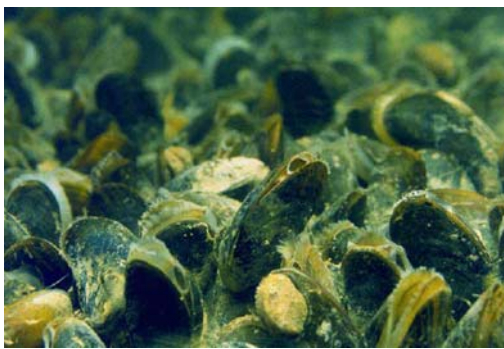


René Westra

Systeemdenken in de ecologie:
modelleren van ecosystemen

Mosselkweek in de Oosterschelde en Konijnen in het Noordhollands Duinreservaat



Universiteit Utrecht
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen

Voorwoord

Dit lesmateriaal is ontwikkeld voor gebruik bij een promotieonderzoek waarin ‘in de klas’ bestudeerd wordt of het mogelijk is om complexe en dynamische processen die zich afspelen in een ecosysteem, duidelijk te maken aan leerlingen in de bovenbouw van het vwo die biologie hebben gekozen of in hun profiel hebben. Hoe meer factoren bij processen betrokken zijn, hoe groter de complexiteit. En processen zijn dynamisch als de betrokken factoren in de loop van de tijd van waarde veranderen en elkaar onderling beïnvloeden.

Het gaat in dit boekje om twee werkelijk bestaande praktijken waarbij onderzoek aan ecosystemen heel belangrijk is. Allereerst komt de mosselkweek in de Oosterschelde aan de beurt. Onderzocht wordt hoe allerlei factoren de groei van een groot aantal (consumptie)mosselen in dat getijdengebied beïnvloeden. Door gerichte menselijke ingrepen wordt een aantal factoren daar constant gehouden. Daarna gaat het om een heel andere praktijk: natuurbeheer in het Noordhollands Duinreservaat en vooral het beheer van de daar levende populatie konijnen. Daarbij heeft de mens veel minder factoren in de hand. Je krijgt inzicht in de oorzaken van de dynamiek (schommelingen in aantal) die je bij konijnen en de hen omringende populaties ziet als je ze een aantal jaren zou volgen. Het belang van plantengroei, vijanden en ziekten voor de dynamiek van konijnen, dat alles komt aan de orde.

In de proloog kun je leren hoe het computerprogramma *Powersim* werkt. Later leer je hoe je *Powersim* kunt gebruiken voor het modelleren van bovengenoemde complexe en dynamische processen die zich afspelen in ecosystemen. Met ‘modelleren’ wordt bedoeld het ontwerpen, bouwen en testen van een computermodel.

Naast dit lesmateriaal is er nog een uitgebreide *basishandleiding* voor gebruik van het computerprogramma *Powersim* beschikbaar. Deze handleiding geeft een overzicht van de basishandelingen waarmee je in de computer modellen bouwt.

Aan de ontwikkeling van dit lesmateriaal werkten mee:

Kerst Boersma

Sandra Elzinga

Elwin Savelsbergh

Dirk Slagter

Arend Jan Waarlo

Dirk van der Wulp

Daarnaast ben ik veel dank verschuldigd aan prof. dr. Peter Herman en dr. Wolf Mooij van het NIOO voor hun uitgebreide advisering, aan Inge Lichtenegger van het Centrum voor de vormgeving en aan Elly Langewis van het CPIO voor het maken van de animatie “Plankton”.

De homepage van de groep die allerlei *Powersim*-modellen ontwikkelt vind je bij:
<http://www.cdbeta.uu.nl/vo/modelleren/default.php>

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen

Universiteit Utrecht

Postbus 80.000

3508 TA Utrecht

Systeemdenken in de ecologie: modelleren van ecosystemen. Mosselkweek in de Oosterschelde en konijnen in het Noordhollands Duinreservaat, René Westra (eindred.)

© 2006, 2^e druk, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht

Deze publicatie mag in ongewijzigde vorm worden verveelvoudigd en verspreid ten behoeve van niet commercieel gebruik in het onderwijs, mits met vermelding van deze bepaling en van het bovenstaande copyright. Voor alle andere vormen van openbaarmaking is schriftelijke toestemming van de Universiteit Utrecht vereist.

Powersim en *Powersim Constructor* zijn geregistreerde handelsmerken van Powersim. Constructor Lite versie 2.51 mag kosteloos verspreid worden t.b.v. niet-commercieel schoolgebruik. Powersim levert echter geen technische ondersteuning bij deze versie van de software.

Inhoud

<i>Proloog: Kennismaken met Powersim</i>	1
1. <i>Inleiding ecosystemen</i>	5
2. <i>Een mossel: voeding, vlees- en drooggewicht</i>	13
3. <i>Naar een kwantitatieve voorspelling van de groei</i>	17
4. <i>Dubbel zaaien, dubbel oogsten?</i>	25
5. <i>Andere dieren</i>	33
6. <i>Kapers op de kust (keuzestof)</i>	36
7. <i>Een ander ecosysteem</i>	40

Proloog: Kennismaken met Powersim

Model van een lekkende emmer maken.

Om een beetje thuis te raken in het computerprogramma Powersim, volgt hier eerst een korte kennismaking aan de hand van het bouwen van een model van een lekkende emmer.

De termen die hier gebruikt worden, staan uitgelegd in de uitgebreide Basishandleiding bij 'Nieuw model bouwen, bestaand model aanpassen' op blz. 17.

Gebruik de volgende werkvolgorde.

I Symbolen plaatsen



A Voorraadgrootte plaatsen

- 1 Klik op de button 'Voorraadgrootte'. Links zie je hoe die er uit ziet.
- 2 Klik in het blanco modelvenster. De voorraadgrootte staat er. Het onderschrift is nog zwart.
- 3 Tik 'water in emmer'. De 'underscores' - de streepjes onder de regel - ontstaan vanzelf bij het tikken van spaties.
- 4 Klik buiten de voorraadgrootte.



B Stroomgrootte plaatsen

- 1 Klik op de button 'Stroomgrootte'. Links zie je weer het symbool.
- 2 Klik midden in de zojuist geplaatste voorraadgrootte en sleep naar rechts.
- 3 Tik 'uitstroom'.
- 4 Klik buiten de stroomgrootte.



C Relatiepijl aanbrengen

- 1 Klik op de button 'Relatiepijl'.
- 2 Klik midden in de voorraadgrootte en sleep (met een boog) naar de stroomgrootte, totdat de stroomgrootte zwart wordt.



D Constante plaatsen

- 1 Klik op de button 'Constante'.
- 2 Klik ergens waar de constante moet komen. De plek is niet zo belangrijk.
- 3 Tik 'grootte gat'.

E Laatste relatiepijl aanbrengen

- 1 De tweede relatiepijl plaatsen (van 'grootte_gat' naar 'uitstroom').

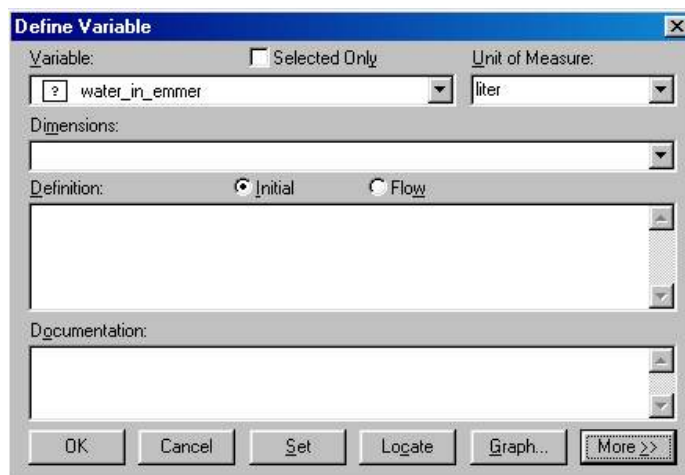
II Samenhang en grootte van factoren

We gaan uit van een emmer met een inhoud van 12 liter en van een gat van 2 cm^2 .

De vraagtekens in de symbolen moeten nog weg, want anders werkt het model niet. De factoren moeten daartoe een grootte hebben, maar ook moet aangegeven worden op welke manier de factoren elkaar beïnvloeden, de relatie dus.

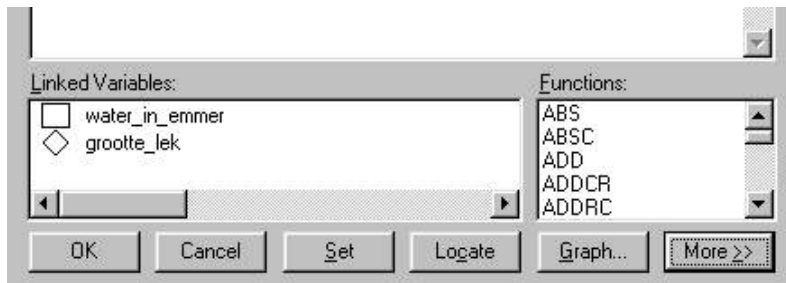
Neem daarvoor eerst de symbolen waar alleen maar relatiepijlen *beginnen*. Hier zijn dat 'water_in_emmer' en 'grootte_gat'.

- 1 Hiertoe *dubbelklik* je in een symbool met een vraagteken. In dit model begin je met de voorraadgrootte 'water_in_emmer'.
Het volgende dialoogvenster verschijnt:



- 2 Je moet aangeven hoe groot de voorraadgrootte is. Je gaat (zoals eerder vermeld) uit van 12 liter water in de emmer. Je klikt daarvoor in het vak 'Definition' en tikt er 12 in. Het is de beginhoeveelheid, dus het keuzerondje bij 'Initial' (Engels: begin) staat voor deze situatie standaard goed aangeklikt.
- 3 De eenheid (Engels: unit) mag je zelf bedenken en hoeft je niet in te vullen, maar voor het begrip van wat je aan het doen bent is het verstandig om de eenheid vast te leggen. Vul dan bij 'Unit of Measure' 'liter' in ($1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3$) en druk op 'OK'.
- 4 Dubbelklik op 'grootte_gat' en vul bij 'Definition' in hoe groot het gat is. De grootte van het gat is (zoals eerder vermeld) 2 cm^2 . Dat betekent dus $0,02 \text{ dm}^2$. Vul bij 'grootte_gat' dus 0.02 in en druk op 'OK'.
Powersim is Engelstalig, dus moet je 0.02 (let op de punt) intypen, niet 0,02.

- 5 Nu blijft 'uitstroom' met een vraagteken over. Dubbelklik hierop. We gaan aangeven hoe de uitstroom samenhangt met de hoeveelheid water in de emmer en de grootte van het gat. Als de onderkant van het dialoogvenster er uitziet als de figuur hieronder hoeft je dat venster niet te veranderen.



Als 'Linked Variables' en 'Functions' niet te zien zijn, klik je op het knopje onderaan met 'More>>'. Het dialoogvenster wordt dan uitgebreid zoals hierboven weergegeven. (Als in de rij knoppen onder in dit venster 'Less<<' staat, klik je daarop. In de situatie die dan ontstaat klik je op 'More>>' en pas daarna ontstaat de juiste situatie.)

In het vak 'Linked Variables' staan de factoren die via een relatiepijl met de uitstroom verbonden zijn. Dubbelklik nu op 'water_in_emmer'. De grootheid 'water_in_emmer' verschijnt nu in het vak 'Definition'.

- 6 Hierachter moet je nu in het vak 'Definition' aangeven wat het verband is met de andere 'Linked Variable'. Hiervoor kun je gebruik maken van het hokje 'Functions'. Uitleg over de betekenis van deze functies kun je vinden in de Basishandleiding bij 'Overzicht functies en formules' op blz. 23.
In ons geval levert een 2× zo groot gat ook een 2× zo grote uitstroom per tijdseenheid op, dus geeft het simpel vermenigvuldigen van de grootte van het gat met de hoeveelheid water in de emmer de relatie juist weer.
Dus tik je met je toetsenbord het vermenigvuldigingsteken * achter 'water_in_emmer' in het venster 'Definition'.
- 7 Dubbelklikken op de laatste 'Linked Variable' ('grootte_gat') plaatst hem achter het vermenigvuldigingsteken bij 'Definition'.
- 8 Sluit dit venster met 'OK'. Alle relaties zijn nu gedefinieerd en dus is het laatste vraagteken in het model nu weg.

Pas nu alle vraagtekens weg zijn, kun je het model laten lopen.

III Doorrekenen van het model



Nu wil je zien of het model werkt en wat het resultaat is. Als je op de button 'Start' klikt (zie Basishandleiding bij 'Modelresultaten berekenen' en daarvan 'Model starten' op blz. 8) wordt het model doorgerekend. Dat wordt ook wel 'runnen' genoemd. Het enige dat je daarvan ziet is een getal in een hokje boven de

voorraadgrootheid. Dat geeft aan hoe groot die voorraadgrootheid is aan het einde van het doorrekenen (hier 1,5914). Maar met een grafiek wordt duidelijker wat er gebeurt, dus zorg je dat er een grafiek ontstaat.

Klik op de button met de voorstelling van een grafiek.



- 1 Klik vervolgens op een leeg deel van het modelvenster. Er verschijnt nu een assenstelsel waar alleen 'Time' in staat langs de horizontale as. Beide assen lopen van 0 tot 100.
- 2 We willen een grafiek die laat zien hoe de hoeveelheid water in de emmer verandert. Om daarvoor te zorgen sleep je het symbool 'water_in_emmer' tot in de grafiek. Als je dan de muisknop loslaat, komt de hoeveelheid water in de emmer langs de verticale as te staan.
- 3 Klik op de button 'Start' en je ziet dat er water uit de emmer gelopen is. De exacte hoeveelheid die over is staat in een hokje boven het symbool van de voorraadgrootheid van het model.

NB Je kunt ook meer dan één grafiek in het modelvenster zetten, grafieken verplaatsen (er op klikken en slepen) en grafieken verwijderen (er op klikken en 'deleten').

IV Tijdsduur of grootte tijdstappen aanpassen

In de (standaard -)duur van 100 eenheden (seconden bijvoorbeeld) is er 1,5914 liter water over, dus is er 10,4086 liter water uit de emmer gestroomd. De tijd van 100 eenheden is dus goed om een duidelijke afname van de hoeveelheid water in de emmer te laten zien. Als je wilt zien hoeveel water er over is na dubbel zoveel tijd of als de tijd echt te kort of te lang is, pas je de tijd aan.

- 1 Dit doe je door te klikken op 'Simulate' in de menubalk.
- 2 In het menu dat zich dan ontrolt klik je op 'Simulation Setup'.
- 3 In het dialoogvenster dat dan verschijnt verander je 'Stop Time' (de tijd waarna gestopt wordt) in 200 tijdseenheden. Door op de startknop ('run') te klikken zie je weer het resultaat.

V Factoren veranderen

Je kunt het effect nu veranderen door de grootte van het gat, of de beginhoeveelheid water te veranderen. Start geeft steeds het resultaat.

1. Inleiding ecosystemen

Doel van deze lessenserie

In deze lessenserie gaat het om een gedeelte uit het onderwerp ecologie, waarmee je bezig bent. Het doel van de lessenserie is het jou mogelijk te maken om te begrijpen hoe een ecosysteem werkt, hoe de relaties in een ecosysteem in elkaar zitten, hoe organismen en allerlei niet levende factoren elkaar beïnvloeden. Daardoor kan jou hopelijk ook duidelijk worden wat de invloed kan zijn van ingrepen van de mens in een ecosysteem en omgekeerd, hoe je, bijvoorbeeld als mosselkweker, bosbouwer of duinbeheerder, een ecosysteem zo kunt beïnvloeden dat er een voor jou optimale situatie ontstaat. Maar ook dat er soms onvoorspelbare ontwikkelingen jouw plannen in de war kunnen sturen. Door te werken met computermodellen heb je de mogelijkheid om ingewikkelde situaties in ecosystemen te onderzoeken en gedurende een bepaalde tijd te volgen. Je krijgt een wat nauwkeuriger, meer kwantitatief beeld van mogelijke ontwikkelingen in bij voorbeeld het gewicht of de aantallen van bepaalde organismen in de loop van de tijd.

Je moet na de lessenserie een aantal dingen kunnen.

- I. Inzicht tonen in de complexiteit en dynamiek (zie voorwoord) van een ecosysteem.
- II. De verschillende organisatieniveaus (individueel, populatie en ecosysteem) en de kenmerken daarvan in een beschreven ecosysteem herkennen en gebruiken.
- III. Computermodellen in *Powersim* ontwerpen door schetsen op papier, de modellen bouwen op de computer, ze doorrekenen en testen.
- IV. Vragen over invloeden en ingrepen van de mens op ecosystemen beantwoorden.
- V. Het type argumenten benoemen dat mensen gebruiken vóór of tegen een bepaalde ingreep, bijvoorbeeld ecologische, economische of emotionele argumenten.

Een toets over de lessenserie

Na afloop van de lessenserie krijg je een toets. Daarin worden vragen gesteld naar aanleiding van artikelen uit kranten of tijdschriften waarin de ontwikkeling van een ecosysteem centraal staat. Dit hoeft niet persé een van de ecosystemen te zijn die in de lessenserie zijn behandeld! Enkele voorbeelden van vragen vind je hieronder. Bedenk wel dat je aan het eind van de lessenserie meer diepgaande vragen kunt krijgen en (als het goed is) ook kunt beantwoorden.

Lees de tekst op blz.7-8. Noteer de antwoorden op de naar aanleiding van die tekst gestelde vragen in de antwoordblokken op blz.6.

1. Kolganzen, grauwe ganzen en smienten komen niet in slechts één ecosysteem voor. Waaruit blijkt dat in de tekst en waardoor wordt het voorspellen van effecten van jacht dan extra moeilijk?



2. Omschrijf kort de relatie tussen landbouwschade, de drie genoemde vogelsoorten en jacht.



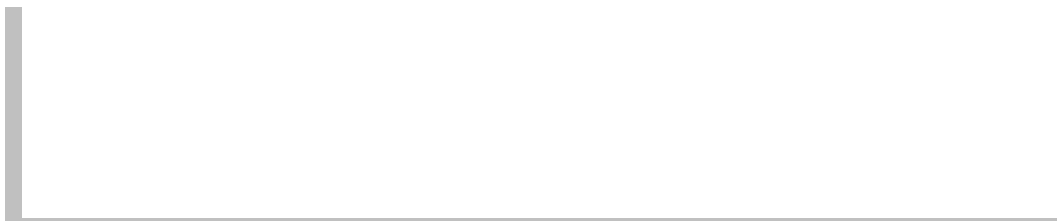
3. Wat bedoelt de schrijver met de zinsnede 'bij een jaarlijks afschot van ca. 160.000 kolganzen de populatie stabiel kan blijven rond de 800.000 vogels'?



4. Leg uit hoe door opwarming van het klimaat het broedsucces kan dalen.



5. Welke argumenten vóór of tegen jacht op deze vogels worden genoemd? Geef bij elk argument aan of het een ecologisch, economisch of emotioneel argument is.





Figuur 1: Grauwe gans (links) en smient

Gelijktijdig dat Vogelbescherming Nederland met de actie 'Tour de Gans' het Nederlandse publiek uitnodigt om naar overwinterende ganzen te gaan kijken, worden er jachtvergunningen op kolgans, grauwe gans en smient afgegeven ter voorkoming van landbouwschade. Hoe is dit mogelijk?

In de Tweede Kamer werd er bij de regering op aangedrongen de jacht op kolgans, grauwe gans en smient in beperkte zin te heropenen. Ter onderbouwing van het door het Faunafonds aan de minister van LNV uit te brengen advies betreffende het heropenen van jachtmogelijkheden op de kolgans, grauwe gans en smient is een analyse gemaakt van de te verwachten effecten van de voorgestelde maatregelen. Hierbij zijn zowel de te verwachten effecten op de aantallen en verspreiding van deze drie vogelsoorten in een internationale context beschreven, als de te verwachten effecten op de kosten die binnen Nederland gemaakt moeten worden voor ganzenopvang en vergoeding van landbouwschade.

De analyse beperkt zich tot overwinterende kolgenzen, grauwe ganzen en smienten. Het herstel van de aantallen ganzen in Nederland na 1970 is een succes voor de natuurbescherming, en heeft ertoe geleid dat het aantal in Nederland overwinterende ganzen vertienvoudigd is. Dit herstel van de ganzenpopulaties heeft echter twintig jaar geduurd, zodat de nodige voorzichtigheid geboden is en bij heropening van de jachtmogelijkheden voorkomen moet worden dat de aantallen ganzen weer gedecimeerd zouden kunnen worden. De jachtdruk zal ook internationaal afgestemd moeten worden. Het betreft immers trekvogels waarvoor Nederland een internationale verantwoordelijkheid heeft, die door het ondertekenen van internationale verdragen (Bonn-conventie, AEWA) bevestigd is.

Om de landbouwschade te beperken is het bij de huidige populatieniveaus echter zeker mogelijk de aantallen ganzen en smienten en hun verspreiding te reguleren door jacht, zonder dat deze populaties in hun voortbestaan bedreigd worden. Dit betekent een actief ingrijpen om de populatie op een gewenst aantalniveau te reguleren.

Het ziet ernaar uit dat bij een jaarlijks afschot van ca. 160.000 kolgenzen de populatie stabiel kan blijven rond de 800.000 vogels.

Mocht door andere omstandigheden (bijvoorbeeld verandering van klimaat) het broedsucces dalen, dan dient het afschot navenant bijgesteld te worden. Als de teruggezonden ringen representatief zijn voor de verdeling van de jachtdruk over de diverse landen, betekent dit een afschot in Nederland van ca. 80.000 kolgenzen per

jaar.

Voor de grauwe gans en smient zijn bij gebrek aan informatie over hun broedsucces dergelijke schattingen niet te maken, maar gezien de aantalontwikkeling en het afschot dat in Nederland plaatsvond in de periode 1990-2000, kan ook voor die soorten gesteld worden dat heropening van de jacht zoals uitgeoefend in de periode 1990-2000 deze populaties niet in hun voortbestaan zal bedreigen.

De schatting voor de kolgans ligt iets hoger dan de voorzichtige schattingen uit de jachtveldenquête, maar het is goed mogelijk dat de schattingen uit de jachtveldenquête aan de lage kant zijn.

De praktijk in de jaren negentig heeft ons geleerd dat de toen uitgeoefende jachtdruk het populatieniveau zeker niet negatief heeft beïnvloed, omdat er zelfs sprake is van enige groei.

Van belang is natuurlijk dat de overheid zich in overleg met andere landen waar deze trekkende vogelpopulaties voorkomen uitspreekt over een gewenste populatiegrootte. Het is hierbij van belang een goede balans te vinden en provinciale, nationale en internationale plannen goed op elkaar af te stemmen.

Gezien het internationale natuurbeschermingsbelang is een goede controle op de effecten van deze heropende jacht noodzakelijk, om zonodig tijdig in te kunnen grijpen. Hierbij dienen de aantallen overwinterende ganzen, hun jaarlijkse broedsucces, het aantal geschoten dieren en de invloed die de heropende jacht op de ruimtelijke verspreiding van ganzen heeft, vastgelegd en geanalyseerd te worden. Elke jager moet verplicht worden om te rapporteren wat hij schiet.

Complex en dynamisch?

Stel je voor dat je inzicht wilt krijgen in de complexiteit en dynamiek van een ecosysteem. Je hebt de keus uit drie gebieden waar de mens een beherende rol speelt:

- 1) een akker waar maïs wordt verbouwd;
- 2) een gebied in zee waar mosselen worden gekweekt en geoogst voor de consumptie;
- 3) een duinreservaat waar geprobeerd wordt om konijnen, vossen, insecten, vogels en allerlei planten te laten voortbestaan

Wat is volgens jou het meest geschikte gebied om mee te beginnen om inzicht in complexiteit en dynamiek te krijgen? Waarom kies je voor dat gebied?

De Oosterschelde

De Oosterschelde is een estuarium: een zeearm waar eb en vloed optreden en waar land, zee en zoetwater aan elkaar grenzen. In dit gebied leven allerlei soorten planten en dieren.

In Yerseke is een afdeling van het NIOO (Nederlands Instituut voor Ecologie) gevestigd. Onderzoekers van het NIOO werken aan ecosystemen van zout en brak water, zoals de Oosterschelde (zie intermezzo).

Intermezzo

De werkgroep Ecosysteem Studies bestudeert stofkringlopen in het overgangsgebied tussen rivieren en de open oceaan. In dit brakke en zoute gebied vindt onderzoek plaats naar de koppeling tussen fysische transportprocessen enerzijds en chemische en biologische omzettingsprocessen anderzijds. Vooral de invloed van de in en op de bodem levende organismen zoals schelpdieren, wormen, algen en bacteriën op de stikstof- en koolstofhuishouding krijgt veel aandacht. Veldonderzoek levert kennis op over belangrijke processen. Ook voert de groep experimenten in het laboratorium uit aan delen van dit ecosysteem, waarbij de stroomgoot een belangrijke rol speelt. De gegevens komen bij elkaar in simulatiemodellen. Daarmee hopen de onderzoekers het gedrag van het systeem beter te kunnen voorspellen.

De werkgroep Ruimtelijke Ecologie richt zich op het beschrijven en modelleren van de dynamiek van verschillende plekjes in estuaria en kustzones. Daarbij besteedt de groep vooral aandacht aan de interactie tussen de levensgemeenschappen op slikken, platen en schorren met hun niet-levende omgeving. De sterkte van stromingen, verstoring door golven, droogval bij eb en andere fysische processen bepalen in sterke mate de levensomstandigheden voor de organismen. Omgekeerd echter beïnvloedt de biologie ook de geomorfologische processen, door omstandigheden te creëren waarin sedimenten worden beschermd tegen afslag, of juist gemakkelijker worden gemobiliseerd. Uit deze wisselwerking ontstaat het estuariene 'landschap', dat we met modellen en veldstudies beter willen begrijpen.

Niet alleen de NIOO-onderzoekers zijn geïnteresseerd in de Oosterschelde.

Lees de tekst hieronder.

Mosselkweek is een belangrijke economische activiteit. Het biedt veel mensen werkgelegenheid, het levert winst op en het behoort bij de cultuur van Zeeland. En het levert ons voedsel uit zee.

Tegelijkertijd echter staat het watermilieu waarin mosselkweek wordt uitgeoefend bloot aan allerlei druk van buitenaf. Hoewel dit in de Oosterschelde zoveel mogelijk wordt vermeden, zijn er vele mosselkweekgebieden waarin afvalwater en water uit bemest landbouwgebied een overmaat aan meststoffen aanvoeren. Dit kan leiden tot algenbloei, waaruit vervolgens ernstige problemen voor het hele gebied, met inbegrip van de mosselen, kunnen voortkomen. Als de algen sneller groeien dan ze kunnen worden opgegeten, ontstaat een massa die uiteindelijk naar de bodem zinkt. Daar wordt die massa afgebroken door bacteriën, die daarvoor alle zuurstof uit het water opnemen. Zuurstof verdwijnt uit het water, dieren gaan dood en het water begint vreselijk te stinken.

Dergelijke problemen komen in Nederland voor. Om dit te verhelpen zijn vele maatregelen nodig, zoals betere verversing van het water, vermindering van de meststoffenbelasting of verandering van het waterpeilbeheer. Maar op sommige

plaatsen kunnen ook mosselen, de grote stofzuigers van onze estuaria, hun steentje bijdragen. Doordat mosselen het water snel kunnen filteren, kunnen ze helpen vermijden dat er zich een massa niet opgegeten algen gaat vormen. Bovendien neemt de mens, als hij mosselen oogst, een deel van de meststoffen uit het water, want in mosselen zit ook stikstof en fosfor. Wetenschappers zijn ervan overtuigd dat mosselen kunnen bijdragen aan een schone Oosterschelde, maar weten niet goed hoeveel, waar en wanneer.

Estuaria, fjorden en andere kustgebieden zijn gebieden met een heel hoge natuurwaarde: vele soorten dieren en planten vinden er hun plekje. Dat willen we graag zo houden of, waar de mens het systeem te veel verstoort, herstellen. We moeten ervoor kunnen zorgen dat visserij, schelpdierkweek, overbemesting of andere activiteiten geen bedreiging vormen voor de rijkdom van het leven in deze gebieden.

Onderzoekers van het NIOO zijn daarom bezig om in de Oosterschelde een intensieve meetcampagne uit te voeren. Met verschillende schepen, bijgestaan door duikers en gebruikmakend van zeer moderne elektronische meetapparatuur, proberen zij uit te zoeken wat mosselen, wormen, plankton, wind, zon, zout, stromingen, golven en mensen met elkaar te maken hebben. De resultaten worden gebruikt om wiskundige modellen op te stellen die kunnen helpen bij het beheer van mosselkweek en -visserij in natuurgebieden. In computers bootsen ze de Oosterschelde na, maar daarvoor hebben ze wel steeds metingen nodig over hoe het toegaat in de echte wereld. Daardoor kunnen ze berekeningen en metingen vergelijken en de berekeningen verbeteren.

Uiteindelijk proberen de onderzoekers betere methoden te ontwikkelen om sommige van de bovengenoemde problemen op te lossen. Ze willen wetenschappelijk onderbouwd advies geven over het beheer van mosselkweek, het gebruik ervan om overbemesting te helpen bestrijden, en over het verzoenen van mosselkweek en behoud van natuurwaarden.

(bewerkt naar ‘Mabene-campagne in de Oosterschelde’ van NIOO-medewerker Peter Herman uit 2004)

Mosselkwekers verdienen hun brood in de Oosterschelde. Bekijk een fragment uit de videofilm ‘De Mossel natuurlijk!’ over de mosselkweek in de Oosterschelde.

Deze mosselkwekers vragen de NIOO-onderzoekers om advies. Zij willen graag precies weten hoe ze op een optimale en duurzame manier mosselen kunnen kweken en oogsten in een gebied waar de omstandigheden nogal wisselend zijn en de kwekers niet precies duidelijk is hoe dat de mosselen beïnvloedt.

Dus willen zij van de NIOO-mensen antwoorden op drie vragen:

1. Hoe lang duurt het precies voordat de mosselen naar het gewenste gewicht gegroeid zijn?
2. Wat is het maximale aantal goed groeiende mosselen dat je kunt oogsten op een mosselbank?
3. Welke factoren zijn er in de Oosterschelde van groot, minder of ondergeschikt belang om gedurende langere tijd steeds mosselen te kunnen oogsten? De mosselkwekerij is vaak een familiebedrijf, een mosselkweker wil dat zijn kinderen en kleinkinderen ook nog voldoende kunnen oogsten.

Welke dingen moeten de NIOO-onderzoekers nu uitzoeken om de vragen van de mosselkweker te kunnen beantwoorden? Zij kunnen, soms met zelf ontwikkelde

apparatuur, van alles meten en modellen bouwen op de computer. In de getoonde powerpointpresentatie krijg je enig idee van het werk van de NIOO-onderzoekers. Maar wat moeten ze in dit geval precies meten en wat moet er wel of niet in hun modellen worden opgenomen?

Bedenk zelf wat er allemaal een belangrijke rol zou kunnen spelen bij die mosselkweek, wat heeft er invloed op de groei van mosselen? Hulp daarbij heb je mogelijk van de afbeeldingen hieronder. Je ziet een mosselboot op de Oosterschelde, de ligging van de Oosterschelde en de stormvloedkering. Ook is een ander voorbeeld van ‘natte’ kwekerij te zien: forellenvijver in een vijver. Overeenkomsten en verschillen tussen beide vormen van kwekerij brengen je misschien op ideeën.



Figuur 2: Mosselboot (linksboven), forellenvijver (linksonder), ligging Oosterschelde (rechtsboven) en stormvloedkering (rechtsonder)

Schrijf nu een aantal vragen op die je als onderzoeker moet oplossen om antwoord te geven op de vragen van de mosselkwekers.

Bespreek de vragen met elkaar.

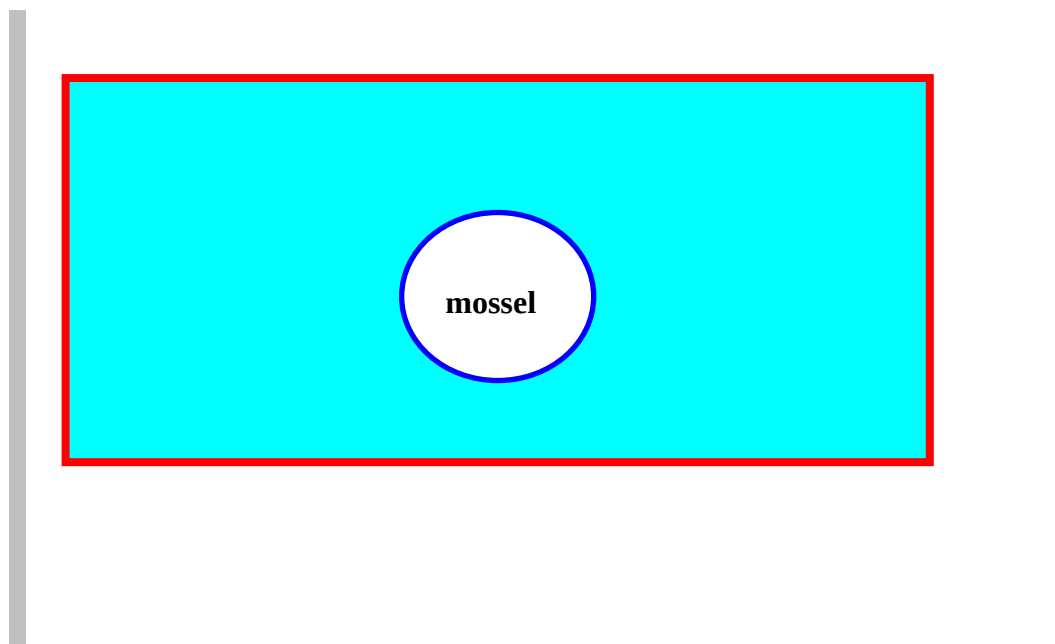
Zet je vragen in het antwoordblok hieronder.

Je hebt verschillende vragen gesteld over mogelijke invloeden op mosselen. Die invloeden zijn niet allemaal van hetzelfde type. Soms werkt een bepaalde invloed op de individuele mossel. Er zijn ook invloeden die de hele populatie (alle mosselen samen) betreffen of die werken op het hele ecosysteem. Sommige invloeden zijn constant of ze veranderen wel, maar op een redelijk voorspelbare manier. Andere invloeden veranderen meer onvoorspelbaar. Er zijn ook invloeden die weinig effect op een mossel hebben. Je kunt je ook afvragen of een mossel op zijn beurt ook invloed heeft op de omgeving om hem heen.

Omdat de kwekers in de eerste plaats geïnteresseerd zijn in het individuele gewicht van mosselen, kijken we eerst naar de groei van een individu. Omdat mosselen natuurlijk niet alleen leven, maar deel uitmaken van een populatie en ook van een compleet ecosysteem, kijken we daar later ook naar.

Werk in het vak hieronder een schema (model) uit met de mossel in het centrum. Daaromheen zet je alle factoren die een mossel beïnvloeden of die door een mossel beïnvloed worden. Geef met pijlen de relatie aan tussen de mossel en de factoren en tussen de factoren onderling. De lijn rond de mossel geeft de grens aan tussen de mossel en zijn milieu. Wat kan er wel en wat kan er niet naar binnen?

Welke factoren hebben dus invloed tot binnen in de mossel en welke niet?



De mossel is een 'systeem', een uit onderdelen opgebouwd geheel, dat in verbinding staat met zijn omgeving. Sommige factoren oefenen invloed uit tot binnen in de mossel, omgekeerd kan de mossel de omgeving (een beetje) beïnvloeden.

2. Een mossel: voeding, vlees- en drooggewicht

Als je wilt uitzoeken hoe snel en tot welk gewicht een mossel groeit, moet je in ieder geval iets weten over zijn voeding. Een mossel is een beetje ‘vreemd’ beest. Meestal eet een dier in zee door over de bodem te lopen of rond te zwemmen en dan voedsel te verzamelen. Maar een mossel zit vast op de zeebodem en nog wel met zijn mond naar beneden! Kijk in een animatie, gemaakt door Heather Kroening van de Universiteit van Alberta (Canada), hoe het dier dit ‘eetprobleem’ oplost.

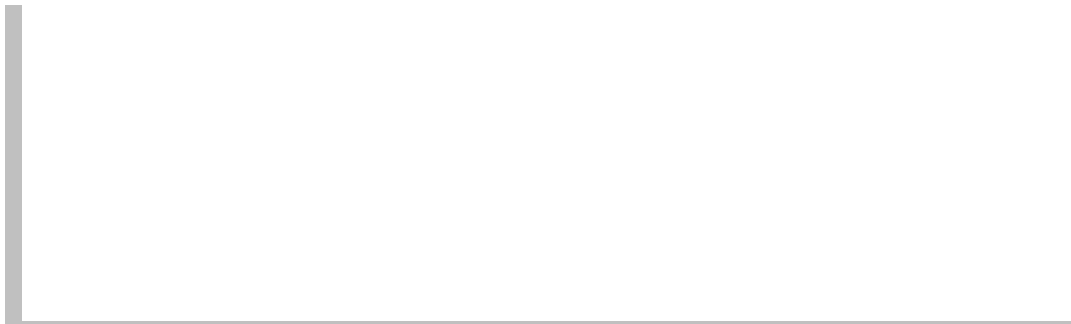
De animatie

Bekijk de animatie ‘Fillibranch Bivalve’. Klik op Choose a view → Whole mussel → water flow en labels. Je ziet de beweging van het water (blauw), de voedseldeeltjes (rood) en de zanddeeltjes en ander onverteerbaar materiaal (zwart). Als je op de onderstreepte woorden of op een bepaald onderdeel klikt, zie je waar alles zit en wat de functie is. Kijk goed naar de positie van de instroom- (inhalant region) en uitstroomopening (exhalant region).

Door op Ctedinium te klikken, zie je de stroom door de kieuwen. Als je op Gill Filaments klikt, zie je hoe de waterstroom precies verloopt en hoe de trilharen op de kieuwen bewegen.

Geef een beschrijving van de manier waarop een mossel voedsel opneemt en verder verwerkt.

Vul hieronder in.



Zoals je gezien hebt, heeft een mossel een aparte manier van eten. Als hij na het vrij zwemmende stadium als larve zich eenmaal op harde achtergrond op de zeebodem heeft gevestigd, gaat hij niet meer achter voedsel aan. Hij filtert het plankton (algen en kleine kreeftjes) uit het water.

Lees het fragment hieronder

Mossels en andere schelpdieren bezitten een ciliënpomp. Het water wordt gepompt door heel kleine haartjes of ciliën in de vloeistof te slaan. Een enkele mossel kan met dit systeem zo'n vijf liter per uur over zijn kieuwen pompen. Uitgaande van twee emmers van tien liter doet een gemiddelde mossel er dus vier uur over om die twee emmertjes vol te krijgen.

De Japanse oester, die tegenwoordig veel voorkomt in de Oosterschelde, pompt een stuk harder: tien liter per uur, dus die krijgt die emmers in twee uur vol. De kieuwen van mossels en Japanse oesters filtreren het water. De eetbare delen - algen - worden naar de maag getransporteerd. Slib en andere niet eetbare deeltjes worden afgevoerd. Alle mossels in de Oosterschelde samen kunnen binnen een paar dagen al het water van de Oosterschelde een keer filtreren.

(uit: 'De biomechanicaweek' van NIOO-onderzoeker Luca van Duren uit 2003)



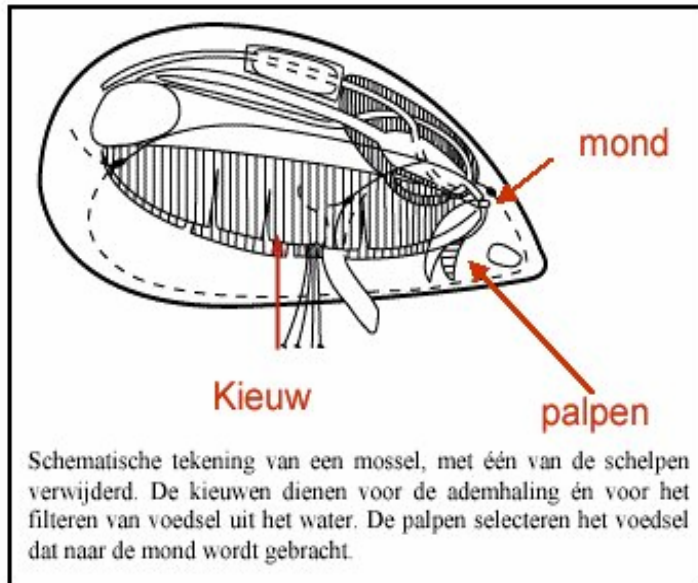
Figuur 3: Luca van Duren bij een meting in een stroomgoot met mosselen op het NIOO-lab in Yerseke.

Kun je de verschillende onderdelen die je net bekeken hebt en waarover je gelezen hebt, herkennen in een echte mossel? En heb je enig idee welk deel van de mossel nu het mosselvlees is, dat zo geliefd is bij de mosselkweker? Daarvoor doe je een practicum.

Het mosselpracticum

Materiaal: pincetten, mesje, licht gekookte mossel (*Mytilus edulus* L.)

- a** Ondanks het feit dat je geen kop ziet, is er wel een voor- en achterkant (zie figuur 4, de mond zit aan de voorkant). Maak voorzichtig met je mesje de mantel (lichtgeel) los van de schelp en snijd vervolgens de beide sluitspieren (voor en achter) door. Klap de schelp open en maak hem los van de andere schelp. Bekijk de aanhechting van de sluitspieren. Hoe en waarom zou een mossel open en dicht gaan?
Vul hieronder in.



Figuur 4: de inwendige bouw van een mossel (bron: NIOO Yerseke)

- b** Til met het pincet de mantel aan de kant waar de schelp is verwijderd op en pluk dat gedeelte weg. Bekijk de organen die onder de mantel liggen (in de mantelholte). De voet is roodbruin van kleur en nogal klein. Waarom is het voor een mossel geen probleem, om een kleine voet te hebben?
Vul hieronder in.

De mossel is vastgehecht aan de bodem met byssusdraden, die door een klier aan de basis van de voet worden gevormd. Vooral op een harde ondergrond kunnen deze draden goed hechten. Over de voet heen liggen boven en onder een paar kieuwen met aan het ene uiteinde de in- en uitstroomopening en aan het andere uiteinde twee paar mondlappen of palpen (zie figuur 4). In de animatie kon je zien hoe de waterstroom in de mossel verloopt en hoe het voedsel de mond bereikt, om vervolgens verteerd te worden. Dat gebeurt in het darmkanaal, met behulp van een groene spijsverteringsklier, die je misschien onder de kieuwen kunt zien. Welke van de onderdelen die je gezien hebt, vormen nu het vlees?
Vul hieronder in.

Drooggewicht

Voor een mosselkweker is niet het totale gewicht met schelp van belang en zelfs niet het vleesgewicht: het gewicht zonder schelp. Dat gewicht wordt voor een deel bepaald door water en voor water betaalt een klant niet! Eigenlijk gaat het om de hoeveelheid organische stof in de mossel (eiwit, vet, koolhydraten, DNA). Die krijgt het dier door het voedsel dat na filtratie via de mond is opgenomen en via de maag en de darmen is verteerd, op te nemen in de cellen.

Een deel van dat voedsel wordt dan gebruikt voor de opbouw van mosselvlees, een deel wordt weer verbrand om de mossel energie te leveren voor bijvoorbeeld filteren. Het gewicht aan organische stof in het vlees noemt men drooggewicht of biomassa.

Als mosselen onder een bepaald *kritisch* drooggewicht blijven van 0.25 gram, zijn ze op de veiling niet te verkopen.

Op de veiling wordt het drooggewicht niet altijd bepaald. Van een partij aangevoerde mosselen wordt een steekproef genomen en gekookt. Dan wordt eerst van elke mossel uit die steekproef het totaalgewicht bepaald: mossel + schelp. Vervolgens wordt het vleesgewicht bepaald (alleen de mossel). Dan wordt een berekening uitgevoerd: $\text{percentueel vleesgewicht} = \text{vleesgewicht} / \text{totaalgewicht} \times 100\%$. Als de gemiddelde waarde van dit percentage onder de 16% blijft, wordt de partij niet geveild. Die 16% komt ongeveer overeen met 0.25 gram drooggewicht en is veel sneller te bepalen.

Hoe is nu de relatie tussen de drie gewichten totaalgewicht, vleesgewicht en drooggewicht?

Weeg daarvoor met zijn tweeën eerst een mossel met schelp. Noteer het **totaalgewicht** in de tabel bij A.

Maak nu voorzichtig de mossel los van de schelp en weeg het **vleesgewicht**. Noteer dat in de tabel bij B.

Bereken nu het percentuele vleesgewicht en noteer dat in de tabel bij C.

Leg nu de mossel in een stoof bij 60 °C en weeg een aantal keren, totdat het gewicht niet meer verandert. Noteer dit **drooggewicht** in de tabel bij D.

Neem ook de gegevens van je klasgenoten over van een tabel op het bord en noteer de gemiddelde waarden van A, B, C en D in je tabel.

	Totaalgewicht mossel in gram A	Vleesgewicht mossel in gram B	Percentueel vleesgewicht C	Drooggewicht mossel in gram D
Eigen meting				
Gemiddelde van de metingen				

3. Naar een kwantitatieve voorspelling van de groei

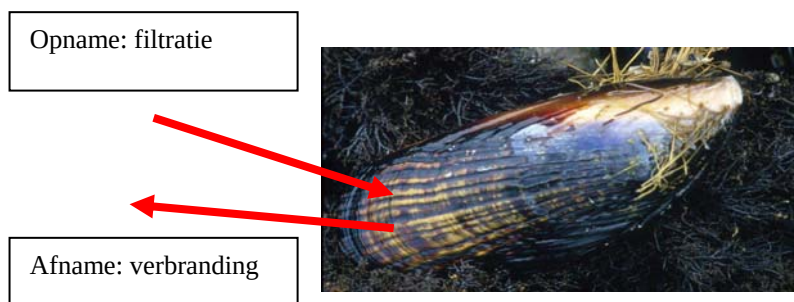
Voor een mosselkweker is het heel belangrijk te weten hoe snel een mossel groeit naar een bepaalde gewenste grootte. Dan weet hij wanneer hij het beste kan oogsten. Hij kan daarbij natuurlijk gebruik maken van ervaring, maar ook berekeningen uit laten voeren, waarin met belangrijke factoren rekening gehouden wordt. Een computermodel geeft mogelijkheden om dat snel te doen. NIOO -onderzoekers bouwen zulke modellen, waarbij ze alleen de belangrijke factoren in die modellen opnemen. Over die factoren doen ze metingen in de Oosterschelde. Vaak gebruiken ze voor die metingen apparaten die ze zelf ontwerpen.

Een model is een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid. Je schema op blz.12 is een model. De mossel is voorgesteld door een cirkel, daaromheen heb je allerlei factoren uit de Oosterschelde geordend, misschien heb je ook enkele factoren weggelaten. Je hebt als het ware de werkelijkheid vertaald naar een schema. Nu zal het eerste model heel eenvoudig worden gebouwd. Als het een gewichtsontwikkeling kan voorspellen dat goed overeenkomt met de ervaring van de kwekers, hebben we een basis. Daarna kunnen we het model gaan uitbreiden om de vragen van de kwekers te beantwoorden.

Om een model in *Powersim* te gaan maken, moet je eerst een vertaling maken van wat er in en om een mossel gebeurt naar computertaal.

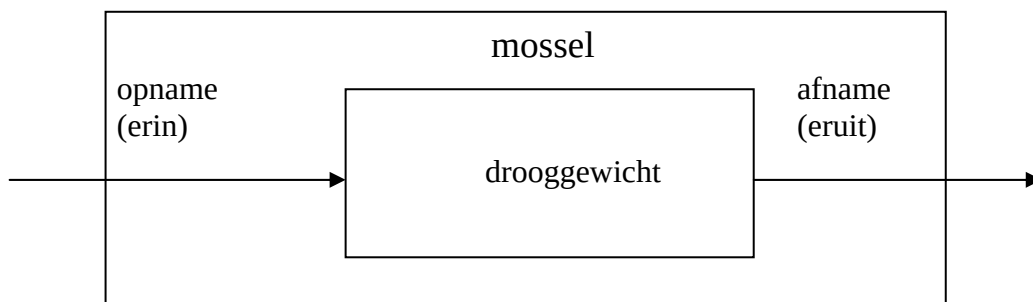
Dat betekent allereerst het selecteren van een of meer 'elementen' van de mossel en van factoren uit zijn omgeving. In dit geval gaat het ons om de groei van het drooggewicht van de mossel per dag. Dus van de mossel selecteren we het 'element' of de grootheid *drooggewicht*. We volgen nu de verandering (groei) in drooggewicht in de tijd onder invloed van bepaalde, geselecteerde factoren. Bedenk dus dat we een heleboel eigenschappen van de mossel en van de factoren om hem heen verder buiten beschouwing laten. Als we een model hadden willen maken van de verdeling van mosselen over de zeebodem, hadden we heel andere keuzes gemaakt!

De verandering in drooggewicht ontstaat dus doordat de mossel in gewicht toeneemt door opname van voedsel in zijn vlees na filtratie en in gewicht afneemt door verbranding in de cellen van zijn vlees. Dit idee kunnen we vanuit een afbeelding van de mossel, voorzien van pijlen (figuur 5) omzetten in een tweedimensionaal model (figuur 6).



Figuur 5: afbeelding van een mossel met opname en afname

Uit die mossel selecteren we nu dus een bepaalde grootheid (drooggewicht) waarvan we de verandering in een model zetten.



Figuur 6: model van de verandering in drooggewicht bij de mossel

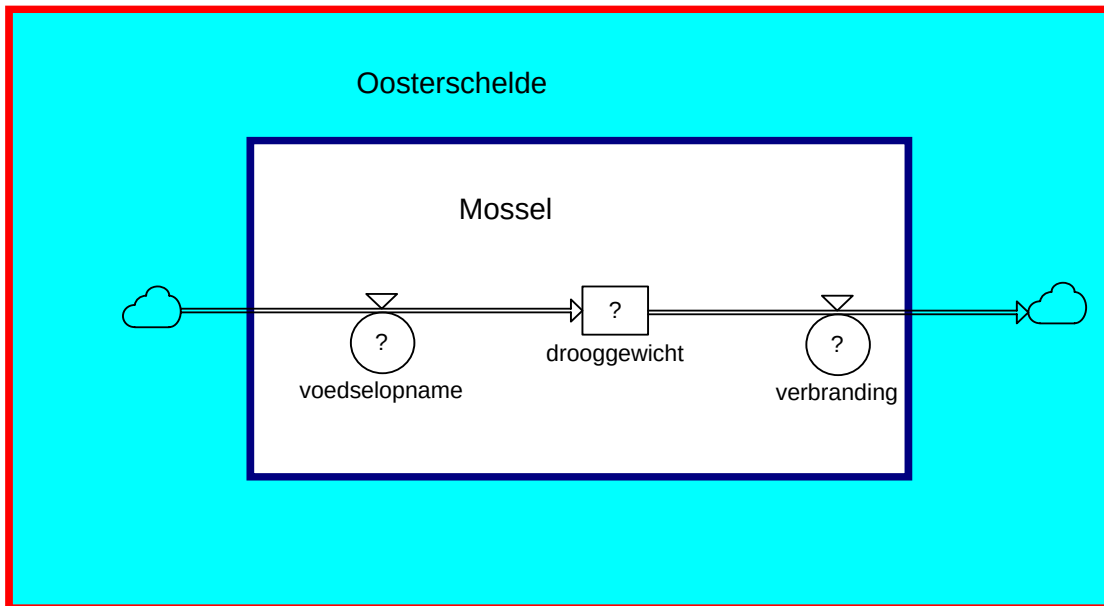
Vanuit dit tweedimensionale model ga je nu een *Powersim*-model bouwen.

Een Powersimmodel van de groei van een mossel

Jullie gaan met *Powersim* computermodellen maken waarin kwantitatieve veranderingen in de loop van de tijd worden weergegeven. Door de tijd te introduceren wordt je model driedimensionaal. In *Powersim* begint het maken van een model met het tekenen van een schema waarin alle variabelen en hun relaties worden weergegeven. Pas daarna vul je de benodigde getallen en formules in. In de basishandleiding kun je allerlei dingen opzoeken als iets niet lukt. Bij staan steeds verwijzingen naar bladzijden in die handleiding.

- a Het onderwerp van je eerste model is dus de verandering in drooggewicht (in gram) van een mossel. Een mossel neemt toe in drooggewicht doordat het voedsel opneemt en slechts een deel daarvan weer kwijtraakt door verbranding. Opname kun je in *Powersim*-taal zien als een instroom van nieuw gewicht in de voorraadgrootheid 'gewicht'. Daarvoor gebruik je de instroompijl (p.17, Stroomgrootheid plaatsen). Het bolletje dat aan de instroompijl hangt krijgt de naam *voedselopname*.
- b Drooggewichtsverlies ontstaat door verbranding, die nodig is als energieleverancier voor het dier. Daarvoor gebruik je dezelfde stroompijl, alleen is het hier een uitstroompijl: hij wijst uit het gewicht van de mossel. Het bolletje heet hier *verbranding*.

Dus krijg je in *Powersim* ongeveer een model als in (het witte gedeelte) van figuur 7. De vraagtekens geven aan dat er nog geen waarden voor de factoren zijn opgegeven en de wolkjes betekenen dat we het voedsel uit een niet verder omschreven voorraad (water met plankton) halen of dat de producten van de verbranding naar een niet verder omschreven voorraad (afvalstoffen) gaat.



Figuur 7: Powersim-model van de verandering in drooggewicht, met systeemgrenzen van de mossel (een individu) en van het ecosysteem

c Bekijk figuur 7 en beantwoord de volgende vragen:

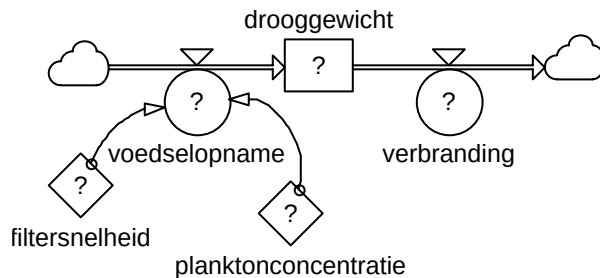
- 1 Hoe zien de blauwe en de rode 'systeemgrenzen' er in werkelijkheid uit?
- 2 Die grenzen zijn niet voor alles gesloten. Je ziet twee stroompijlen die de blauwe grens passeren. Wat gaat er via die pijlen in of uit het 'systeem' en hoe? Zou een van beide pijlen ook de rode grens kunnen passeren? Zo ja, welke en hoe?
- 3 Waarom moet het voedsel na opname eerst verteerd worden, voordat het kan zorgen voor een toename aan drooggewicht?

Vul de antwoorden hieronder in.

1	
2	
3	

- d** Je hebt gezien en gelezen dat een mossel voedsel opneemt door plankton uit het water te filteren. De *voedselopname* hangt dus af van de *planktonconcentratie* én van de *filtersnelheid*.

Als je die twee factoren als constanten inbouwt en ze beiden met een relatiepijl verbindt met *voedselopname*, heb je het basismodel in Powersim geschetst (figuur 8).



Figuur 8: het basismodel voor het drooggewicht van een mossel

- e** Dubbelklik op *voedselopname*. Je ziet nu onder *Linked Variables* de factoren waarmee je *voedselopname* kunt uitrekenen. Je moet bij *Definition* een formule invullen waarin je deze factoren gebruikt. Dat zal ongetwijfeld iets zijn als:

$$\text{filtersnelheid} * \text{planktonconcentratie}.$$

Deze formule suggereert dat alle via de instroomopening opgezogen plankton nieuw drooggewicht oplevert. Volgens de NIOO-onderzoekers wordt echter maar 9,5% (= 0.095) van het plankton gebruikt voor het maken van nieuw drooggewicht, de rest gaat weer via de uitstroomopening naar buiten. Pas de formule hiervoor aan.

Dezelfde NIOO-onderzoekers hebben gemeten dat een mossel een gemiddelde filtersnelheid van 5 L/uur heeft (dat is 0.12 m³/dag) en dat de gemiddelde planktonconcentratie in de Oosterschelde 0.64 g/m³ is. Van de mosselkwekers komt het gegeven dat de mosseltjes, als ze in de Oosterschelde worden uitgezet gemiddeld een drooggewicht hebben van 0.03 gram.

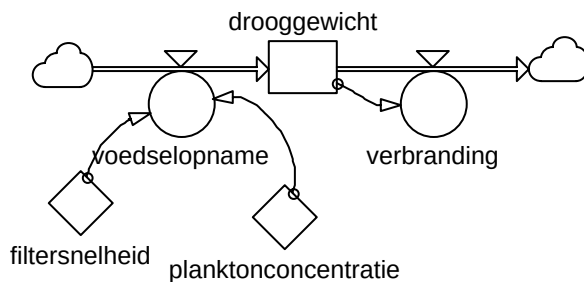
Door deze meetresultaten in je model te brengen, verdwijnen vier van de vijf vraagtekens.

- f** Tenslotte moet *verbranding* nog worden ingevuld. Een vuistregel is dat een mossel gemiddeld ongeveer 1 % (0.01 deel) van zijn drooggewicht per dag verbrandt. Daarom moet je *drooggewicht* via een relatiepijl verbinden met *verbranding*. Dubbelklik op *verbranding* en vul bij *Definition* de formule: 0.01 * *drooggewicht* in.

Zou een vis ook ongeveer 1% van zijn drooggewicht verbranden, of minder, meer of veel meer? En een mens?

Vul op de volgende bladzijde in.

Nu zijn alle vraagtekens weg en ziet je model er uit als in figuur 9.



Figuur 9: eindmodel van de groei van een mossel

- g** Het model heeft nu alle noodzakelijke gegevens om te gaan rekenen. Om goed te zien wat de uitkomsten zijn, kun je een grafiek invoegen (📖 p. 12, Resultaten weergeven in grafiek of tabel). Om het *drooggewicht* in de grafiek te zien, moet je het vakje van *drooggewicht* in de grafiek slepen. Voeg ook een grafiek in voor *planktonconcentratie*. Als je voor elke dag wilt weten hoe het *drooggewicht* zich ontwikkelt, kun je ook een tabel invoegen (📖 p. 12, Resultaten weergeven in grafiek of tabel). Sleep het vakje van *drooggewicht* in de tabel.
- h** Het model moet nog wel weten hoeveel dagen het moet doorrekenen. Dat kun je instellen onder *Simulate | Simulation Setup*. Als je hier voor de Stoptime bijvoorbeeld 10 invult, dan rekt het model van dag 0 tot 10. Standaard staat de Stoptime op 100. Zet hem op 550 dagen (de periode die mosselen in de Oosterschelde doorbrengen nadat ze uitgezaaid zijn). Sla je model op via *File, Save as .., mos0* op een schijfje. Het programma geeft zelf de extensie .sim. Je model heet dus nu mos0.sim.
- i** Nu laat je het model doorrekenen (📖 p. 8, Model starten).

Bekijk de grafieken van *drooggewicht* en *planktonconcentratie*. Is er een verband tussen beide en zo ja, welk? Welk drooggewicht heeft de mossel na 550 dagen?

Vul hieronder in.

Verband tussen *drooggewicht* en *planktonconcentratie*:

Drooggewicht na 550 dagen:

- j Maar al werkt het model bevredigend, het vertelt de mosselkwekers niets nieuws. Die zouden zich kunnen afvragen op welk moment ze mossels kunnen uitzaaien. Stel dat dit het hele jaar rond zou kunnen, dan kun je op elk moment verse mosselen in de verkoop hebben. Maar dan is wel belangrijk om te weten of de mosselen altijd evenveel te eten hebben. En ook, of ze wel altijd evenveel eten. Verder is het belangrijk om te bepalen of het model erg gevoelig reageert op de uitspraak dat ongeveer 1% (0.01) van het drooggewicht wordt verbrand. Dat percentage is namelijk niet voor elke schelpdiersoort gelijk. Er is een spreiding tussen 0.007 en 0.012 en voor de mossel hebben we de exacte gegevens niet.

Als controle om te kijken of het model goed werkt, nemen we het praktijkgegeven van een vertienvoudiging van het drooggewicht in 550 dagen.

Dus op een rijtje:

- Is de planktonconcentratie in de Oosterschelde gedurende de seizoenen constant?
- Eet een grote mossel evenveel als een kleine mossel?
- Hoe reageert het model op een verandering van de waarde 0.01 in de formule: $verbranding = 0.01 * drooggewicht$?

Je brengt daarom aanpassingen aan in mos0.sim:

- De *planktonconcentratie* hangt af van het zonlicht. In de loop van 365 dagen loopt het zonlicht langzaam op tot een maximum in de zomer en daarna daalt tot een minimum in de winter. Uit onderzoek van de NIOO-onderzoekers blijkt dat in de Oosterschelde de *planktonconcentratie* door de variatie in zonlicht varieert tussen waarden van ongeveer 0.08 en 1.2 g/m³. Dubbelklik op *planktonconcentratie* en vul een formule in bij *Definition*: $0.64 + 0.56 * \sin(2 * \pi * (TIME) / 365)$.

Door de functie SIN wordt ervoor gezorgd dat er in de loop van een jaar (365 dagen) minimaal $0.64 - 0.56 = 0.08$ g/m³ en maximaal $0.64 + 0.56 = 1.20$ g/m³ plankton aanwezig is in het water.

- Veel processen in dieren zijn gekoppeld aan hun grootte of hun (droog)gewicht. Dat heb je al gezien bij de verbranding. Ook de filtersnelheid neemt toe met het drooggewicht, maar niet lineair! De Amerikaanse wetenschapper Max Kleiber ontdekte dat hun relatie in een formule is te beschrijven:

$$filtersnelheid = basiswaarde * drooggewicht^{0.75}$$

(^ wordt in Powersim gebruikt voor 'tot de macht')

Bouw deze formule in je model, waarbij je als basiswaarde voor *filtersnelheid* 0.12 (m³/dag) gebruikt. Wat zie je op het scherm gebeuren, als je bij dit inbouwen een relatiepijl trekt van *gewicht* naar *filtersnelheid*? Leg deze waarneming uit.

Vul op de volgende bladzijde in.

Sla je model op een schijf op via *File, Save as .., mos1*.

Laat dit aangepaste model nu doorrekenen.

Bekijk de grafieken van *drooggewicht* en *planktonconcentratie*. Is er een verband tussen *drooggewicht* en *planktonconcentratie*? Welk drooggewicht heeft de mossel na 550 dagen? Zijn de minimum- en maximumwaarden van *planktonconcentratie* inderdaad 0.08 en 1.20 g/m³? En met welke data van het jaar komen de momenten 0, 100, 200 en 300 dagen in het model ongeveer overeen?

Vul hieronder in.

Verband tussen *drooggewicht_per_mossel* en *planktonconc*:

Drooggewicht na 550 dagen:

Minimum- en maximumwaarden van *planktonconc*:g /m³ en
..... g/ m³

moment 0 = half januari / eind maart / begin juli / half oktober*

moment 100 = half januari / eind maart / begin juli / half oktober*

moment 200 = half januari / eind maart / begin juli / half oktober*

moment 300 = half januari / eind maart / begin juli / half oktober*

* omcirkel de juiste periode

- k** Heeft het *drooggewicht* zich ongeveer vertienvoudigd, waarmee het doel van de mosselkweker is bereikt? En heeft het zin om langer te wachten met de oogst, tot de mossel nog zwaarder is? Pas de Stoptime aan om dit te onderzoeken. Vul je antwoorden hieronder in.

Drooggewicht na 550 dagen = ongeveer ...× 0.03 gram (begingewicht)

Het doel van de mosselkweker is wel / nog niet bereikt.

Langer wachten heeft wel /geen zin, omdat

- l** Onderzoek nu de invloed van het invullen waarden tussen 0.007 en 0.012 in plaats van 0.01 in de formule:

$$\text{verbranding} = 0.01 * \text{drooggewicht}$$

Wat voor waarde is het meest geschikt, als je uitgaat van een vertienvoudiging van het drooggewicht na 550 dagen?

Vul hieronder in.

- m** Nu kunnen we ook de vraag naar geschikte zaaiperiodes beantwoorden.

Door in de formule voor *planktonconc* $0.64 + 0.56 * \sin(2 * \pi * (\text{TIME}) / 365)$ TIME te vervangen door 90 + TIME, 180 + TIME en 270 + TIME, schuiven we het zaaimoment drie maanden op. Levert dat steeds een goede oogst op?

Vul hieronder in.

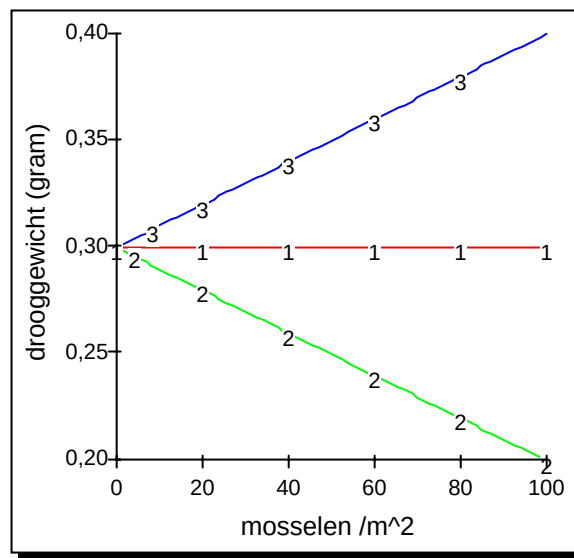
- n** Het model is nog steeds een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Leg uit waarom we die vereenvoudiging toepassen. Welke factoren zijn bijvoorbeeld helemaal weggelaten in het model? En denk je dat we nu de vragen van de mosselkweker helemaal kunnen beantwoorden?

Vul hieronder in.

4. Dubbel zaaien, dubbel oogsten?

Zoals je gezien of gelezen hebt, leeft een mossel op een bank samen met een groot aantal andere mossels: een *populatie*. Dat zorgt voor coöperatie: elkaar beschermen tegen losraken bij storm. Maar: er ontstaat ook competitie tussen de mosselen om plankton!

En die effecten zijn voor de mosseloogst tegengesteld. In figuur 10 zie je dat heel schematisch weergegeven.



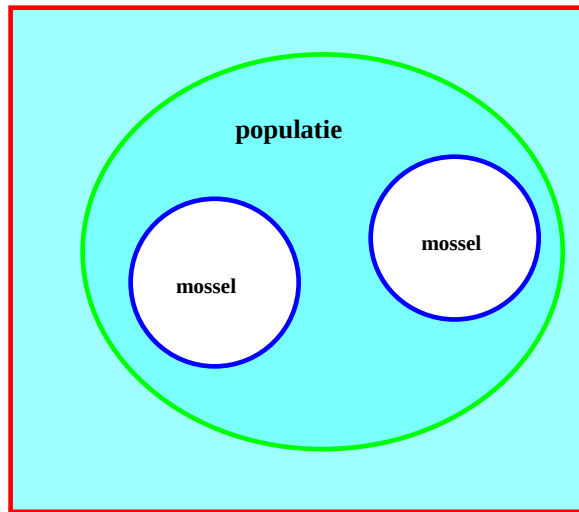
Figuur 10: populatie-effecten volgens drie scenario's.

Welke lijn hoort bij het scenario: geen wederzijdse invloed, welke bij competitie en welke bij coöperatie?

Vul hieronder in.

Kijk nog eens naar je schema op blz. 12. Maak een nieuw schema met in het centrum nu niet één mossel, maar mosselen, de populatie. Gebruik pijlen om de relaties tussen de mossel, de populatie mosselen en factoren aan te geven.

Zijn er onderdelen / factoren die in het eerste schema nog niet aanwezig waren? En zijn de grenzen voor mosselen als populatie anders dan de grens voor één mossel?



Andere factoren:

Grenzen:

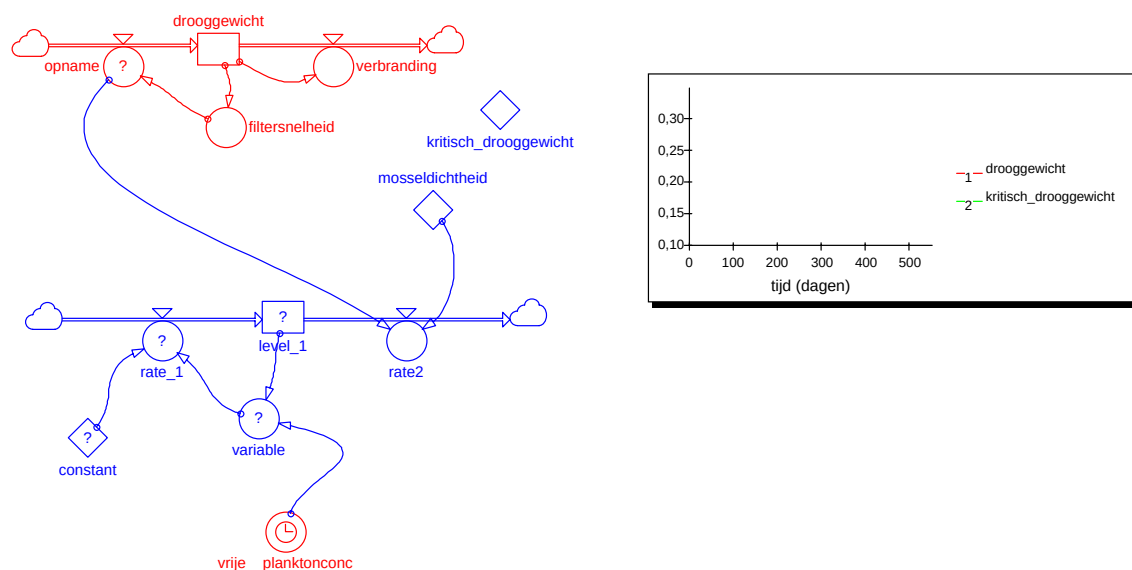
Voor mosselkwekers is het heel belangrijk te weten, wat de invloed van mosselen op elkaar is. Anders dan bij voorbeeld konijnen, kunnen mosselen bij dreigend voedselgebrek niet weg om ergens anders voedsel te zoeken. Allemaal dreigen ze problemen te krijgen met hun groei. En als ze onder het kritische gewicht (zie blz.16) blijven, zijn ze niet te verkopen.

Je gaat nu je computermodel *mos1.sim* van één mossel aanpassen, zodat het over een populatie mosselen gaat. Hierdoor kun je bepalen welke invloed het aantal mosselen op een bank heeft op het drooggewicht van een mossel in de loop van de tijd. Je hebt dus in ieder geval een nieuwe constante *mosseldichtheid* nodig, dat is het aantal mosselen per m^2 : dat ligt in de Oosterschelde tussen 1 en 8000. Verder is de *planktonconc* in de buurt van een mossel niet langer constant. Er is nu merkbare *consumptie* van plankton door een aantal mosselen samen en er moet nieuwe *aanvoer* komen van plankton, uit vers water dat wordt aangevoerd door stroming. Dat wordt gemengd met het planktonarme water vlak rond de mossel. Daardoor ontstaat vlak rond de mossel een 'gemengde' hoeveelheid waaruit de mossel plankton kan opnemen. De stroming wordt op haar beurt beïnvloed door het getij in de Oosterschelde. Kortom, er gebeurt van alles dat we in het model moeten

onderbrengen. Bekijk de animatie ‘Plankton’ van Elly Langewis van de Universiteit Utrecht.

- a Bedenk voor de volgende nieuwe factoren of ze een voorraadgrootheid (*level*), in- of uitstroompijl (*rate*), variabele (*auxiliary*) of constante (*constant*) zijn:
- 1 *consumptie* van plankton door alle mosselen samen, afhankelijk van *mosseldichtheid* en *opname* per mossel;
 - 2 *plaatselijke_planktonconc*, de concentratie plankton vlak bij een mossel;
 - 3 *aanvoer*, afhankelijk van:
 - o 4 het *concentratieverschil* tussen de *plaatselijke_planktonconc* en de *vrije_planktonconc* (de nieuwe naam van *planktonconcentratie* uit het eerste model) en
 - o 5 *verversingssnelheid*: een maat voor het aantal malen dat het water rond een mossel per dag wordt ververst door stroming, vooral door de werking van eb en vloed.

Je krijgt als hulp het nu volgende halffabrikaat van je tweede model aangeboden (zie figuur 11). Je ziet dat er één instroompijl (*rate_1*), één uitstroompijl (*rate_2*), één voorraadgrootheid (*level*), één constante (*constant*) en één variabele (*auxiliary*) moeten worden ingevuld.



Figuur 11: een onvolledig Powersimmodel 2, waarbij de ‘oude’ onderdelen in rood en de ‘nieuwe’ in blauw zijn weergegeven. Het rode deel gaat over het gewicht van een mossel, het blauwe over de concentratie van het plankton.

Vul op de volgende bladzijde in.

- 1 consumptie =
- 2 plaatselijke_planktonconc =
- 3 aanvoer =
- 4 concentratieverschil =
- 5 verversingssnelheid =

- b** Bouw nu de nieuwe factoren in je model en leg de relaties tussen factoren vast in formules. Dubbelklik op elk onderdeel in het blauwe gedeelte met een vraagteken, waar twee pijlen naar toe gaan. Bedenk wat je moet doen met de twee factoren die invloed hebben: met elkaar vermenigvuldigen, op elkaar delen, bij elkaar optellen of van elkaar aftrekken?
- c** Nu moet je nog één relatiepijl trekken, naar de *opname*, waar nog een vraagteken staat. Bedenk van welke factor, naast *filtersnelheid*, die *opname* ook afhangt.
- Voor je verder gaat, wordt het model eerst klassikaal besproken.
- d** Er moeten nog enkele waarden worden ingevuld. Gebruik onderstaande tabel daarbij.

<i>factor</i>	<i>waarde</i>
<i>mosseldichtheid</i>	$1/\text{m}^2$
<i>plaatselijke_planktonconc</i>	$0.64 \text{ g}/\text{m}^3$
<i>verversingssnelheid</i>	$100 \times / \text{dag}^1$

¹ Dat lijkt een hoge waarde, gezien het feit dat er maar twee keer per dag eb en vloed is. Maar het water is voortdurend in beweging en uit onderzoek is gebleken dat het water rond een mossel na ongeveer een kwartier (= ongeveer 1/100 dag) is vervangen door 'vers' water.

- e** Je ziet een grafiek voor *drooggewicht* en *kritisch_drooggewicht*. Voeg er zelf een in, waarin *plaatselijke_planktonconc* en *vrije_planktonconc* samen worden weergegeven. Laat het model nu 550 dagen rekenen. Wat wordt het drooggewicht na 550 dagen? En wat zie je aan het verloop van *plaatselijke_planktonconc* en *vrije_planktonconc*?

Vul hieronder in.

- f** Wat gebeurt er nu met *drooggewicht* als je het aantal mosselen per m^2 verhoogt van 1 naar 1000, 4000 en 8000? En wat valt je dan op aan het verloop van de *plaatselijke_planktonconc* en *vrije_planktonconc*?

Vul hieronder in.

Drooggewicht bij 1000:

Drooggewicht bij 4000:

Drooggewicht bij 8000:

Conclusie:

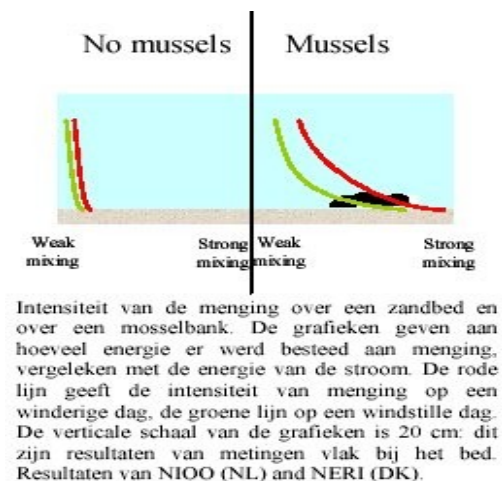
Verloop van *plaatselijke_planktonconc* en *vrije_planktonconc*:

- g** Nu hebben we alleen het competitie- element bekeken. Er waren aanwijzingen dat een belangrijk onderdeel van coöperatie is dat de mosselen met een flink aantal ervoor kunnen zorgen dat het water in hun buurt beter wordt gemengd. Medewerkers van het NIOO ontwikkelden daarom een speciaal apparaatje dat de turbulentie vlak boven de zeebodem kan meten (zie figuur 12a en bekijk het filmpje PaintOyster-5).

Een mosselbank zorgt ervoor dat er meer turbulentie in het water vlak boven die bank ontstaat dan er bij een onbedekte gladde bodem is, waardoor de menging met vers water uit de lagen daarboven beter wordt (zie figuur 12b).



Figuur 12a: Een turbulentiemeter vlak boven een mosselbank

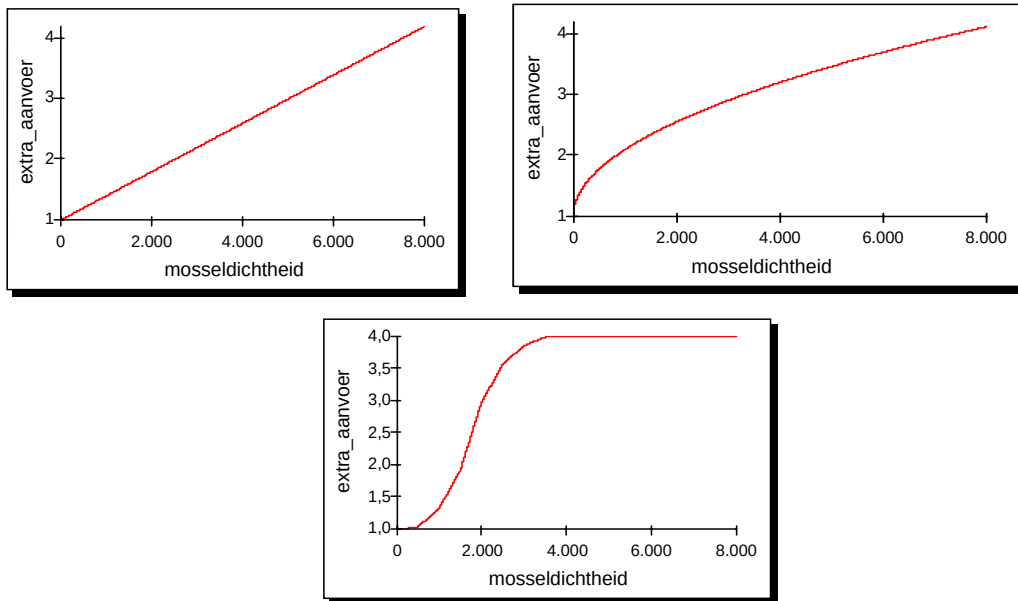


Intensiteit van de menging over een zandbed en over een mosselbank. De grafieken geven aan hoeveel energie er werd besteed aan menging, vergeleken met de energie van de stroom. De rode lijn geeft de intensiteit van menging op een winderige dag, de groene lijn op een windstille dag. De verticale schaal van de grafieken is 20 cm; dit zijn resultaten van metingen vlak bij het bed. Resultaten van NIOO (NL) and NERI (DK).

Figuur 12b: Intensiteit van de menging boven een glad zandbed en een mosselbank

Pas de formule voor *aanvoer* aan door te vermenigvuldigen met een formule (denk aan een relatiepijl). Dus je krijgt dan:

$$\text{aanvoer} = \text{oorspronkelijke waarde} * \text{extra aanvoer}.$$



Figuur 13: het verband tussen mosseldichtheid en aanvoer bij drie formules:

- extra aanvoer = $1 + 0.004 \cdot \text{mosseldichtheid}$ (linksboven);
- extra aanvoer = $1 + 0.035 \cdot \text{mosseldichtheid}^{0.5}$ (rechtsboven);
- extra aanvoer = $1 + \text{graph mosseldichtheid}$ (onder).

Bekijk de grafieken in figuur 13. In alle drie gevallen kan de aanvoer maximaal $4 \times$ zo groot worden.

Welke van de drie formules lijkt je, op grond van het verloop van de grafieken, het meest geschikt om te gebruiken voor *extra_aanvoer*?

Vul hieronder in.

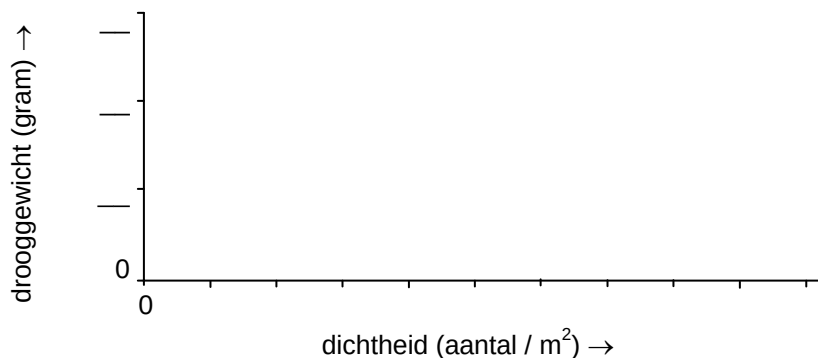
Sla je model, nadat je de aanpassing bij *aanvoer* gemaakt hebt, op via *File, Save as...*, *mos2*.

- h** Laat nu het model doorrekenen voor 1, 1000, 4000 en 8000 Mosselen per m^2 . De dichtheid waarbij de mosselen nog precies boven het kritische drooggewicht van 0.25 gram blijven, noemt men de *draagkracht* van het gebied voor mosselen.

Zet de resultaten van **f** en **h** in een grafiek met op de X-as de mosseldichtheid (aantal / m^2) en op de Y-as het drooggewicht (gram). Zet ook een lijn met het kritische drooggewicht in de grafiek. Bepaal de draagkracht bij **f** en bij **h**. Bij welke dichtheden kan het positieve turbulentie-effect het negatieve concurrentie-effect compenseren, zodat de mosselen boven het kritische drooggewicht blijven?

Het lijkt erop dat er sprake is van een optimum- effect als we kijken naar de relatie tussen de dichtheid en het drooggewicht van de mosselen. Vind je dat realistisch? En hoe zeker ben je van de exacte waarde van de optimumdichtheid dat door het

model wordt voorspeld? Kun je met de resultaten van dit model de vragen van de mosselkweker al beantwoorden of heb je nog meer informatie nodig? Leg je antwoorden uit. Vul hieronder in.



Conclusies:

Extra stof

- i** Soms gaat de stormvloedkering in de Oosterschelde dicht. Eb en vloed staan dan tijdelijk buitenspel. De *verversingssnelheid* valt dan terug van $100 \times$ naar $10 \times$ per dag. Reken door bij een dichtheid van 4000 mosselen per m^2 welk effect het heeft op het drooggewicht van de mosselen, als de stormvloedkering de hele periode dicht zou staan. Geef het uiteindelijke *drooggewicht*.

Vul hieronder in.

- j** We kunnen de stormvloedkering ook slechts twee weken dicht zetten, tijdens een storm in het voorjaar van het tweede jaar. Dat doe je als volgt. Verander de formule van *verversingssnelheid* in: $100 + \text{STEP}(-90, 320) + \text{STEP}(90, 334)$. Dat betekent dat vanaf dag 320 de stormvloedkering dicht gaat en dat hij op dag 334 weer open gaat. Is er nu veel effect? Geef het uiteindelijke *drooggewicht* en je conclusie.

Vul op de volgende bladzijde in.

- k Het NIOO doet ook onderzoek in Limfjorden, een gebied in Denemarken (zie figuur 13).



Figuur 13: Limfjorden (het omcirkelde gebied)

Door de nauwe doorgang tussen de Noordzee en het Kattegat is daar weinig van eb en vloed te merken. Wel kan het er flink waaien.

Bouw in je model een nieuwe constante *wind* in, met waarden tussen 0 (windstil) en 24 m /sec (stormachtige wind). Schakel eb- en vloedinvloeden geheel uit (welke factor in het model moet je dan verwijderen?). Onderzoek of de mosselen in Limfjorden goed groeien bij verschillende windsnelheden. Een vereenvoudiging is dat we ervan uitgaan dat de wind gedurende de hele periode constant blijft. Hoe zou je een meer realistisch beeld in het model kunnen bouwen?

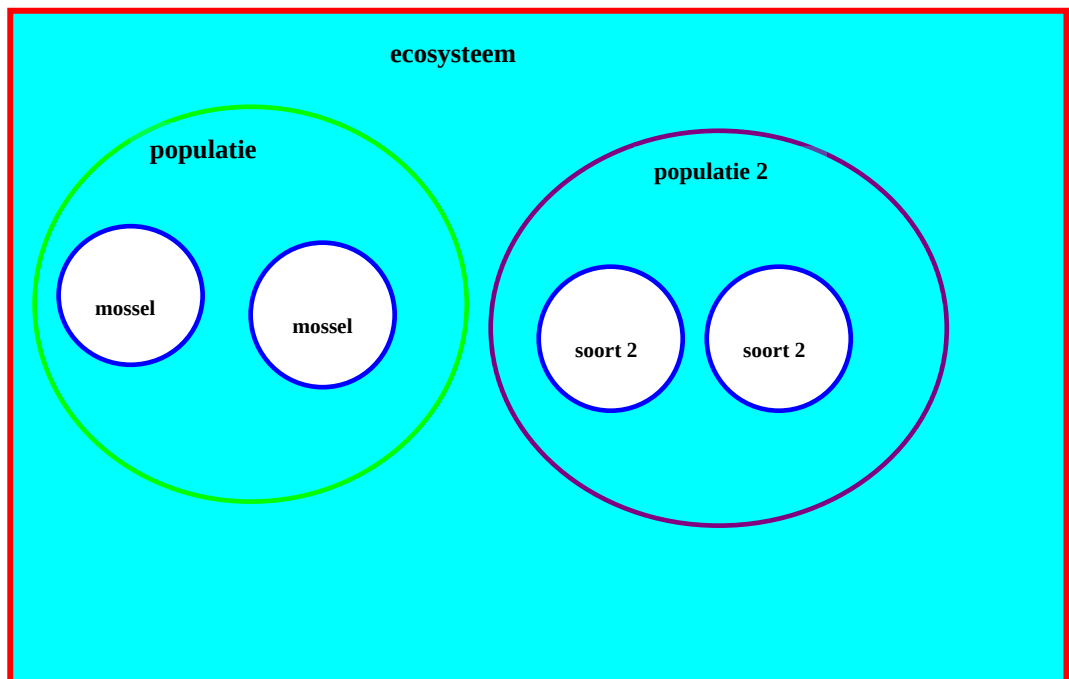
Vul hieronder in.

5. Andere dieren

Mosselen en plankton zijn natuurlijk niet de enige organismen in de Oosterschelde. Zoek uit welke soorten organismen er nog meer voorkomen. Maak een nieuw schema zoals op blz. 12 en 26, waarbij je de nieuwe soorten in groepen bijeen zet en via pijlen aangeeft hoe hun relatie met mosselen is. Dit geheel met allerlei organismen en factoren is het *ecosysteem*.

Zijn er onderdelen of factoren die er niet waren in het schema van de mosselen? En zijn de grenzen voor het ecosysteem anders dan voor de populatie mosselen?

Vul hieronder in.



Andere factoren:

Grenzen:

In computermodellen maak je een vereenvoudiging van de werkelijkheid. We kiezen uit de verschillende soorten een groep *predatoren* en onderzoeken hun invloed op de mosselen.

Lange tijd hebben scholeksters veel mosselen geconsumeerd in de Oosterschelde. Maar nu de kwekers de mosselen zodanig hebben verplaatst dat ze voortdurend onder water blijven, kunnen die vogels er niet meer bij. Ook zeesterren zijn predatoren van de mosselen, maar die worden flink bestreden door de kwekers. De laatste jaren worden kleine groepjes brilduikers en eidereenden waargenomen, die naar mosselen duiken (figuur 15).



Figuur 15: Brilduiker en eidereend

We breiden ons model *mos2.sim* uit met deze vogels.

- a Je mag *vogels* als een constante opvatten: hun aantallen zijn **niet erg** afhankelijk van mosselen, aangezien ze ook nog allerlei andere soorten voedsel verzamelen. Het gaat om een aantal van ongeveer 500 vogels die foerageren (voedsel zoeken) over een gebied van 1000 ha ($= 10^7 \text{ m}^2$) mosselgebied, met een dichtheid van 1000- 4000 mosselen per m^2 . Iedere vogel eet 30 mosselen per dag.

Van *mosseldichtheid* moet je nu een voorraadgrootheid maken: er gaat namelijk nu een stroom *afname* uit: het voedsel voor de vogels. Verbind de factoren die bepalen hoeveel voedsel de vogels gebruiken, met *afname*. Maak een formule waarin het verband tussen die factoren wordt weergegeven. Voeg een grafiek in voor *dichtheid*. Haal de grafiek voor plankton weg.

Sla je model op als *mos3*.

Bepaal wat er met *dichtheid* en met *drooggewicht* gebeurt als gevolg van de aanwezigheid van de 500 vogels. Is het predatie-effect (wat de vogels opeten) afhankelijk van de *dichtheid* van de mosselen. Leg je antwoord uit.

Vul op de volgende bladzijde in.

bij mosseldichtheid van 1000:	<i>dichtheid</i>	<i>drooggewicht</i>
bij mosseldichtheid van 4000:	<i>dichtheid</i>	<i>drooggewicht</i>

Het predatie-effect is wel / niet afhankelijk van de *dichtheid*, omdat

- b** Stel dat het de twee soorten vogels goed gaat: hun totale aantal neemt toe. Laat het model doorrekenen, bij welke vogelaantallen de mosselkweker problemen gaat krijgen doordat de *dichtheid* van 4000 per m² afneemt tot 3000 per m². Welk effect heeft dit dichtheidsprobleem voor het *drooggewicht* van de mosselen. Op welke twee niveaus kijken we hier naar de mossel?

Trek een conclusie over de rol van de vogels in deze situatie.

Vul hieronder in.

Kritisch aantal vogels:

Effect:

Niveaus:

6. Kapers op de kust (keuzestof)

Lees de tekst hieronder over het oprukken van de Japanse oester in de Oosterschelde.



Figuur 16: Japanse oester

Oester komt Mossel en duiker te na

Ooit werd de Japanse oester naar Zeeland gebracht om de inheemse Zeeuwse oester te vervangen. Nu vormt hij een plaag voor andere levensvormen, ook in de Waddenzee. Het is de vraag of er dan maar zand overheen moet.

Invasies van exotische planten en dieren kunnen uitgroeien tot ware plagen en ecosystemen behoorlijk ontregelen. Bekend is de konijnenplaag in Australië. In Nederland duikt de Japanse oester, ook zo'n exoot, steeds vaker op in de Oosterschelde en hij vestigt zich nu ook in de Waddenzee. 'Ik ben er toch wel van geschrokken op hoeveel plaatsen in de Waddenzee en bij de Waddeneilanden ik Japanse oesters aantref' zegt dr. Norbert Dankers van het Wageningse onderzoeksinstituut Alterra. De Japanse oester breidt zich makkelijk uit en is niet gemakkelijk te exploiteren voor consumptie.



In de Oosterschelde leven geen grote dieren die de Japanse oester te lijf kunnen gaan. Hij heeft weinig te duchten en laat zich niet meer wegpesten. Erger nog: hij gaat misschien de Nederlandse Mosselen verdringen. Watersporters hebben ook al nare ervaringen met het grillig gevormde schelpdier. Surfers en duikers die in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer op ruwe wijze met deze exoten worden geconfronteerd, komen bebloed en met bescheurde pakken uit het water. Kortom: het beest begint een plaag te worden.

De Japanse oester is bewust geïntroduceerd in de Oosterschelde. In de strenge winter van 1963 stierf de platte Zeeuwse oester bijna uit. Op advies van het RIVO (Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek) werd de Japanse oester als alternatief

binnengehaald. Nogal lichtzinnig, blijkt nu. De experts van destijds veronderstelden dat de exoot zich niet in de koude wateren zou voortplanten. Bovendien bestond nog het plan de Oosterschelde volledig af te sluiten van de zee. Als het zoute water zoet werd, zou het schelpdier vanzelf uitsterven. Maar de getijden zijn gebleven in de Oosterschelde.

Marien ecooloog prof. Dr. Wim Wolff van de Rijksuniversiteit Groningen: 'De Scholekster heeft nog geen truc gevonden om de Japanse oester open te krijgen. De Mossel kan hij wel aan. Die staat altijd een beetje open; de vogel steekt zijn snavel tussen de schelpdelen en snijdt de sluitspier door. De Zilvermeeuw kan de Japanse oester wel aan; die laat hem van grote hoogte op de dijk vallen, zodat de Japanse oester breekt'. Moet de Japanse oester verwijderd worden als blijkt dat ze een desastreus effect hebben? Op die vraag wordt verschillend gereageerd. Hoe dan ook: maatregelen zoals de Japanse oesters verstikken door er zand overheen te gooien als de banken droog liggen, er een parasiet op loslaten of zelfs de dieren lossteken en elders in de Noordzee dumpen, lijken niet erg verantwoord en praktisch. De Waddenvereniging blijft voorlopig passief. 'Het mag niet dat één nieuw schelpdier de andere schelpdieren het leven onmogelijk maakt en natuurlijke processen verstoort. Maar voorlopig gebeurt dat niet', veronderstelt Robert Terpstra van de Waddenvereniging.

(fragment uit De Volkskrant van 8 februari 2003 door Marieke Aarden)

Ineens, zonder voortekenen, is de Japanse oester in het ecosysteem van de Oosterschelde in aantal toegenomen. Om het effect van de Japanse oester (figuur 16 voor mosselen en vogels te kunnen onderzoeken, zetten we dit schelpdier ook in ons model.

- a** Bouw je model `mos3.sim` zodanig uit dat alles wat voor de mossel geldt, ook voor de Japanse oester geldt. Bedenk dat *Powersim* niet twee dezelfde namen kent. Gebruik daarom bij voorbeeld `afname_m` voor mosselen en `afname_o` voor Japanse oesters. Zet eerst alle factoren voor mossel en Japanse oester op dezelfde waarden. Test je model, als het goed is zijn de uitkomsten voor mossel en Japanse oester dezelfde.
- b** Maar de waarden voor mossel en Japanse oester zijn in werkelijkheid niet hetzelfde! Ten eerste zijn er veel minder Japanse oesters dan mosselen in de Oosterschelde. Zet de `dichtheid_m` op 4000 en de `dichtheid_o` op 40. De kans om gevangen te worden is nu niet meer gelijk voor een mossel of een oester. Maak daarom een variabele `totale_dichtheid`. Die is gelijk aan de som van `dichtheid_m` en `dichtheid_o`. Pas je formules voor `afname_m` en `afname_o` aan, door te vermenigvuldigen met respectievelijk $dichtheid_m / totale_dichtheid$ en $dichtheid_o / totale_dichtheid$.

Om duidelijk eventuele effecten te zien, zet je het aantal vogels op 500000.

Laat het model doorrekenen wat er gebeurt met *dichtheid_m*, *dichtheid_o*, *drooggewicht_m* en *drooggewicht_o*.

Vul hieronder in.

dichtheid_m:

dichtheid_o:

drooggewicht_m:

drooggewicht_o:

- c In het artikel van Luca van Duuren op blz. 13-14 heb je kunnen lezen dat de filtersnelheid van Japanse oesters in werkelijkheid wel $2 \times$ zo hoog ligt als die van mosselen. Onderzoek met je model wat een hogere *filtersnelheid* betekent voor *dichtheid_m* en *dichtheid_o*, *drooggewicht_m* en *drooggewicht_o*.

Vul hieronder in.

dichtheid_m:

dichtheid_o:

drooggewicht_m:

drooggewicht_o:

- d De duikeenden kunnen de grotere Japanse oesters minder gemakkelijk vangen dan de mosselen. Pas het model aan door *afname_o* bij Japanse oesters te halveren. Welk effect heeft dat voor de *dichtheid* en het *drooggewicht* van beide soorten?

Vul hieronder in.

dichtheid_m:

dichtheid_o:

drooggewicht_m:

drooggewicht_o:

- e Veronderstel nu dat er een andere “exotische” concurrent van de mossel in de Oosterschelde komt die sneller filtert, maar gemakkelijker gevangen wordt door vogels. Wat zou er dan gebeuren? Vervang de Japanse oester dus door de andere schelpdierssoort en stel een hogere *filtersnelheid*, maar ook een hogere *afname* door de vogels in.

Wat gebeurt er dan met het *drooggewicht* en de *dichtheid* van beide soorten?

Vul hieronder in.

dichtheid_m:

dichtheid_ander:

drooggewicht_m:

drooggewicht_ander:

Bekijk de resultaten van **a** t/m **e** nog eens. Welke effecten op populatieniveau en op individueel niveau zijn er door de verschillende beschreven situaties?

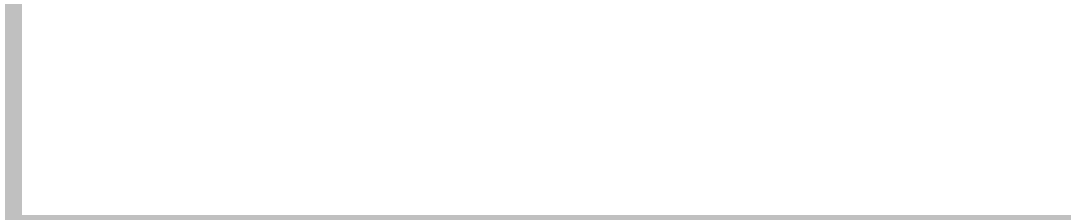
Vul hieronder in.

7. Een ander ecosysteem

Gelden alle zaken die je in de Oosterschelde ontdekt hebt, nu ook in een heel ander ecosysteem? In de Ría de Vigo in Noord-Spanje bijvoorbeeld, leven ook mosselen. Maar daar worden de mosselen niet als ‘mosselzaad’ uit een ander gebied gehaald en in vaste hoeveelheden uitgezaaid en geoogst. Er vindt daar gewoon voortplanting plaats en de mosselen worden niet alleen geoogst, maar sterven ook door predatie of van ouderdom. De dichtheid wordt veel meer vanuit het ecosysteem bepaald, de mens oogst alleen en regelt verder weinig.

Welke gevolgen heeft dat voor de complexiteit en de dynamiek van het systeem, in vergelijking met het systeem in de Oosterschelde?

Vul hieronder in.



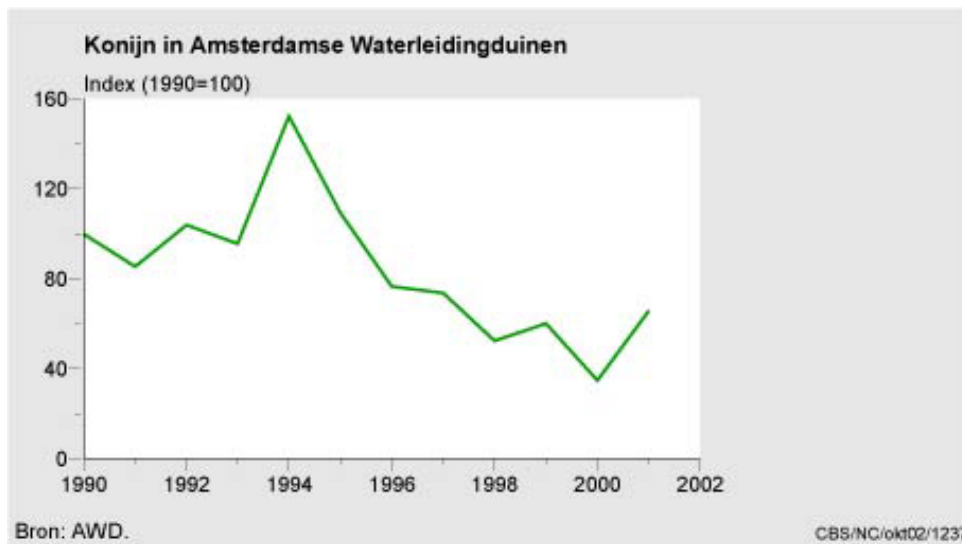
Ook in ons land komen systemen voor waarbij de invloed van de mens beperkter is dan bij de mosselkweek in de Oosterschelde. Stel, je kijkt naar het Noordhollands duinreservaat, een gebied van 5300 ha, dat beheerd wordt door het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN). Lees hieronder de doelstelling van het PWN.

PWN: puur water en natuur. Dat vertelt exact waar we ons mee bezighouden. We zorgen ervoor dat er op elk moment van de dag zuiver en betrouwbaar water uit uw kraan komt. Daar staan we voor. Als natuurbeheerder hebben we de verantwoordelijkheid voor gebieden met een grote nationale en ecologische waarde. Gebieden met rust en ruimte die jaarlijks miljoenen bezoekers trekken. Puur water en natuur dus, waar u dag in dag uit van kunt genieten. Want we doen het natuurlijk niet voor onszelf, maar voor u.

Een van de soorten die vanouds in het PWN-gebied voorkomt, is het konijn. Konijnen zijn van oorsprong afkomstig uit Spanje, Zuid-Frankrijk en Noord-Afrika. Vanaf de 13^e eeuw hebben konijnen hun areaal sterk uitgebreid, waarbij ze ook in onze omgeving terechtkwamen. In Europa hebben ze zich naar het noorden toe verspreid tot Zuid-Zweden en naar het oosten tot Polen. Toen konijnen in Nederland verschenen, ontwikkelden ze zich aanvankelijk voorspoedig, tot ze een bepaald niveau bereikt hadden: de *draagkracht*. Die draagkracht wordt vooral bepaald door het voedselaanbod: geschikte plantenkost. Voor een konijn zijn dat malse, eiwitrijke bladeren. Anders dan mosselen nemen konijnen bij voedselgebrek niet in gewicht af, maar in aantal!

Een ander verschil met het ecosysteem met de mosselen in de Oosterschelde is dat konijnen in het duinreservaat in aantal kunnen toenemen door voortplanting en afnemen door ouderdom, honger, maar ook door vossen of andere predatoren, zoals hermelijnen.

Het ecosysteem met konijnen in de duinen is dus veel complexer en dynamischer: er kunnen in de loop van de jaren regelmatig forse veranderingen optreden in het aantal konijnen (zie figuur 17).



Figuur 17: de ontwikkeling van de aantallen konijnen in de Amsterdamse Waterleidingduinen

Naar welk organisatieniveau of welke niveaus moet je vooral kijken als je als PWN-er een 'konijnvriendelijk' beheer wilt voeren in het duinreservaat? En waar moet je als beheerder allemaal aan denken als je het aantal konijnen in je gebied, dat de laatste jaren erg laag is, weer omhoog wilt zien te krijgen?

Vul hieronder in.

Ook voor konijnenbeheer kun je modellen maken die je kunnen ondersteunen bij het beheersbeleid. De Italiaan Vito Volterra en de Amerikaan Alfred Lotka bedachten in de twintiger jaren van de vorige eeuw onafhankelijk van elkaar een wiskundig model waarin prooien (zoals konijnen) en predatoren (zoals vossen) elkaar beïnvloeden.

Zij gingen van de volgende twee veronderstellingen uit:

- De sterfte van konijnen hangt (mede) af van het aantal vossen: hoe meer vossen, hoe meer konijnen worden opgegeten;
- De geboorte van vossen hangt (mede) af van het aantal konijnen: hoe meer konijnen, hoe meer jonge vossen.

Zij bedachten twee formules die wij voor een Powersimmodel kunnen gebruiken (met konijnenpopulatie K en vossenpopulatie V):

$$K_{\text{nieuw}} = K_{\text{oud}} + g \times K_{\text{oud}} - s \times K_{\text{oud}} \times V_{\text{oud}}$$

$$V_{\text{nieuw}} = V_{\text{oud}} + c \times K_{\text{oud}} \times V_{\text{oud}} - m \times V_{\text{oud}}$$

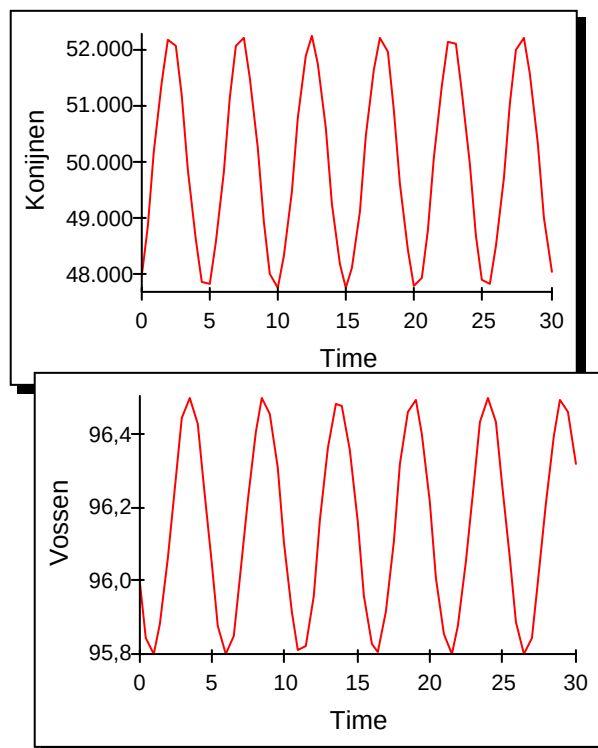
waarin g = geboortesnelheid konijnen

s = 'vraatkans' bij gegeven vossenpopulatie

c = 'omzettingssnelheid' van opgegeten konijnen in jonge vossen;

m = sterftesnelheid vossen.

Als je dit in Powersim zet, krijg je de volgende patronen (zie figuur 18).



Figuur 18: uitkomst van een Lotka-Volterramodel in Powersim

Een punt van kritiek op dit model is dat de toename van de konijnen nergens door wordt bepaald: er is geen relatie met voedsel. Als je in het duinreservaat rondkijkt, blijken er allerlei verschillende planten voor te komen die als voedsel kunnen dienen

voor konijnen. Daarbij kun je grofweg onderscheid maken tussen sappige grassen en kruiden aan de ene kant en planten als duinriet, zandzegge en struiken aan de andere. Die laatste kunnen wel worden gegeten als ze nog jong en sappig zijn, maar als ze ouder worden, zijn ze voor het konijn door hun vezels en hout onverteerbaar.

Bovendien is de vos ten opzichte van de konijnen sinds zijn terugkeer in het duingebied een constante factor. Doordat hij kan overschakelen op andere voedselbronnen (kippen bijvoorbeeld en op de grond broedende vogels) is hij niet direct afhankelijk van het aantal konijnen in het duingebied.

Veel meer dan om de relatie konijnen-vossen gaat het om de relatie eetbare grassen-konijnen. In het model duin1.sim is dit ingebouwd.

- a** Open het model duin1.sim. Welk organisatieniveau speelt of welke niveaus spelen een rol in dit model? Waarom is de tijdschaal in jaren en niet in dagen, zoals bij de mosselen?

- b** Op blz. 40 heb je kunnen lezen dat de draagkracht aan konijnen vooral bepaald wordt door beschikbaar voedsel. Wat bepaalt op haar beurt de draagkracht aan beschikbaar voedsel in dit model? Leg je antwoord uit.

- c** Vergelijk de toename en de afname van grassen en konijnen met de formules van Lotka en Volterra. Wat valt je op?

- d** Laat het model nu doorrekenen. Beschrijf de ontwikkeling van grassen en konijnen. Vul op de volgende bladzijde in.

- e De dichtheid aan konijnen is in het model ingesteld op een maximale waarde. Dubbelklik op *konijnen*. Bereken de maximale dichtheid per hectare ($= 10^4 \text{ m}^2$). Onderzoek vervolgens de invloed van een halvering van de dichtheid aan konijnen op de dynamiek.

Vul de maximale dichtheid en het resultaat van een halvering hieronder in.

- f Zet *konijnen* weer op de maximale waarde. De *grassen* staan op een lage beginwaarde in vergelijking met de grootte van het totale beschikbare duingebied. Dat staat op $53 \times 10^6 \text{ m}^2$: de grootte van het Noordhollands Duinreservaat. Welk percentage vormt het startoppervlak aan grassen van het beschikbare duingebied? Onderzoek de invloed van een uitbreiding van het grasareaal door de beginwaarde van grassen te verhogen met een factor 5, 10 en 100.

Vul hieronder in.

Percentage bij de start:

Factor 5:

Factor 10:

Factor 100:

- g Zet *grassen* weer op de beginwaarde van 5300 m^2 . Onderzoek de invloed van *beschikbaar_deel_duingebied*. In werkelijkheid is namelijk niet het hele duingebied beschikbaar voor grassen. Er zijn ook andere, concurrerende plantensoorten, zoals duinriet, zandzegge en struiken zoals duindoorn (zie ook blz. 41), die voor konijnen niet eetbaar zijn.

Wat gebeurt er met de aantalontwikkeling van konijnen als je het beschikbare deel van het duingebied (= het gebied waar potentieel ruimte is voor grassen) verkleint met een factor 10, 100 of 1000?

Vul hieronder in.

Factor 10:

Factor 100:

Factor 1000:

Konijnen hebben na de 2^e Wereldoorlog flink te lijden gehad onder ziektes. Eerst een myxomatose-epidemie in de jaren 50 en later in de jaren 90 een VHS-epidemie. Je zou verwachten dat een konijnenpopulatie die door een epidemie gedecimeerd wordt, na verloop van tijd wel weer op het oude niveau terugkeert. Maar dat gebeurde na de laatste epidemie niet. De dichtheid was sterk teruggelopen, maar is sindsdien nauwelijks meer gestegen, hoewel de ziekte intussen grotendeels is uitgewoed.

- h** Kun je met de resultaten van het model bij **g** laten zien wat er precies mis is gegaan?

Vul hieronder in.

- i** Konijnen hebben ook nog te maken met vossen, een factor die we in het duingebied ten opzicht van konijnen als een constante kunnen opvatten. Bouw vossen als constante in in het model, een constante die mede zorgt voor afname van konijnen. Ga ervan uit dat de vossen een bepaalde fractie van het aantal konijnen vangen, bij voorbeeld 0.01, 0.1 of 0.2 (1, 10 of 20%).

Onderzoek nu de invloed van de verschillende ‘predatiedrukken’ bij een volledig beschikbaar duingebied en gebieden die beperkt zijn tot 0.1 deel, 0.01 deel en 0.001 deel.

Vul de tabel in.

<u>Predatiedruk</u> Duingebied	Druk = 0	druk = 0.01	druk = 0.1	druk = 0.2
volledig				
0.1 deel				
0.01 deel				
0.001 deel				

Mensen kunnen invloed uitoefenen door in te grijpen in de vegetatie. Ze laten Schotse Hooglanders (figuur 19) het riet, de zandzegge en de struiken weg eten, om zo de konijnen weer een kans te geven om toe te nemen.

- j Wat zou het nut zijn van het werken met een model waarin de Schotse Hooglanders worden geïntroduceerd, voordat de dieren werkelijk in het duin worden losgelaten?



Figuur 19: Schotse Hooglanders

In het krantenartikel hieronder kun je lezen dat dit echter niet altijd goed uitpakt.

Wildernis kun je zaaien

Nederland grijpt al vijftien jaar in om natuur te repareren. Dat moet wel, anders blijft er niets bijzonders over. Maar herstel slaat niet overal aan. Een balans van mislukkingen en successen.

Soms wordt een natuurgebied goedbedoeld naar de knoppen geholpen. In Akmarijp, Friesland zijn voor Nederland vrij unieke blauwgraslanden met zeldzame planten verknald omdat daar vuil water uit een ander gebied overheen ging. Een zeldzame waterwants verdween uit de Grenspoel bij Appelscha nadat de bodem was afgeschraapt voor de schoonmaak van het ven.

Maar er zijn ook successen te melden bij natuurherstel. In de Bergvennen bij het Overijsselse Denekamp zijn de Waterlobelia's in acht jaar toegenomen tot een roze waas van tienduizenden exemplaren. Plaggen en uitdunnen van dennenbossen bracht de mossen, korstmossen en paddenstoelen terug en dan ook nog de soorten die bedreigd waren.

Deze inzichten over successen en mislukkingen met natuurherstel zijn de afgelopen vijftien jaar opgedaan. Ze staan beschreven in de deze week verschenen bundel 'Duurzaam natuurherstel' voor behoud van biodiversiteit (Expertisecentrum ministerie van LNV).

Halverwege de jaren tachtig zag het er beroerd uit voor de natuur, door de milieuvervuiling en de grootschalige onttrekking van grondwater. Hei vergraste, duinen verruigden en water werd diepzwart, stonk en was met dikke lagen schuim bedekt. Sinds 1989 steekt de overheid jaarlijks vijf miljoen euro in natuurherstel en is negentigduizend hectare onder handen genomen.

'Vóór die tijd werd het knutselen aan de natuur op het gevoel gedaan', zegt prof. dr. Jan Roelofs, bioloog aan de Radboud Universiteit Nijmegen en een van de hoofdpersonen die bij het natuurherstel zijn betrokken. 'Negen van de tien keer mislukte dat.'

Het unieke aan het zogeheten 'Overlevingsplan bos en natuur' van de laatste vijftien jaar is, dat het met wetenschappelijk onderzoek is onderbouwd. 'Nergens ter wereld gebeurt dit', zegt Roelofs. 'Maar ook nergens ter wereld is het zo hard nodig', voegt bioloog dr. Bart van Tooren van Natuurmonumenten daaraan toe.

Steeds werd de verstoorde en niet verstoorde natuur van hetzelfde type met elkaar vergeleken. In het laboratorium werd de oorzaak van de verstoring achterhaald: verzuring door te veel ammoniak en eutrofiëring (voedseloverdosis) door te veel stikstof of fosfaat. Als de versturende factoren eenmaal waren opgespoord, kon de beschadigde natuur in het veld met daarbij passende maatregelen worden gerestaureerd.

Zo is een veelheid aan maatregelen uitgetoetst in bossen, hei, hoog- en laagveen, duinen en vennen. Dat varieerde van plaggen, maaien, kalk uitstrooien om de zuurgraad te verminderen, uitdunnen van bossen, optrekken van het grondwaterpeil en uitbaggeren van vennen, tot het inzetten van grote grazers, zoals runderen en paarden.

Met de grazers in de duinen is het niet goed gegaan. 'Bij warm weer zochten de grazers verkoeling in de duinvalleien. Zo kwam in dit al zwaar geëutrofiëerde milieu een extra lading mest binnen van de poepende dieren. Daardoor gingen de zeldzame orchideeën eraan', zegt Roelofs.

De grazers vraten ook de vegetatie weg, waarvan talrijke diersoorten afhankelijk zijn. Zo paren en schuilen spinnen in de ruigtes en met hen tientallen andere soorten. Ook vogels die op de bodem broeden zijn de klos als de eieren onder de poten worden vertrapt.

Heiherstel door het afschrappen van de bovenste, verzuurde bodemlaag leek een probaat middel. Na dit plaggen zouden de plantenzaden dieper in de bodem weer een kans krijgen, was het idee. Maar dat bleek op veel plaatsen een illusie.

Ecohydroloog dr. Ab Grootjans van de Rijksuniversiteit Groningen, een rekkelijke, vindt dat in zo'n situatie kordaat naar een alternatief moet worden gezocht. Dat is zaadjes van beroemde plantenfamilies inzaaien en niet tot St. Juttemis zitten wachten of Valkruid zich weer wil laten zien. Hij heeft er geen boodschap aan dat de preciezen dit natuurvervalsing noemen. Ook het boek breekt een lans voor het inzaaien van planten om ecosystemen op gang te helpen.

Maar zo simpel laat de natuur zich niet dwingen, bleek bij het experiment in het Drentse Hunenhuus. Daar werd Valkruid ingezaaid, een soort waar ecologen opgewonden van kunnen raken. Van de vierhonderd Valkruid-zaden bleven er na vier jaar drie over.

(fragment uit de Volkskrant van 27 november 2004 door Marieke Aarden)

- k** Noem een onbedoeld neveneffect. Waardoor is het moeilijk om precies datgene te bereiken dat gewenst is in een ecosysteem?

Vul hieronder in.

- l** Kun je dergelijke onbedoelde neveneffecten voorkomen door eerst met het duinmodel te werken? Leg je antwoord uit.

Vul op de volgende bladzijde in.

- m** Modellen kunnen worden ontwikkeld om meer begrip te krijgen van allerlei verbanden in een ecosysteem. Maar ook om voorspellingen te doen over het toekomstige verloop van ontwikkelingen, bij voorbeeld na een ingreep. Welke functie hebben de modellen van mosselen en konijnen waar wij mee hebben gewerkt, vooral? Leg je antwoord uit.

Vul hieronder in.

- n** Lees de onderstaande tekst van Bas Haring, uit De Volkskrant van 1 april 2006. Ben je het eens met zijn argumenten over individuen en populaties. Licht je standpunt toe.

Vul hieronder in.

De duiven van m'n achterbuurman vliegen weer los. Dat mogen ze weer omdat de dreiging van de vogelgriep wat minder lijkt te zijn. Voor eventjes: in de herfst zal de griep dubbel en dwars weer terugkomen, als ik mijn achterbuurman geloven mag.

Ik maakte me al zorgen om de eenden. Tientallen eenden bivakkeren in mijn tuin. Toen het vroom, was het water voor mijn deur het enige stuk dat openbleef en zo zijn de eenden rond mijn huis beland. Ik denk dat ze nooit meer weggaan, want ik geef ze veel te veel te eten. Als ik m'n kont maar keer, komen ze kwakend bedelen. En mocht het ze te lang duren, dan beginnen ze gewoon aan m'n broekspijpen. Ik hield m'n hart vast: ik moest er niet aan denken dat ik de eenden zou zien wegwijnen van de griep.

Als een soort van troost hield ik mezelf voor dat zo'n populatie eenden heel wat kan hebben. Wanneer 90 procent van de eenden in mijn dorp het loodje legt, hoeft het maar een paar seizoenen te duren of de eendenstand is weer op orde.

Gelukkig maar.

Maar waarom gelukkig? En vooral: gelukkig voor wie? Gelukkig voor mij omdat ik het leuk vind om eenden te zien zwemmen. Maar de eenden die sterven aan de griep, hebben niets aan een eventueel herstel van de populatie; en de populatie zelf heeft er ook niets aan. In die zin dat de populatie het niet fijn vindt dat-ie weer op orde is. Populaties vinden helemaal niks.

Een eend kan pijn lijden, en tien eenden kunnen tien keer pijn lijden, maar een populatie van eenden lijdt als populatie geen pijn. Niets en niemand lijdt als een groep krimpt of groeit. Een eend heeft pijn als je zijn vleugel afhakt, maar een groep eenden lijdt geen pijn wanneer die in twee groepen uiteen valt. Op dezelfde manier lijdt de eendensoort ook geen pijn als die met uitsterven bedreigd wordt.

Individueen kunnen plezier maken en pijn lijden – groepen kunnen dat niet. Daarom vind ik individuen belangrijker dan groepen . Het lijden van één eend gaat me aan het hart. Het lijden van tien eenden gaat me tien keer zoveel aan het hart. Maar de voor- of tegenspoed van een groep eenden doet me niets.

- o Tenslotte. Welke argumenten spelen er allemaal een rol bij beslissingen om al of niet in te grijpen in een ecosysteem, zoals bij het wel of niet inzetten van Schotse Hooglanders? Noem enkele argumenten. Zijn die allemaal van hetzelfde type? Zo nee, geef dan aan of het ecologische, economische of emotionele argumenten zijn.

Vul hieronder in.

