blz. 125, 132 (49); CMA Amsterdam: blz. 139; CNX OpenStax (CC BY 4.0) (bewerking Erik Eshuis Infographics, Groningen): blz. 109; Dreamstime, Creativenature1: blz. 139; Dreamstime, Photoweges: blz. 139; Dutch Green Building Council, Den Haag: blz. 205; Ecosim: blz. 141; Edwin Verbaal / Verbaal Visuele Communicatie, Nijmegen: blz. 159 (2, 3), 160, 164, 166, 180, 185 (25), 190, 215 (2), 217; Erik Eshuis Infographics, Groningen: blz. 13, 21, 49, 54, 81, 82 (5), 83, 95, 104 (16), 106, 107 (19, 20), 108, 110, 115 (29), 118 (33), 121 (37.1, 37.2), 122 (38, 39), 130 (46, 47), 149, 159 (1), 162, 199 (38); Gebaseerd op: Campbell (9th editie) p.1180 & C. Dijkstra et al., Brood size manipulations in the kestrel (*Falco tinnunculus*): effects on offspring and parent survival, *Journal of Animal Ecology* 59:269-285 (1990) (bewerking Erik Eshuis Infographics, Groningen): blz. 111; Getty Images, Brett Monroe Garner: blz. 192 (31.2); Getty Images, UCG: blz. 201; Henk van der Vrande: blz. 63 (48); Imageselect / Alamy Stock Photo, Danita Delimont: blz. 52 (37.1); Imageselect / Alamy Stock Photo, Imagebroker: blz. 63 (48); Jan Daanen / Medilan, Maastricht: blz. 60 (45.1, 45.2), 126; Jeannette Steenmeijer, Zwolle: blz. 12, 29, 42, 44, 62, 67 (52), 69, 80 (1, 2), 82 (4), 96 (6), 104 (15), 116, 118 (32), 119, 128 (44, 45), 132 (48), 133, 148, 171 (11), 173 (15), 174, 185 (24), 188, 195, 197 (35); Leids Universitair Medisch Centrum: blz. 30; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: blz. 15, 22, 23, 24 (13.2), 25, 53; Michiel Verhofstad: blz. 135; Nature in Stock / FLPA, Bob Gibbons: blz. 89; Nature in Stock / FLPA, Rebecca Hosking: blz. 157; Nature in Stock / Minden Pictures, Ingo Arndt: blz. 41 (27.2); Nature in Stock / Minden Pictures, Tui De Roy: blz. 52 (37.2); Nature in Stock / Minden Pictures, Norbert Wu: blz. 63 (47); Nature in Stock / Naturepl, Angelo Giampiccolo: blz. 41 (27.1); Nature in Stock / Naturepl, Sylvain Cordier: blz. 90; Pandeya et al; Selective fertilization with phosphite allows unhindered growth of cotton plants expressing the ptxD gene while suppressing weeds; doi: 10.1073/pnas.1804862115 (CC BY-NC-ND 4.0): blz. 215 (1); Paul Veenliet, Ljubljana: blz. 92, 113, 114, 115 (28), 120, 127; Plastic Soup Foundation (bewerking: Edwin Verbaal / Verbaal Visuele Communicatie, Nijmegen): blz. 156; SDG Nederland: blz. 198; Shutterstock, Adwo: blz. 36; Shutterstock, Aerovista Luchtfotografie: blz. 154; Shutterstock, Africa Studio: blz. 59 (43.4), 196 (34.1); Shutterstock, Agami Photo Agency: blz. 57; Shutterstock, Amanda Mohler: blz. 51; Shutterstock, Ana Vasileva: blz. 17; Shutterstock, AndreAnita: blz. 37 (23.2); Shutterstock, Andrei Stepanov: blz. 186 (27); Shutterstock, ArchMan: blz. 59 (43.2); Shutterstock, Ariena: blz. 124; Shutterstock, Bjoern Wylezich: blz. 20; Shutterstock, Catherine Eckert: blz. 179; Shutterstock, Charoen Krung Photography: blz. 182; Shutterstock, ChiccoDodiFC: blz. 38 (24); Shutterstock, D. Kucharski K. Kucharska: blz. 17; Shutterstock, Danny Ye: blz. 67 (51); Shutterstock, Dartrey: blz. 105; Shutterstock, Debra James: blz. 192 (31.1); Shutterstock, DimLiya: blz. 37 (23.1); Shutterstock, Dusan Zidar: blz. 17; Shutterstock, Edgloris Marys: blz. 24 (13.1); Shutterstock, Eric Isselee: blz. 17, 63 (47, 48); Shutterstock, Erni: blz. 136 (2); Shutterstock, FineShine: blz. 17; Shutterstock, fivespots: blz. 63 (47); Shutterstock, frantic00: blz. 74; Shutterstock, Gary Proctor: blz. 31; Shutterstock, GoodFocused: blz. 17; Shutterstock, Gudkov Andrey: blz. 6; Shutterstock, Harinnita Detta: blz. 199 (39); Shutterstock, Holger Kirk: blz. 88; Shutterstock, IanRedding: blz. 41 (26); Shutterstock, Irina Maksimova: blz. 59 (43.1); Shutterstock, Jason Benz Bennee: blz. 204; Shutterstock, Jiang Hongyan: blz. 176; Shutterstock, Jim Cumming: blz. 96 (7.2); Shutterstock, juerginho: blz. 102 (14); Shutterstock, kakteen: blz. 197 (36); Shutterstock, Kawin Jiaranaaisakul: blz. 35; Shutterstock, Kevin Wells Photography: blz. 117; Shutterstock, kiattisak wannasri: blz. 186 (26); Shutterstock, Kit Leong: blz. 171 (12); Shutterstock, Lebendkulturen.de:

blz. 91 (2.1); Shutterstock, Levent Konuk: blz. 17; Shutterstock, Liliya Kulianionak: blz. 38 (25); Shutterstock, Liz Weber: blz. 9 (2); Shutterstock, lunamarina: blz. 63 (47); Shutterstock, maggee: blz. 17; Shutterstock, Maggy Meyer: blz. 102 (13); Shutterstock, Magic Orb Studio: blz. 86; Shutterstock, Mahathir Mohd Yasin: blz. 176; Shutterstock, mariait: blz. 17; Shutterstock, Mark Byer: blz. 97; Shutterstock, Martin Fowler: blz. 176; Shutterstock, Martin Mecnarowski: blz. 59 (43.3); Shutterstock, Martins: blz. 59 (43.1-43.4); Shutterstock, Medvedeva Oxana: blz. 172 (14); Shutterstock, MG Best For You: blz. 176; Shutterstock, Moniek Spaans: blz. 136 (1); Shutterstock, Mr. Tham Tharawattantham: blz. 176; Shutterstock, MyStockVideo: blz. 189; Shutterstock, NadyGinzburg: blz. 196 (34.3); Shutterstock, New Africa: blz. 34 (20.2); Shutterstock, Ngukia: blz. 175; Shutterstock, Nicolas Primola: blz. 34 (20.1); Shutterstock, Nikolay_E: blz. 208; Shutterstock, Ondrej Prosicky: blz. 98; Shutterstock, Orla: blz. 68; Shutterstock, Peter Fodor: blz. 202 (44); Shutterstock, Piotr Wytrazek: blz. 26 (15.2); Shutterstock, Rosa Jay: blz. 63 (48); Shutterstock, RRichard29: blz. 96 (7.1); Shutterstock, Sabine Schemken: blz. 176; Shutterstock, Sarah2: blz. 168; Shutterstock, Simeon Barendse: blz. 9 (1); Shutterstock, Souradip Sinha: blz. 112; Shutterstock, Stu Porter: blz. 101 (11); Shutterstock, Tjeerd Kruse: blz. 172 (13); Shutterstock, Utekhina Anna: blz. 17; Shutterstock, vadviz.studio: blz. 91 (2.2); Shutterstock, Valerii Evlakhov: blz. 63 (47); Shutterstock, Vitaly Titov: blz. 63 (48); Shutterstock, WildMedia: blz. 121 (36); Shutterstock, Wirestock Creators: blz. 196 (34.2); Shutterstock, Worachat Tokaew: blz. 163; Shutterstock, Zamytskiy Leonid: blz. 101 (12); Shutterstock, Zapp2Photo: blz. 200 (40); Shutterstock: blz. 17, 63 (48); Theo Peeters Fotografie, Ottersum: blz. 206; Wim Euverman, Utrecht: blz. 48, 91 (2.3).

Omslag: Adobe Stock / Tony

MALMBERG

ISBN 978 94 020 6870 2

Release 7.0, vierde oplage



Alle rechten voorbehouden. Geen tekst- en datamining toegestaan. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen

te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

©2025 Malmberg 's-Hertogenbosch.

Ondanks vele inspanningen is het de uitgever misschien niet gelukt alle rechthebbenden te achterhalen. Wie denkt recht-hebbende te zijn, kan zich wenden tot de uitgever.

Eindredactie

Claud Biemans

Arthur Jansen

Auteurs

Ronald Deumens

Robin Hulshof

Michelle Sparnaaij

Biologie voor jou voor de bovenbouw van het vwo bestaat uit vijf boeken. Je leert in klas 4, 5 en 6 onder andere over de ontwikkeling van organismen. Ook jij maakt een ontwikkeling door: van een beginnening tot iemand met een goede kennis van de biologie.



Als de eieren na twee weken uitkomen, zitten de jongen nog een dag of tien op het nest. Hun voedsel bestaat uit wormen en andere bodemdieren, insecten en fruit. Als de jongen uitvliegen, worden ze nog een paar weken verzorgd door vaak alleen het mannetje. Het vrouwtje begint alvast aan een nieuw nest.



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

Release 7.0



ISBN 978 94 020 6870 2



9 789402 068702

596130-04

MALMBERG