

Agent-based modeling

Domein R: Computational Science

handleiding docent

INHOUD

Algemeen	3
Inleiding	3
Materialen	3
H1 modellen	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Groepsgedrag	4
1.3 Tijd en iteraties	6
1.4 Het doel van modelleren	8
1.5 Onderzoek doen	11
1.6 De volledige modelleercyclus	13
H2 modellen maken	14
2.1 Inleiding	14
2.2 Een wereld met patches	15
2.3 patches maken en aanpassen	15
2.4 Bewegende agents	16
2.5 Agents die reageren op hun omgeving	17
2.6 Turtles die op elkaar reageren	19
2.7 Globale variabelen en statistiek	20
H3 onderzoek doen	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Van casus naar model	22
3.3 Formaliseren: verificatie en validatie	24
3.4 Gegevens verzamelen: BehaviorSpace	27
H4 po	30
Materialen bij het PO	30
Toelichting bij het beoordelingsmodel	30

ALGEMEEN

Inleiding

Welkom bij de handleiding bij de module **Agent-based modeling**. Deze module is een uitwerking van het **Domein R: Keuzethema Computational Science** met de subdomeinen:

R1: Modelleren






De kandidaat kan aspecten van een andere wetenschappelijke discipline modelleren in computationele termen.

R2: Simuleren

De kandidaat kan modellen en simulaties construeren en gebruiken voor het onderzoeken van verschijnselen in die andere wetenschap.

Materialen

Het lesmateriaal bevat de volgende onderdelen:

- PDF met theorie en vragen
De uitwerkingen van de vragen vindt u in dit document.
Uitwerkingen van NetLogo-opdrachten vindt u in de bijbehorende NetLogo-bestanden.
- Videobronnen: te herkennen aan 
De video-icoontjes bevatten hyperlinks naar de bijbehorende bronnen
- Bijlagen in de vorm van werkbladen en Excel-opdrachten: te herkennen aan 
De bijlagen staan in de map *leerlingen*. De uitwerkingen staan in de map *docent*.
- Bijlagen in de vorm van modellen & simulaties (uit te voeren zijn in de browser): te herkennen aan 
De bijlagen staan in de map *site* en kunt u eventueel toevoegen aan uw eigen schoolomgeving.
- Groepsopdrachten: te herkennen aan 
De bijbehorende instructie vindt u in dit document.
- Steropdrachten: te herkennen aan 
Dit zijn opdrachten voor de betere havo-leerling en vwo-leerling, in te zetten ter differentiatie.
- Toets behorende bij de theorie van hoofdstuk 1
De toets met uitwerking vindt u in de map *docent*.
- Praktische opdracht ter afsluiting van de volledige module. Zie H4 van dit document.
- Een PowerPoint voor in de les met ondersteunende dia's en extra bronnen.
LET OP: veel afbeeldingen bevatten een hyperlink om de direct de onlinebron te kunnen bezoeken.
Bij de notities staat de oorspronkelijke bron en soms een extra link als achtergrondinformatie.

Het lesmateriaal is opgedeeld in drie hoofdstukken met elk een studielast van ± 20 sl.

Hoofdstuk 1 Modellen

Dit hoofdstuk heeft als doel om leerling kennis te laten maken met een breed spectrum aan modellen en ze te laten nadenken over modelleren als techniek. Ze leren hierbij relevante vaktermen en maken kennis met de modelleercyclus die gebruikt kan worden om verantwoord onderzoek te doen.

Hoofdstuk 2 Modellen maken

Dit hoofdstuk heeft als hoofddoel om leerlingen te leren om modellen te ontwikkelen in het programma NetLogo. Dit hoofdstuk sluit af met eindopdrachten die ook als beperkte praktische opdracht kunnen worden ingezet.

Hoofdstuk 3 Onderzoek doen

In dit hoofdstuk wordt de inhoud van hoofdstuk 1 & 2 met elkaar verenigd. Het doel van dit hoofdstuk is om leerlingen te leren om zelfstandig verantwoord onderzoek te doen met agent-based modeling. Het hoofdstuk sluit af met een praktische opdracht.

H1 MODELLEN

Dit hoofdstuk geeft een algemene inleiding op modelleren en *agent-based modeling* in het bijzonder. Het is niet per se de bedoeling om dit hoofdstuk integraal door te werken. De ervaring op testscholen leert dat het verstandig is om keuzes te maken binnen dit hoofdstuk, om te voorkomen dat de klas te lang bezig is met dit theoretische hoofdstuk.

U kunt vanzelfsprekend differentiëren met de steropdrachten. Daarnaast is het bijvoorbeeld om leerlingen met een CM- en EM-profiel te laten werken aan de context *kiezen* terwijl NG- en NT-leerlingen werken aan de abstractere en exactere context *cellulaire automaten* (inclusief *game of life*). Wij dagen u uit om als vakdocent zelf keuzes te maken binnen dit hoofdstuk.

1.1 Inleiding

In de PowerPoint staat een verwijzing naar:

- een webpagina met actuele weermodellen.
- een TED-presentatie over weermodellen.

Opdracht 1: Modellen

Het doel van deze opdracht is om leerlingen te laten nadenken over wat modellen zijn, welke modellen ze kennen en waar modellen voor kunnen worden gebruikt.

1. modellen bij natuurkunde, economische modellen, modellen om bevolkingsgroei te voorspellen, de F1-simulator van Max Verstappen
2. bevestigen van een theorie, testen of een ontwerp veilig is, lange termijnplanning maken voor de groei van een stad, het trainen van mensen
3. nabootsen (van de werkelijkheid). Latijn *simulāre* 'gelijk maken, nabootsen, veinzen', een afleiding van *similis* 'gelijk'.

Opdracht 2: Vuurmieren

Het doel van deze opdracht is om leerlingen emergent gedrag (groepsgedrag) te laten zien als inleiding op paragraaf 1.1. De video is via een link opgenomen in de PowerPoint.

Daarnaast is er een extra slide verwijzend naar een video op:

<https://www.quantamagazine.org/the-simple-algorithm-that-ants-use-to-build-bridges-20180226>

1.2 Groepsgedrag

In de PowerPoint is een pagina opgenomen met korte omschrijvingen van emergent gedrag en agents.

Daarnaast zijn video's opgenomen naar:

- Dodelijk groepsgedrag: *death spiral*
- Engelstalige uitleg van *emergence* van Kurtzgesagt
- Een toepassing van agents die elkaar in de gaten houden: drones op de Olympische Spelen

Opdracht 3: Helden en Lafaards

Het doel van deze opdracht is om leerlingen in de rol van agents te zetten met een beperkte set regels en zelf te laten ervaren dat dit emergent gedrag oplevert dat onvoorspelbaar is. De leerling-instructie is opgenomen in de PowerPoint. Van dit model bestaat een variant in NetLogo: *Heroes and Cowards*.

Uitleg spel

Om het spel te spelen is een ruimte nodig, waar de klas vrij kan bewegen (in het lokaal, op de gang, in de kantine, buiten, etc.). Vooraf vraag je elke leerling om in gedachten één klasgenoot als *vriend* aan te duiden en een andere klasgenoot als *vijand*. Het spel kent vervolgens twee fasen.

Fase 1: lafaards

Alle leerlingen wordt nu opgedragen om zich te gedragen als lafaards. Dit betekent dat ze moeten proberen om zich zo in de ruimte op te stellen dat hun *vriend* altijd tussen henzelf en hun *vijand* staan, zodat ze zichzelf achter hem of haar verschuilen.

Geef een startsignaal en laat de leerlingen gedurende enige tijd bewegen. Laat iedereen dan weer stoppen en op hun plek blijven staan.

Fase 2: helden

Alle leerlingen wordt nu opgedragen om zich te gedragen als helden. Dit betekent dat ze proberen om zich zo in de ruimte op te stellen dat ze zelf altijd tussen hun *vriend* en hun *vijand* staan, zodat ze hun eigen vriend beschermen.

Geef een startsignaal en laat de leerlingen gedurende enige tijd bewegen. Laat iedereen dan weer stoppen en op hun plek blijven staan. Benadruk dat het veranderen van slechts één gedragsregel tot totaal ander emergent gedrag leidt. Dit is kenmerkend voor *agent-based modeling*.

Tips bij het spel

Voor, tijdens en na dit spel kunt u overwegen om de volgende zaken te bespreken:

- i. Wat zijn *agents*? Wat is *emergent gedrag*?
- ii. Vraag na uitleg van fase 1: voorspel wat er gaat gebeuren: welk emergent gedrag verwacht je?
- iii. Na spelen van fase 1: terugkomen op voorspelling en vaststellen welk gedrag is waargenomen.
- iv. Vorige punten idem voor fase 2.
- v. In de NetLogo-Models Library is een implementatie van het spel beschikbaar onder *IABM Textbook* → *chapter 2* → *Heroes and Cowards*.

Deze kan worden getoond als vooruitblik op de rest van het lesmateriaal.

Opdracht 4: Delen of stelen

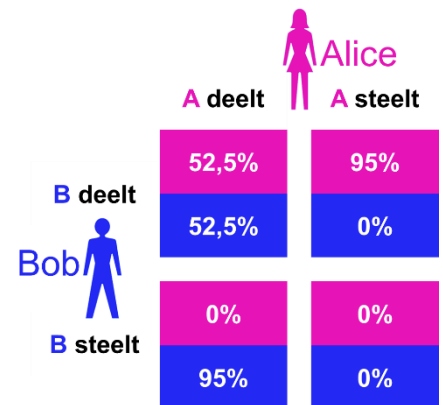
Het doel van deze opdracht is om leerlingen kennis te laten maken met het onderzoeken van menselijk gedrag middels agent-based modeling, door na te denken over onderzoeksvragen, hypothesen en de vertaling van de werkelijkheid naar een abstract model met slechts een paar parameters. Op de vragen zijn vele antwoorden mogelijk. Ze zijn vooral bedoeld om het denken over modellen te stimuleren. Figuur 4, figuur 5 en een mogelijk antwoord op vraag 11 zijn opgenomen in de PowerPoint.

Deze opgave heeft grote overeenkomsten met het gevangenendilemma dat leerlingen mogelijk van lessen economie of wiskunde kennen:

https://nl.wikipedia.org/wiki/Prisoner%27s_dilemma

4. De video is opgenomen in de PowerPoint.
5. Leerlingen kunnen zelf spelen tegen spelers met een bepaald profiel. Je kunt eventueel klassikaal spelen en met de klas de statistieken bespreken.
6. Zijn mensen eerder geneigd om te delen of te stelen?
Wie zijn er eerder geneigd om te delen? Mannen of vrouwen?
Zijn mensen als ze ouder worden eerder geneigd om te stelen?

7. (Op volgorde van de vorige vraag:)
Onder de 30 stelen mensen vaker dan ze delen. Daarboven zijn ze eerder geneigd tot delen.
Dit is afhankelijk van de leeftijd. Tot 40 jaar delen vrouwen eerder, daarboven delen mannen eerder
Nee, integendeel.
8. Delen mensen vaker als de ander belooft om te delen?
Stelen mannen vaker van elkaar of van een vrouw?
Verliest diegene die als eerste een voorstel doet in de onderhandelingen vaker als degene die wacht tot de ander het initiatief neemt?
9. (Op volgorde van de vorige vraag:) ja, van een vrouw, ja
10. Ervaringen met het kijken naar het programma
De uitspraken van de presentator
De toon van de tegenkandidaat
11. Het draait hier om het nadenken over menselijk gedrag: de vraag is niet absoluut te beantwoorden, omdat wijziging van percentages zal leiden tot ander menselijk gedrag ofwel andere percentages van delen en stelen.
Zie de figuur voor een mogelijk antwoord. Het percentage delen is hier verhoogd, zodat mensen eerder geneigd zullen zijn om te delen. Hierdoor zal de jackpot vaker worden uitgekeerd. Dit zorgt voor meer kosten. Hiervoor kan worden gecompenseerd door de jackpot bij stelen te verlagen. Omdat er vaker wordt gedeeld dan gestolen, moet het steelpercentage meer dalen, dan dat het deelpercentage stijgt.



Opdracht 5: Weldoener

Het doel van deze opdracht is een eerste kennismaking met het uitvoeren van modellen en dient als aanloop naar de volgende paragraaf over tijd en iteraties. De leerlingen wordt onder andere gevraagd om zelf te formuleren wat een *tick* is. En passant komen NetLogo-begrippen als *setup* en *go* voor het eerst voorbij.

Advies: Leerlingen moeten beschrijven welke gedragsregel(-s) de agents hier volgen. Het kan nuttig zijn om klassikaal aandacht te besteden aan de duidelijkheid en eenduidigheid van formulering bij dergelijke gedragsregels.

Bij deze opdracht hoort een model dat in de browser kan worden uitgevoerd.

In de *NetLogo-Models Library* is een implementatie beschikbaar onder *IABM Textbook* → *chapter 2* → *Simple Economy*.

De hier gebruikte Nederlandstalige implementatie kan ook rechtstreeks in NetLogo worden geopend.

1.3 Tijd en iteraties

In de PowerPoint is een pagina opgenomen met korte omschrijvingen van het begrip iteratie.

Opdracht 6: Een zwerm spreuwen

Het doel van deze opdracht is om leerlingen in een andere context te laten nadenken over modellen. De opgave zoomt in op het gedrag van agents en het doel/nut van modelleren.

De video is opgenomen in de PowerPoint.

12. Aantal vogels, onderlinge afstand, eigen snelheid, snelheid burens, windrichting, aanwezigheid roofvogel, hoogte, eigen vliegrichting (omhoog, omlaag), vliegrichting burens
13. Fundamenteel inzicht in de werking van de natuur
14. Eén iteratie is de tijd waarin elke spreeuw afzonderlijk zijn positie ten opzichte van zijn omgeving bepaald, op basis daarvan beslist welke beweging hij maakt en die (micro-) beweging uitvoert.
15. Programmeren van robots die in een groep samen moeten werken.
Gebruik in programmatuur van zelfrijdende auto's of andere zelf-bewegende objecten zoals drones, legervoertuigen, etc.

Opdracht 7: Bosbrand

Het doel van deze opdracht is om leerlingen in een andere context te laten nadenken over modellen. De opgave zoomt in op het identificeren van agents in een context en het identificeren van factoren die agent-gedrag beïnvloeden. Daarnaast maken we hier kennis met *threshold value*: een waarde van de parameter waarbij het model ineens ander gedrag gaat vertonen; in dit geval: dat het vuur wèl de overkant bereikt.

De PowerPoint bevat een afbeelding met de link naar de video (*embed* niet mogelijk).

Van dit model bestaat een variant in NetLogo: *Fire (Simple)*. Deze gebruiken we in hoofdstuk 2, maar u kunt er voor kiezen om daar nu al een voorschot op te nemen.

Er kan bij deze opgave gediscussieerd worden over de granulariteit: op welk niveau kies je de agents? Bosstroken? Losse bomen? Blaadjes en takjes? Ook kan er gediscussieerd worden over het kwetsbare evenwicht in ecologische systemen en *point of no return*.

16. de bomen.
17. Bedoeld als discussievraag. Vuur kan hier worden gezien als het emergente gedrag, veroorzaakt door de agents *bomen* die de eigenschap *brandend* hebben.
18. De bomen nemen vuur over op basis van onderlinge afstand, temperatuur, wind, vochtigheid.
19. gedrag van een actuele bosbrand voorspellen t.b.v. de bestrijding van het vuur, onderhoud van bos.

Opdracht 8: Iteraties

Het doel van deze opdracht is om leerlingen inzicht te geven in het begrip iteraties. En passant leren ze om agent-gedrag toe te passen, op basis van enkele regels. Deze opdracht is een goede voorbereiding op de verificatie van modellen die in H2 en H3 moet worden gedaan: het zelfstandig controleren of de code doet wat het volgens jouw plan zou moeten doen. Dit kan alvast in de klas worden benadrukt.

Bij deze opdracht hoort een werkblad dat voor leerlingen moet worden geprint. De uitwerkingen staan in een apart bestand. In de PowerPoint staan de eerste drie afbeeldingen van de opdracht, die gebruikt kunnen worden bij de introductie. Daarnaast is een slide met de uitwerkingen opgenomen en vindt u in de docentenmap het bijbehorende NetLogo-bestand (*Opdracht 8 Iteraties NETLOGO-model.nlogo*).

Extra vragen die daarbij gesteld zouden kunnen worden, zijn:

- i. Wat betekent *wraparound of world wrap*? Wie kent die term?
Zie ook: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wraparound_\(video_games\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Wraparound_(video_games))
- ii. Zijn er agents die voor beide regels hetzelfde gedrag vertonen?
- iii. Zijn er agents die bij één van de twee regels altijd zwart of altijd wit blijven?

Opdracht 9: Laterale inhibitie

Deze verdiepingsopdracht heeft als doel om te laten zien hoe je met een eenvoudig model een ingewikkeld fenomeen kunt verklaren, ook al is de retina (en het achterliggende visuele systeem) in werkelijkheid een complex neurale netwerk. Daarnaast wordt het rekenen op basis van elementaire regels geoefend en wordt een toepassing (Photoshop) getoond.

In de PowerPoint zijn enkele figuren opgenomen ten behoeve van klassikale bespreking en/of instructie.

20. De acht burens zorgen voor een afname van $8 \cdot 3 = 24$. Het uitgangssignaal wordt dan $35 - 24 = 11$.
21. De zes cellen krijgen de waarden 11 | 11 | 17 | 1 | 7 | 7
22. Door laterale inhibitie wordt het contrast langs een rand vergroot. De bovenste afbeelding in de figuur lijkt twee keer dezelfde grijstint te bevatten, maar in de onderste figuur zie je dat er verschil is.
23. –
24. –

Opdracht 10: Spinnenwebben

Het doel van deze opdracht is om leerlingen kennis te laten maken met begrippen als willekeur en random. Bovendien laat de opdracht de leerlingen nadenken over zowel het model als de werkelijke context die wordt gemodelleerd en wordt impliciet ingegaan op zaken als *het nut van meerdere runs* en validatie. De video is opgenomen in de PowerPoint.

25. Een te klein web of een web met te grote gaten zal geen insecten vangen. De spin heeft dan geen voedsel en zal niet overleven en voortplanten.
26. Omdat het aantal insecten dat op een bepaalde plaats langs komt op willekeur berust, kan een spin met een goed web de pech hebben dat hij toch te weinig voedsel heeft om te overleven en zich te kunnen voortplanten. (De verspreiding van de insecten is random in tijd en plaats.)
27. Er is geen regelmaat te ontdekken in de plaatsing van de stippen (voor deze iteratie; voor de zes spinnenwebben in deze iteratie is het stippenpatroon identiek).
28. Bij elke iteratie hoort in dit geval een nieuwe generatie spinnen die anders genetisch is geprogrammeerd. Na elke iteratie planten spinnen met de meest succesvolle webben zich voort.
29. Omdat er toeval in het model zit, kan het met slechts één web ook gebeuren dat een spin met een acceptabel gebouwde web toch sterft, door dat de spin *pech* heeft met de random aanwezige prooidieren. Bij een volgende run van het model met hetzelfde web, zou deze spin best kunnen overleven om zich vervolgens voort te planten. Door met populaties van *dezelfde spinnen* te werken, wordt uitgesloten dat een acceptabel gebouwde web door toeval wordt uitgesloten van verdere ontwikkeling.
30. –
31. Er zijn opbrengsten in de vorm van gevangen insecten en kosten in de vorm van de hoeveelheid spinrag die nodig is voor de constructie.
32. Het eindresultaat van het model komt overeen met spinnenwebben die we in de natuur vinden.
33. Het model simuleert de ontwikkeling over vele generaties. Dat is een hele lange tijd. In de film wordt zelfs gesproken over een evolutie gedurende miljoenen jaren. Dit kan deels op basis van onderzoek aan fossielen worden gedaan, maar dan nog is het ingewikkeld om een lijn van ontwikkeling op basis van generaties in kaart te brengen.

1.4 Het doel van modelleren

In de PowerPoint is een pagina opgenomen met een opsomming van de doelen uit het lesmateriaal. Bovendien is een TED-presentatie toegevoegd over onderzoek naar emergent gedrag van agents en toepassingen binnen artificiële intelligentie (AI). Deze kan als achtergrond bij de theorie van de paragraaf worden getoond en biedt tevens de kans om belangrijke begrippen als agents en emergent gedrag te herhalen.

Opdracht 11: Mensenstroom

Deze opdracht toont een concrete, herkenbare toepassing van computermodellen. Leerlingen moeten actief nadenken over doelen en factoren die te maken hebben met die doelstelling en oefenen met het formuleren van onderzoeksvragen en hypothesen. Aansluitend kunnen ze zelf aan de slag met een model. De video is opgenomen in de PowerPoint.

Bij deze opgave horen twee modellen die in de browser kunnen worden uitgevoerd:

- Evacuatie Stadion: hiermee kun je klassikaal de ontruiming van stadionvakken simuleren. Hiermee kan meteen worden gedemonstreerd hoe te werken met modellen zoals deze en het klaslokaal.
- Evacuatie Klaslokaal: ten behoeve van vraag 43.

De modellen kunnen eventueel ook rechtstreeks in NetLogo worden geopend.

34. Beschrijven: hoe ziet een mensenstroom van 50 duizend mensen bij een evacuatie er uit?
Uitleggen: waarom verloopt een evacuatie op een bepaalde manier (bij een zekere constructie en ontruimingsplan)
Onderwijs: het voorlichten van beveiligers en hulpverleners
Experimenteren: architecten kunnen zonder een stadion te bouwen zien wat het gevolg is van hun

keuzes

Voorspellen: het model geeft een uitkomst die niet zeker is (maar een voorspelling)

35. Hoe een evacuatie verloopt is afhankelijk van de vraag waar zich een probleem voordoet en of hierbij bijvoorbeeld ook een vluchtroute wordt afgesloten. Er worden meerdere plannen geprobeerd om te kijken welke waarschijnlijk het beste zal zijn.
36. De bezoekers van het stadion (mensen)
37. Onderlinge afstand met andere mensen, lokale mensendichtheid, (over-)zicht over de ruimte, looprichting van andere mensen, loopsnelheid van anderen, loopsnelheid van jezelf, lokale situatie: vlak stuk of een trap o.i.d. Er zijn heel veel antwoorden mogelijk.
38. De hoeveelheid rook / de rookontwikkeling (het tempo waarmee de hoeveelheid rook toeneemt), De breedte van de opening, het aantal aanwezige mensen, de hoeveelheid onderlinge ruimte die mensen elkaar laten
39. Hoe hangt de ontruimingstijd af van:
 - de breedte van de opening
 - het aantal aanwezige mensen
 - de onderlinge ruimte die mensen laten
40. (Op volgorde van de vorige vraag) De ontruimingssnelheid:
 - Neemt lineair toe met de grootte van de opening
 - Als het aantal mensen verdubbelt, is de toename van de ontruimingstijd groter dan 2
 - Als mensen meer onderlinge ruimte laten, is dat nadelig voor de lengte van de mensenstroom, maar omdat ze hierdoor makkelijker door de opening kunnen, is het uiteindelijk bevorderlijk omdat ze niet samenpersen
41. De rode bollen zijn verschillend van grootte.
42. Samenstelling van de verdeling van de groep (man, vrouw, grootte van individuen)
Variatie in looprichting en (maximale) loopsnelheid
43. Zelf proberen met het gegeven model.

Opdracht 12: Kiezen I

Deze opdracht geeft meer achtergrond bij het gebruik van modellen in de praktijk en toont zowel doelen als maatschappelijke invloeden van modellen. Daarnaast toont de opgave de stap van de context in een conceptueel model naar een formeel model, met een extreme versimpeling van de werkelijkheid (abstractie).

De PowerPoint bevat een afbeelding met de link naar de video (*embed* niet mogelijk).

44. Leeftijd van de huidige auto, leeftijd van de persoon, hoeveelheid spaargeld, aankooppatroon van auto's in het leven van de persoon, huidige baan / salaris, verandering in gezinssamenstelling
45. De modellen bevatten toevalselementen, waardoor de uitkomst niet altijd hetzelfde zal zijn.
46. Ze legt uit dat gemeentes met behulp van dit onderzoek beter hun energie kunnen richten op mensen die kansrijk zijn om weer aan het werk te komen. De inspanningen van de gemeente worden op die manier effectiever.
47. Discussievraag. Mogelijke reacties:
In een analyse heb je nooit alle gegevens. Het model dat het gedrag voorspelt zal dus altijd een versimpeling zijn van de werkelijkheid en dus wordt nooit alles met alles vergeleken.
Er is tegenwoordig zoveel data, dat *alles met alles* vergelijken te veel rekenkracht zou vergen en te lang zou duren. Daarom worden er waarschijnlijk toch wel keuzes gemaakt.
48. Politieke partijen maken op basis van deze profielen keuzes over de plaatsen waar ze al dan niet reclame maken (flyeren).
49. Elk individu (of een kleine groep) op maat bedienen met een persoonlijke boodschap.
50. Amerikanen met Haïtiaanse achtergrond gericht benaderen met negatieve berichtgeving over Clinton.
Zwarte stemmers die toch niet op Trump zouden stemmen, werd verteld dat stemmen geen zin had (door ze naar een site te verwijzen waar dat stond), zodat ze ook niet op concurrent Clinton zouden stemmen.
51. –

52. Random zit hem hier niet in de verhouding tussen de politieke voorkeuren, maar in de verdeling van de mensen met een bepaalde voorkeur over de ruimte. Er is een mate van toeval die bepaalt in welke omgeving een individu zich bevindt en hoe hij hierdoor wordt beïnvloed.
53. Dat zijn andere agents (met dezelfde of juist afwijkende politieke voorkeur).
54. Als de netto overredingskracht van alle Republikeinen en alle Democraten in de omgeving van de agent groter is dan de vasthoudendheid van de agent, dan is de politieke voorkeur na één iteratie gelijk aan de politieke voorkeur in de omgeving met de grootste netto overredingskracht.
55. Een interactie (uitwisseling van standpunten rond politiek) met alle agents in hun directe omgeving.

Opdracht 13: Kiezen II

Het doel van deze opdracht is om leerlingen zelf te laten werken met een abstract model in een context waar ze al over hebben nagedacht. En passant leren ze om agent-gedrag toe te passen, op basis van enkele regels. De opdracht wordt als redelijk pittig ervaren, zeker door minder exact aangelegde leerlingen.

Bij deze opdracht hoort een werkblad dat voor leerlingen moet worden geprint. De uitwerkingen staan in een apart bestand. In de PowerPoint staan sheets met de opgaven en uitwerkingen van de iteraties.

Deze opdracht moet in samenhang met opdracht 12 worden aangeboden. Op dezelfde manier kan opdracht 14 in samenhang met opdracht 15 worden aangeboden. Dit geeft u als docent de kans om te kiezen, maar u kunt de differentiatiekeuze ook bij de leerling neerleggen (b.v. α *kiezen* en β *automaten*).

Opdracht 14: Cellulaire automaten

Deze opdracht is bedoeld als verdieping op voorgaande thema's. Ter variatie op vorige opgaves wordt hier gewerkt met een Excel-werkblad. De antwoorden van de Excel-opdrachten (57, 58) staan op een apart tabblad in de docentenversie.

Om de opdrachten te maken, moet de achtergrond van cellen zwart worden gekleurd. Dit kan eventueel klassikaal worden voorgedaan. In de PowerPoint staat een inleidende sheet.

Een overzicht van regels en hun resultaat is te vinden op:

<http://mathworld.wolfram.com/ElementaryCellularAutomaton.html>

Regels kunnen, met achtergrondinformatie, worden doorgerekend op:

<https://www.wolframalpha.com/input/?i=rule+225>

56. Wanneer je voor een wit vakje 0 invult en voor een zwart vakje 1, dan ontstaan van rechts naar links de binaire getallen 0 t/m 7.
57. $10010110 = 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^7 = 2 + 4 + 16 + 128 = 150$
58. Zie Excel-bestand docentenmap
59. Zie Excel-bestand docentenmap
60. –
61. –
62. (Leerlingen kunnen hun antwoord controleren via één van bovenstaande links.)

Opdracht 15: Game of life

Deze opdracht geeft meer verdieping op het thema cellulaire automaten en abstracte modellen. Het laat zien dat agents op basis van enkele simpele regels zeer complex en onvoorspelbaar emergent gedrag kunnen vertonen.

De video is opgenomen in de PowerPoint. Hiervoor zijn vele alternatieven:

- Uitgebreide video ingeleid met de modelregels: <https://www.youtube.com/watch?v=C2vgICfQawE>
- Game of life met een computer: <https://www.youtube.com/watch?v=8unMqSp0bFY>
- Interview met John Conway: <https://www.youtube.com/watch?v=R9PIq-D1gEk>

Bij deze opdracht hoort een model dat in de browser kan worden uitgevoerd. De oorspronkelijke code is te vinden op <https://playgameoflife.com> en is ontwikkeld en beschikbaar gesteld door (de Nederlander) Edwin Martin.

- 63. I Een cel met minder dan twee (levende) buren, sterft (door onderbevolking)
- II Een cel met twee of drie (levende) buren, blijft leven
- III Een cel met meer dan drie (levende) buren, sterft (door overbevolking)
- IV Een dode cel met precies drie (levende) buren, komt tot leven (door voortplanting)
- 64. –
- 65. –
- 66. Een *still life* is een levensvorm die niet verandert in de tijd. Een *oscillator* is een levensvorm die na twee of meer iteraties terugkeert naar zijn oorspronkelijke vorm.
- 67. –
- 68. –

Opdracht 16: Verspreiding van HIV

Op veel scholen is binnen sectie Biologie het Aids-bekerspel bekend. Het spel is oorspronkelijk ontwikkeld door Henk Frencken, Lisette van Rens, Gilles de Wildt en Ries Buckers (Rutgers Stichting, 1994) en werd geleverd in een speldoos. Wellicht dat deze bij u op school nog aanwezig is. Het spel gaat over de kans op hiv-besmetting en hoe je het kunt vermijden, bedoeld voor groepen van minimaal 15 personen van 15 jaar en ouder. Elke speler krijgt één van 25 rolkaarten en een plastic beker met een water-melk-oplossing.

Via het spel wordt duidelijk gemaakt hoe snel en gemakkelijk het hiv zich kan verspreiden als mensen niet veilig vrijen. In deze module willen we daarnaast kijken naar het emergente gedrag van de agents ter voorbereiding op de volgende paragraaf over *onderzoek doen*. U kunt vragen stellen als:

- Wat is hier een iteratie?
- Welke onderzoeksvragen kunnen we hier stellen?
- Hoe kunnen we het emergente gedrag straks kwantificeren? (besmettingsgraad)
- Welke uitkomst verwacht je? (hypothese)
- Zal er elke keer dezelfde uitkomst zijn (bij hetzelfde aantal iteraties)? Waarom niet?

De profielen en de instructie van dit spel vindt u in de docentenmap. Deze versie is gedownload via: <http://www.kiwibiologie.nl/voortplanting/> maar er zijn vele versies online te vinden (ook in het Engels).

1.5 Onderzoek doen

In de PowerPoint zijn pagina's opgenomen waarmee de eerste twee fasen in de onderzoekscyclus kunnen worden geïntroduceerd aan de hand van de gegeven casus *Mexican Wave*. Dit kan worden ingeleid met de video uit de volgende opdracht (opgenomen in de PowerPoint), of dit alternatief uit het beroemde stadion *Camp Nou* in Barcelona: https://www.youtube.com/watch?v=fCH8_6l824o
 Figuur 1.23 uit de paragraaf is opgenomen als powerpointsheet.

Bij voldoende leerlingen kunt u er voor kiezen om met elkaar een wave te maken door op een lijn of juist in een kring te gaan staan. Bij de laatste variant zou aandacht besteed kunnen worden aan de continue modelwereld (*wraparound*) die in de simulatie bij opdracht 19 van toepassing is.

In de PowerPoint is nog een extra video opgenomen waarin onderzocht wordt hoeveel mensen er nodig zijn om een *Mexican Wave* op gang te krijgen.

Opdracht 17: Mexican wave I

Deze opdracht legt de verbinding met de voorgaande theorie. Leerlingen oefenen met het formuleren van onderzoeksvragen met bijbehorende voorspellingen van de uitkomst en denken na over abstractie. De video is opgenomen in de PowerPoint.

- 69. Gaat de wave op elke hoogte in het stadion ongeveer even snel?
 Hoeveel rondjes maakt een wave gemiddeld door een stadion, voordat hij weer stopt?
- 70. (Op volgorde van de vorige vraag)
 Mensen proberen de wave verticaal op dezelfde plek te houden. Omdat een rondje bovenin groter is, zal de wave daar sneller gaan.
 Zeven

71. De afspeeltijd van de video, afmetingen van het stadion (schatting, of internet), eventueel aan de hand van schatting afmetingen van stoeltjes (en de ruimte daartussen)
72. Tussen 7 s en 12 s legt de wave een recht stuk af dat naar schatting een half voetbalveld is; ofwel 50 m in 5 s levert een geschatte snelheid van 10 m/s.
Tussen 46 en 53 s legt de wave een recht stuk af dat naar schatting driekwart voetbalveld is; ofwel 75 m in 7 s = 11 m/s.
Onze hypothese luidt dat waves in stadions een snelheid hebben van tussen de 8 m/s en 14 m/s, afhankelijk van de afmetingen van het stadion.
73. Toeschouwers zijn geslachtsloze poppetjes en hebben allen dezelfde reactietijd. Ook hebben ze geen leeftijd, lengte, etc. Het stadion loopt niet rond maar in een rechte lijn, alle mensen maken precies dezelfde wave-beweging en staan alleen op ten gevolge van de wave.

Opdracht 18: Agressie

Deze opdracht laat leerlingen nadenken over de vraag wat een agent-based model (al dan niet) is en wat eventueel met de ABM-techniek te modelleren is in een voor pubers aansprekende context. Bovendien geeft het een actueel beeld van gebruikte (model-) technologieën.

De video is opgenomen in de PowerPoint.

74. Bij *big data* gaat het om erg grote hoeveelheden data die vaak snel en in grote hoeveelheden tegelijk worden verzameld. Ze kunnen alleen met digitale systemen worden geanalyseerd / gebruikt.
75. Nee. In dit systeem worden individuele mensen live gevolgd. Op basis van deze gegevens wordt een voorspelling gedaan. Het is geen simulatie op basis van vooraf ingestelde eigenschappen en geprogrammeerd gedrag.
Ja, op basis van live input worden in dit model agents gegenereerd met eigenschappen die als input dienen voor de simulatie. Op basis van het algoritme en ervaringsdata wordt een vechtpartij voorspeld aan de hand van het emergente gedrag van een groep agents in een model.
76. Individuele mensen
77. De rode bollen zijn personen. De blauwe lijnen tonen bewegingspatronen: hoe verplaatst de persoon zich door de ruimte in de tijd?
78. Abstractie is een versimpeling van de werkelijkheid waarbij je (in de context van modellen) alleen beschrijft wat belangrijk is voor het model. Al het overige laat je weg.
79. stressniveau (stresslevel in de stem), onderlinge afstand (als functie van de tijd)
80. Een hoger stressniveau en een kleinere onderlinge afstand (in combinatie met een hoog stressniveau) zorgt ervoor dat de kans op een conflict toeneemt. Het bijbehorende agent-gedrag is dat de agents naar elkaar toe bewegen en om elkaar heen draaien, net als het menselijke gedrag waarop dit systeem is gebaseerd. Bij een laag stressniveau zullen de agents meer in een rechte lijn bewegen.
81. Stressniveau: wat is het hoogste stressniveau waarbij de agents nog conflict-vermijdend gedrag zullen vertonen?
Onderlinge afstand: vrienden of stelletjes bewegen zich op een kleine onderlinge afstand. Wat is de meest kenmerkende onderlinge afstand die duidt op een aankomend conflict?
82. Nee, dit is een model dat op basis van statistische gegevens een voorspelling doet op basis van waarschijnlijkheid. Er is geen sprake van agents die volgens regels na een iteratie een nieuwe toestand krijgen.
83. Eigenschappen: afkomst, geslacht. Gedrag: *beweegt zich alsof hij net uit een koffiешop komt*

1.6 De volledige modelleercyclus

In de PowerPoint is een dia opgenomen om aan te geven dat formaliseren de stap van de echte wereld naar de wereld van de computer betekent (mathematische wereld). Daarnaast is figuur 1.25 opgenomen, die hier een concreet voorbeeld geeft. Bovendien zijn dia's opgenomen met betrekking tot verificatie (mathematische wereld) en validatie (echte wereld). Het doel van deze paragraaf is een eerste kennismaking met de volledige cyclus met bijbehorende begrippen. In H3 zal dit verder worden uitgediept.

Er is een TED-video (Nederlandse ondertiteling beschikbaar) aan de PowerPoint toegevoegd, die kan dienen als illustratie van wat er mogelijk is met modellen in het algemeen (door iemand van 17 jaar!). De video kan ook gebruikt worden om de verschillende fasen in de modelleercyclus nog eens te benadrukken aan de hand van dit concrete voorbeeld. Bij de video is Nederlandse ondertiteling beschikbaar.

Opdracht 19 Mexican wave II

Deze opdracht heeft als doel om na te denken over verificatie en validatie in de aangereikte context en stelt een aantal vragen die dwingen om kritisch te kijken naar model en modeluitkomsten.

Bij deze opdracht hoort een model dat in de browser kan worden uitgevoerd.

84. Zelf proberen met het gegeven model.

85. Nee. Als je jouw conceptuele model wilt toetsen, dan moet je eerst zorgen dat het formele model overeenkomt met het conceptuele model. Er zit blijkbaar nu een *fout* in het model. Dat moet eerst worden gerepareerd, voordat je gaat kijken of de uitkomsten kloppen met de werkelijkheid.

Opdracht 20 Mexican wave III

Deze opdracht heeft als doel om na te denken over validatie in de aangereikte context en stelt een aantal vragen die dwingen om kritisch te kijken naar model, modeluitkomsten en gemaakte aannames.

Bij deze opdracht hoort een model dat in de browser kan worden uitgevoerd.

86. Zelf proberen met het gegeven model.

87. De vraag suggereert dat een wave in een stadion een bepaalde snelheid heeft, maar we zien in deze simulatie dat de snelheid afhangt van de positie / hoogte in het stadion.

H2 MODELLEN MAKEN

In dit hoofdstuk brengen we *agent-based modeling* in de praktijk met het programma NetLogo. De theorie delen zijn relatief kort gehouden. Het lesmateriaal is juist zo opgezet dat leerlingen door het maken van de opdrachten steeds meer leren over het zelf opzetten van modellen en het werken met NetLogo. De meeste opdrachten hebben dan ook betrekking op het uitvoeren van handelingen binnen NetLogo. Daarnaast zijn er vragen die leerlingen laten nadenken over concrete modellen en aspecten van modelleren zoals *wraparound* en *random*. Hierbij komen basisbegrippen uit hoofdstuk 1 terug.

Dit hoofdstuk bevat minder steropdrachten ter differentiatie dan het vorige hoofdstuk. De verdieping op de inhoud van dit hoofdstuk is straks wel te vinden in hoofdstuk 3. Het is niet per se noodzakelijk om alle opdrachten te doen, maar veel opdrachten *stapelen* wel. Met andere woorden: vaak is voorkennis nodig van iets dat in een eerdere opdracht is aangeleerd. Wilt u toch kiezen (b.v. om tijd te winnen), dan bieden de bijgeleverde video's bij de opdrachten soms uitkomst. Hierin worden handelingen in NetLogo voorgedaan. Voor sommige leerlingen is het bekijken van een dergelijke video voldoende om een zelf een nieuwe opdracht te kunnen doen.

Vanaf het moment dat leerlingen zelf een nieuw model kunnen maken, loopt de casus *Aquarium* (totaal zes opdrachten) als rode draad door het hoofdstuk. Vanaf paragraaf 2.6 komt hier een tweede casus *een mop doorvertellen* bij (totaal vier opdrachten). Aan een meer zelfstandige leerling zou als eis gesteld kunnen worden dat hij of zij alleen deze opdrachten maakt, immers: hierin moeten alle basisprincipes uit dit hoofdstuk worden toegepast.

Dit hoofdstuk sluit af met suggesties voor eindopdrachten op basis van de twee hierboven genoemde casussen. De ervaring op testscholen leert dat het hierop volgende hoofdstuk 3 voor met name havo-leerlingen erg pittig is. Wij geven ter overweging dat u niet van uw havo-leerlingen vraagt om zelfstandig onderzoek te doen op basis van een compleet nieuwe casus (zonder basismodel), maar dat u ze ter afsluiting van deze module vraagt om een bestaand model uit te breiden. Dat hoeft natuurlijk niet per se op basis van één van deze twee casussen te zijn, maar deze suggesties zouden wel als hulp kunnen dienen.

Omdat veel opdrachten over handelingen in NetLogo gaan, bevat dit document weinig uitwerkingen van hoofdstuk 2. Wel is in de docentenmap een map opgenomen met alle eindversies van de NetLogo-bestanden voor elke opdracht waarvoor dit relevant is.

Bij een aantal opdrachten is een video gemaakt waarin de stappen van de opdracht worden getoond. Dit is vooral gedaan bij opdrachten waar leerlingen kennis maken met nieuwe opties binnen NetLogo. Deze video's staan in de leerlingenmap in de submap *video*.

De PowerPoint is voor dit hoofdstuk veel minder uitvoerig, gezien de aard van het hoofdstuk. Waar er slides zijn toegevoegd ter ondersteuning van paragrafen of opdrachten, is dat hieronder aangegeven. De docentenmap bevat de map *NetLogo EXTRA*. Hierin staan voor de paragrafen § 2.2 tot en met § 2.5 aanvullende NetLogo-modellen die kunnen helpen bij het overbrengen van de stof.

2.1 Inleiding

In de PowerPoint is een sheet opgenomen over het zelf downloaden van NetLogo of het gebruik van de webversie van NetLogo. Hierbij kunt u uitleggen wat u van ze verwacht op het gebied van thuiswerk. U kunt er bij deze paragraaf voor kiezen om klassikaal een voorbeeld te tonen van een NetLogo-model uit de *Models Library* of één van de modellen waar in hoofdstuk 1 mee is gewerkt. Hierbij zou alvast aandacht besteed kunnen worden aan (het verschil tussen) begrippen als *parameter* en *variabele*.

TIP: besteed aandacht aan *of* en zo ja *waar* leerlingen modellen opslaan (ook in de context *Models Library*).

Opdracht 1: Bosbrand I

In deze opdracht leren leerlingen hoe ze een model kunnen vinden in de modelbibliotheek en hoe ze dit kunt openen en uitvoeren. Leerlingen maken kennis met de begrippen *setup*, *go* en *slider*.

De opgave bevat een voorbeeldvideo waarin de handelingen worden uitgevoerd.

mogelijk antwoord bij vraag 10: De verspreiding van bomen varieert: hun positie is random. Je moet daarom het model meerdere keren uitvoeren om vast te kunnen stellen of een bepaalde uitkomst past in een patroon of juist (uitzonderlijk) toeval is. Het onderzoek heeft waarschijnlijk betrekking op de parameter *density*. Dit betekent dat het model voor verschillende waarden van de parameter moet worden gerund.

2.2 Een wereld met patches

Deze paragraaf is gericht op het maken en manipuleren van de modelwereld die is opgebouwd uit patches.

In de PowerPoint is een dia opgenomen die de patches en hun eigenschappen toont, op basis van het bestand *par 22 uitleg patches.nlogo* in de map *docent/H2/NetLogoEXTRA* dat u ook rechtstreeks kunt gebruiken.

Opdracht 2: Modelwereld bekijken en aanpassen

In deze opdracht leren leerlingen om patches te manipuleren. Ze maken kennis met *model settings*, coördinaten van patches en de *inspect*-functie.

De opgave bevat een voorbeeldvideo waarin de handelingen worden uitgevoerd.

Opdracht 3: Bosbrand II | world wrap

In deze opdracht staat *world wrap* centraal.

In de PowerPoint zijn hierover twee sheets opgenomen met:

- Een dia met een cilinder en torus zoals in figuur 2.6
- Een YouTube-video die demonstreert hoe je vanuit een vlak een torus kunt maken. Een alternatief hiervoor is een video die de *Game of Life* toont op een torus <https://www.youtube.com/watch?v=lxleaotWlks>

TIP: Demonstreer *world wrap* door een A4-tje eerst als cilinder en vervolgens als torus te vouwen.

2.3 patches maken en aanpassen

In deze paragraaf maken leerlingen voor het eerst kennis met het tabblad *Code* en de taal NetLogo. Behalve specifieke code-elementen komen algemenere principes als initialisatie, procedure en attribuut aan bod.

In de PowerPoint is een dia opgenomen die een wereld met gekleurde patches maakt en de NetLogo-code waarmee dit is bereikt op basis van het bestand *par 23 patches maken.nlogo* in de map *docent/H2/NetLogoEXTRA* dat u ook rechtstreeks kunt gebruiken.

TIP: tijdens het demonstreren van het tabblad *Code* kunt u eenvoudig in- of uitzoomen met **Ctrl +** en **Ctrl -**

Opdracht 4: Zelf patches aanpassen

In deze opdracht oefenen de leerlingen voor het eerst met NetLogo-code.

De opgave bevat een voorbeeldvideo waarin de handelingen worden uitgevoerd.

Opdracht 5: Logische operatoren

In deze opdracht breiden leerlingen hun kennis en vaardigheid uit met dubbele voorwaarden waarbij logische operatoren moeten worden ingezet. Merk op dat in NetLogo een vergelijking van waarden ook met een enkel = teken wordt geschreven (en b.v. niet `pxcor == 5`). Dit kan afwijken van wat uw leerlingen gewend zijn, afhankelijk van de gevolgde programmeerlessen en de daarbij gehanteerde taal.

TIP: bij vraag 42 moeten leerlingen zelf een variant bedenken. De leukste kunnen als klassikale opdracht dienen.

Opdracht 6: Zelf een model maken

In deze opdracht worden de stappen doorlopen om zelf een NetLogo-model te maken met een *setup*. Hierbij worden een aantal basisbegrippen zoals *setup*, *parameter* en *slider* herhaald.

De opgave bevat een voorbeeldvideo waarin de handelingen worden uitgevoerd.

Opdracht 7: if, else & random

In deze opdracht leren leerlingen om voorwaarden te programmeren in NetLogo. Ook leren ze de random-functie kennen. De ervaring leert dat vooral havo-leerlingen moeite hebben met code zoals in vraag 59.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met een vraag over de random-functie op basis van het bestand *par 23 random.nlogo* in de map *docent/H2/NetLogoEXTRA* dat u ook rechtstreeks kunt gebruiken.

Opdracht 8: Aquarium I | patches als algen

In deze opdracht wordt de casus *Aquarium* gedefinieerd die als rode draad door de rest van dit hoofdstuk loopt.

mogelijk antwoord bij vraag 66: Nee, elke patch heeft een random kans van 10% om groen te worden. Dit kan opleveren dat in de totale wereld uiteindelijk een ander percentage, bijvoorbeeld 11% of 9% van de patches, daadwerkelijk groen wordt gekleurd.

Als we de situatie versimpelen tot een wereld met slechts twee patches, dan geldt voor de hele modelwereld dat of 0% of 50% of 100% van de patches groen is na de setup. De optie 10% is er dan niet eens, ofwel er is een verschil tussen het individuele 'kanspercentage' van een patch op een eigenschap en het uiteindelijke percentage patches met een bepaalde eigenschap.

2.4 Bewegende agents

Deze paragraaf draait om het toevoegen van agents aan een NetLogo-model. Hoe geef je ze een plek? Hoe laat je ze bewegen? Belangrijk voor ABM is hierbij de willekeur (random) in positie en beweging.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met een wereld met twee turtles en de NetLogo-code waarmee dit is bereikt op basis van het bestand *par 24 turtles toevoegen.nlogo* in de map *docent/H2/NetLogoEXTRA*. De modelwereld bevat opzettelijk een beperkt aantal patches, zodat zowel de structuur van de wereld als *wraparound* nog eens kan worden herhaald.

Opmerking: in de code wordt gebruik gemaakt van *heading*. Dit komt pas in opdracht 13 aan de orde en is daarom in de code van de PowerPoint weggelaten.

Een tweede, vergelijkbare dia zoomt in op het toevoegen van attributen en het gebruik van labels als achtergrond bij opdracht 10. Met de switch zijn de labels te activeren.

TIP: benadruk dat het gebruik van labels kan helpen bij het begrijpen van modellen en het vinden van fouten.

Opdracht 9: Random walk

Deze opgave laat leerlingen oefenen met het plaatsen en random laten bewegen van agents. Het is daarmee een basis voor veel van de volgende opdrachten.

Opdracht 10: Meer attributen | stappen tellen

In deze opgave gebruiken leerlingen *inspect*, *watch* en *follow* en passen ze het gebruik van labels en vormen toe. Er is hierover een dia opgenomen in de PowerPoint (zie de tekst bij de theorie van § 2.4).

De opgave bevat een voorbeeldvideo waarin de handelingen worden uitgevoerd.

Opdracht 11: Aquarium II | turtles als vissen

In deze opdracht maken leerlingen voor het eerst een uitbreiding op hun model *Aquarium*. Ze passen hierbij de stof uit de paragraaf toe.

Opdracht 12: Resterende stappen | stop en sterf

In deze opdracht maken leerlingen kennis met monitoren en stopcondities. En passant maken ze kennis met *heading*.

Achtergrond: monitoren maken gebruik van *reporters*. Dit zijn functies met return-waardes. De terminologie is vergelijkbaar met Pascal waar *procedures* geen returnwaarde hebben en *functies* wel.

Opdracht 13: Breeds: soorten turtles

Het doel van deze opdracht is om leerlingen te leren werken met meerdere soorten turtles binnen één model door het gebruik van *breed*.

In de map *docent/H2/NetLogoEXTRA* staat het bestand *par 24 EXTRA vliegtuigen.nlogo* waarin vele elementen uit de vorige paragrafen samenkomen: *random walk*, genereren van patches en turtles, eigenschappen, *pen down*, monitoren, *breeds*, *random*, etc. Dit voorbeeld kan worden gebruikt om de stof te herhalen of verduidelijken.

Opdracht 14: Aquarium III | vissen als breed

In deze opdracht breiden leerlingen hun model *Aquarium* verder uit. Ze passen hierbij de stof uit de paragraaf toe.

2.5 Agents die reageren op hun omgeving

Deze paragraaf is de eerste van twee die draaien om de omgeving van de agents en hoe deze op hun omgeving of elkaar kunnen reageren. Deze paragraaf focust daarbij op patches.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met als thema *neighbors* op basis van het bestand *par 25 patches en burenen.nlogo* in de map *docent/H2/NetLogoEXTRA* dat u ook rechtstreeks kunt gebruiken. Hierin is als extraatje ook aandacht voor *neighbors4* dat verder niet in het materiaal terugkomt.

TIP: laat de werking zien voor A en A4 (de gele patch) en vraag leerlingen om vervolgens te voorspellen / tekenen hoe de wereld er uit zal zien voor B en B4 (de magenta patch). Het voor sommige leerlingen verrassende antwoord benadrukt nog eens *worldwrap*.

Opdracht 15: de juiste vraag-volgorde

Deze opdracht zoomt in op een belangrijk punt dat niet voor alle leerlingen even makkelijk te doorgronden is. U kunt overwegen om deze opgave klassikaal te maken / demonstreren.

In de PowerPoint is een dia opgenomen bij deze opgave.

mogelijk antwoord bij vraag 113: (Bijvoorbeeld) De patch rechtsonder geeft aan 1 groene buur te hebben. Dit klopt alleen als er sprake is van een continue wereld. Ofwel: *world wrap* is ingeschakeld.

mogelijk antwoord bij vraag 116: Als de *setup* wordt uitgevoerd, wordt aan alle patches gevraagd hoeveel groene burens zij om zich heen zien. Op basis van deze beginsituatie wordt in de *Go* gevraagd om van kleur te veranderen (of niet; afhankelijk van de situatie).

Het is de bedoeling dat hierdoor een nieuwe wereld ontstaat (het emergente gedrag na 1 iteratie) en dat alle patches op basis van dit patroon een nieuwe telling van hun burens doen. In de eerste (foute) versie van het model telt een patch echter meteen zijn burens na uitvoering van *verander_kleur*, dus, voordat de andere patches van kleur veranderen. Hierdoor ziet de wereld er niet voor alle patches hetzelfde uit. Omdat de volgorde waarin NetLogo de patches bevraagt willekeurig is, levert dit niet elke keer hetzelfde resultaat op.

In de verbeterde eindversie veranderen alle patches eerst (al dan niet) van kleur. Pas als hiermee een nieuwe wereld is ontstaan volgt voor alle patches een telling van het aantal gekleurde burens op basis van één en dezelfde modelwereld.

Opdracht 16: Patches en hun omgeving

Deze opdracht is een vervolg op opdracht 15, maar is eventueel ook zonder deze opdracht uit te voeren. Leerlingen passen hier de theorie van de paragraaf toe.

TIP: deze opgave begint met een wereld met een beperkt aantal patches en schaalt daarna op. Dat is een goed moment om te benadrukken of te laten zien dat verificatie eenvoudiger gaat met een beperkt aantal grotere patches. Begin *klein* en als het werkt ga je naar *groot*.

Opdracht 17: Werkblad iteraties H1

Deze steropdracht grijpt terug op de werkbladopdracht uit hoofdstuk 1. Het geeft extra training en verdieping. In de code wordt gebruik gemaakt van de modulo-operator. Afhankelijk van de voorkennis van de leerlingen op het gebied van programmeren kan dit eventueel nog worden toegelicht.

Opdracht 18: Aquarium IV | groeiende algen

In deze opdracht breiden leerlingen hun model *Aquarium* verder uit. In dit geval is er niet alleen sprake van herhaling / toepassing, maar wordt er ook nieuwe code geïntroduceerd met:

- `ask one-of neighbors with [pcolor = blue]`
- `if count (neighbors with [pcolor = blue]) > 0`

In de PowerPoint is een dia opgenomen bij deze nieuwe code op basis van het bestand *par 25 opg 18.nlogo* in de map *docent/H2/NetLogoEXTRA* dat u ook rechtstreeks kunt gebruiken:

De gele patch vraagt willekeurig één van zijn witte burens om rood te worden.

Als dit oplevert dat één van de burens van de magenta patch rood is geworden, dan reageert deze door oranje te worden. Is er geen rode patch in de buurt, dan kleurt hij groen.

TIP: ter verdieping kunt u in de procedure A de *setup* uitschakelen. Dit levert na vier keer klikken op dat alle witte patches rond de gele patch rood gekleurd zijn. Een vijfde keer klikken zorgt dan voor een foutmelding, omdat *one-of* een set met minimaal één agent nodig heeft om te kunnen werken. Dit zou in de vorm van een kort onderwijsleergesprek aan de orde gesteld kunnen worden. In paragraaf 2.6 komt dit eveneens in de theorie aan de orde.

Opdracht 19: Game of Life

In deze verdiepingsoopdracht worden leerlingen uitgedaagd om zelf de *Game of Life* te maken en trainen ze met sliders en monitoren.

In deze handleiding staan bij opdracht 15 van hoofdstuk 1 de regels nog eens op een rij, alsmede enkele videobronnen, die ook naar aanleiding van deze opdracht getoond zouden kunnen worden.

2.6 Turtles die op elkaar reageren

Deze paragraaf introduceert een tweede casus *een mop doorvertellen* om de interactie tussen turtles uit te leggen. Deze casus komt net als *Aquarium* in meerdere opdrachten terug. Hierbij wordt gebruik gemaakt van booleans, die afhankelijk van de programmeerervaringen van uw leerlingen wel of niet bekend is. Daarnaast is dit de eerste kennismaking met *sprout* waarmee patches wordt gevraagd om lokaal een turtle (meerdere kan ook) te maken. Gamende leerlingen zijn waarschijnlijk bekend met *spawn*; dit lijkt daarop.

In de PowerPoint is een dia opgenomen rond *sprout* en *booleans* met de code uit de paragraaf.

TIP: Het aangereikte model van opdracht 20 is een volledig werkend model op basis van de theorie in deze paragraaf. Dit beginmodel zou gebruikt kunnen worden bij de klassikale uitleg.

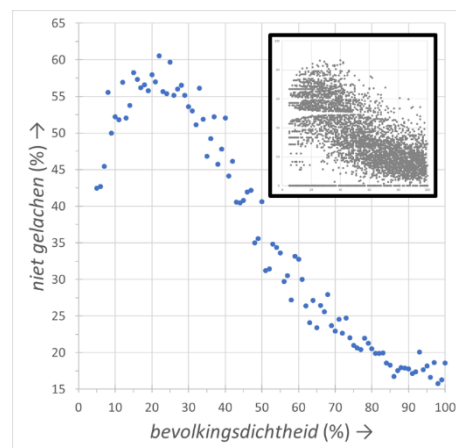
Opdracht 20: Een mop doorvertellen I

In deze opgave werken de leerlingen met het model en code uit de theorie. Bovendien worden de codevariant *ask n-of 2* geïntroduceerd. Ook wordt er gevraagd om op basis van de casus een voorspelling te doen.

mogelijk antwoord bij vraag 149:

Met *BehaviorSpace* (zie hoofdstuk 3) is het model voor elk percentage van 5% tot 100% (met stappen van 1%) 50 maal gerund. Dit levert de puntenwolk in de inzet van de afbeelding hiernaast. De grote grafiek toont het gemiddelde van de 50 runs per ingestelde waarde van de parameter *bevolkingsdichtheid*.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met deze grafiek.



Opdracht 21: Random ontmoeting

Deze opgave introduceert een belangrijk principe dat in meerdere opgaven zal terugkomen: de interactie tussen agents die zich op dezelfde plaats (*patch*) bevinden. Daarom kan het raadzaam zijn om deze opdracht klassikaal in te leiden of te bespreken.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met een beginsituatie van het model en de modelwereld na één en twee situaties. Met behulp van de ingestelde animaties kunt u met de pijltjestoetsen eenvoudig een iteratie vooruit of achteruit in de tijd om zowel de beweging van de agents als de ontmoeting te verduidelijken.

Opdracht 22: Een mop doorvertellen II

Deze opgave past de techniek van de vorige opdracht toe in de context *een mop doorvertellen*. Hierbij wordt de *NetLogo*-functie *any? other* geïntroduceerd.

mogelijk antwoord bij vraag 161: In de *Go*-procedure wordt de verteller gevraagd om de mop te vertellen of rond te lopen, maar niet allebei. Als er op de plek van de verteller iemand is die de mop nog niet kent, dan zal hij de mop vertellen. Is dit niet het geval, dan zal de verteller gaan lopen. Dit kan opleveren dat de blauwe verteller aan het eind van de *Go*-procedure (of: van een iteratie) op een patch komt met een oranje agent. Dit is de situatie die getoond is in de figuur. Pas bij de volgende iteratie zal de verteller dan de mop door vertellen. Tot die tijd blijft de agent oranje gekleurd.

mogelijk antwoord bij vraag 163: Dit komt omdat de laatste vertellers grote kans hebben dat ze lang moeten lopen voordat ze iemand hebben gevonden die de mop nog niet hebben gehoord.

Opdracht 23: Aquarium V | etende vissen

In deze opdracht breiden leerlingen hun model *Aquarium* verder uit door een *ontmoeting* tussen een vis en een alg toe te passen met aanvullende eisen. Hierbij komt ook de functie `hatch` voor het eerst voorbij.

mogelijk antwoord bij vraag 170: De *set*-opdrachten binnen de blokhaken hebben betrekking op de nieuw geboren vis, maar de *set*-opdracht buiten de blokhaken heeft betrekking op de (energie van) de vis die zich voortplant. Deze ouder verliest energie door de voortplanting.

2.7 Globale variabelen en statistiek

Deze paragraaf herhaalt een aantal essentiële begrippen en introduceert globale variabelen en hun gebruik binnen de modelcode en voor reporters in monitoren.

In de PowerPoint is een sheet opgenomen over (het verschil tussen) globale variabelen en attributen.

Opdracht 24: Een mop doorvertellen III

In deze opdracht oefenen de leerlingen met de inzet van globale variabelen.

mogelijk antwoord bij vraag 172: Dit zorgt ervoor dat je ook statistieken ziet na het uitvoeren van de *setup*, ofwel behorende bij het begin van de simulatie.

Opdracht 25: Een mop doorvertellen IV



Deze opdracht is een verdieping op de vorige opdracht, waarbij een eerste stap wordt gezet in het (nadenken over het) realistischer maken van het model *een mop doorvertellen*. Hierbij worden eerder opgedane vaardigheden opnieuw getoetst / gevraagd.

Opdracht 26: Aquarium VI | groeiende vissen

In deze laatste aquariumopdracht breiden leerlingen hun model *Aquarium* verder uit met onder meer globale statistieken. Er is in dit geval voor gekozen om een groot deel van de implementatie te geven en leerlingen te laten experimenteren met het model. Dit kan gezien worden als een inleidende ervaring op hoofdstuk 3.

Opdracht 27: Samen delen | attributen vergelijken



In deze verdiepingsoopdracht reageren agents op elkaar op basis van elkaars attributen door gebruik te maken van `of myself`. De getoonde code wordt als complex ervaren. Het kan daarom raadzaam zijn om deze klassikaal door te spreken.

Dit model kan ook gebruikt worden als inleiding voor hoofdstuk 3. Het leent zich goed voor het nadenken over modellen en het doen van voorspellingen. In het model van de uitwerkingen is een plot opgenomen met het percentage blij mensen als functie van de tijd. De curve die ontstaat heeft een maximum. Dat is waarschijnlijk niet wat uw leerlingen zullen voorspellen...

mogelijk antwoord bij vraag 190: Een agent wordt geel van kleur als hij rondloopt. Als hij daarbij iemand ontmoet wordt hij grijs van kleur. Afhankelijk van het budget wordt de agent die hij ontmoet groen of rood en kijkt hij blij of verdrietig. Als een blij of verdrietige agent vervolgens verder loopt, dan wordt hij geel of grijs, maar blijft hij blij of verdrietig, op basis van de laatste ontmoeting.

mogelijk antwoord bij vraag 193: **C** De agent wordt blij en groen op het moment dat hij vaststelt dat hij meer budget heeft dan de ander. Op dat moment geeft hij ook geld aan de ander. Hierdoor kan het zijn dat hun budgetten daarna gelijk zijn, maar dan kijkt de agent nog steeds blij (omdat hij geld gegeven heeft).

mogelijk antwoord bij vraag 194: In dat geval heeft de *ifelse* ONWAAR als uitkomst. De actieve (lopende) agent geeft dan geld aan de bezochte agent.

H3 ONDERZOEK DOEN

In dit hoofdstuk komen de modelleervaardigheden van H2 en de theorie rond modelleren en onderzoek doen (met modellen) uit H1 samen. Alle fasen uit de modelleercyclus komen aan bod met praktijkvoorbeelden, zodat de leerlingen het traject van onderzoek doen kunnen ervaren.

Een belangrijk doel van dit hoofdstuk is om leerlingen te leren om zelfstandig een onderzoek uit te voeren met behulp van *Agent-based modeling*. De module eindigt dan ook met een praktische opdracht.

Leerlingen worden voorbereid met opdrachten die niet alleen hun NetLogo-vaardigheden vergroten – in het bijzonder op het gebied van verzamelen en visualiseren van modeluitkomsten – , maar die hen ook kritisch laten nadenken over onderzoek doen in het algemeen en binnen de gegeven casussen.

Veel opdrachten zijn ook in dit hoofdstuk op basis van NetLogo-bestanden. De bijbehorende eindversies / uitwerkingen van deze modellen vindt u in de docentenmap. Waar relevant zijn hieronder schriftelijke uitwerkingen toegevoegd.

Dit hoofdstuk bevat twee hoofdthema's die in vele opdrachten terugkomen: *het verspreiden van een virus* en *segregatie*. Het lesmateriaal bevat video's waarin wordt getoond hoe data binnen NetLogo kan worden geëxporteerd en hoe *BehaviorSpace* kan worden ingezet bij het verzamelen van modeluitkomsten.

Ook dit hoofdstuk bevat steropdrachten ter differentiatie. Wij willen hier echter opmerken dat pre-tests op Nederlandse scholen hebben uitgewezen dat havo-leerlingen de stof van dit hoofdstuk in het algemeen op zijn minst als zeer uitdagend ervaren. Leerlingen in havo-5 komen een heel eind met het uitbreiden van een bestaand model en in sommige gevallen het maken van een eigen model. Ze kunnen redelijk uit de voeten met verificatie, maar vinden valideren, experimenteren, analyseren en concluderen lastig. Het diepere inzicht in het proces van onderzoek doen wordt in veel gevallen niet bereikt. Mede daarom hebben wij aan het eind van het vorige hoofdstuk van deze handleiding gesuggereerd om voor havo-leerlingen bij een PO te volstaan met de uitbreiding van een bestaand model. Wij hebben hiervoor in paragraaf 2.8 suggesties gegeven a.d.h.v. de rode draden van hoofdstuk 2, maar de *library* van NetLogo en de online gemeenschap bieden ook talloze mogelijkheden.

De PowerPoint bevat voor dit hoofdstuk meerdere slides. Bij de paragrafen en opgaven wordt hier naar verwezen. Aan het eind van de PowerPoint staan nog enkele slides met video's (over drones die op hun burens reageren & slijmzwammen) die ter afwisseling en verdieping zouden kunnen worden getoond.

3.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt de modelleercyclus van H1 kort herhaald en het doel van het hoofdstuk beschreven. Daarnaast wordt één van de twee hoofdcasussen *virus* geïntroduceerd.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met de modelleercyclus uit H1.

Opdracht 1: Virus | opzet basismodel

In deze opdracht ontwerpen we de basis voor onze algemene casus *virus* uit de inleiding. Door het maken van de opdracht herhalen de leerlingen vaardigheden uit hoofdstuk 2. In deze opdracht is hier speciale aandacht voor het (on-) juist programmeren van procedures.

Antwoord bij vraag 2: Die mens (*turtle*) wordt blauw gekleurd.

Antwoord bij vraag 3: 1000

mogelijk antwoord bij vraag 7: Een *besmette mens* vraagt hier aan alle andere mensen om besmet te raken. Het maakt hier niet uit of ze zich op dezelfde plek bevinden.

mogelijk antwoord bij vraag 8: Deze procedure controleert niet of iemand al besmet is. Besmette mensen worden 'opnieuw besmet', zodat er meer besmettingen zijn dan mensen. Dit verklaart ook dat de oorspronkelijke besmettingsbron niet meer blauw is: hij is opnieuw besmet en daardoor rood gekleurd.

mogelijk antwoord bij vraag 10: Tussen 160 en 220 ticks.

mogelijk antwoord bij vraag 14: Tussen 80 en 110 ticks. (De exacte halvering is louter toeval.)

mogelijk antwoord bij vraag 15: Bij de procedure van vraag 10 is de bewegingshoek willekeurig. Hierdoor zullen mensen gemiddeld minder van plaats veranderen dan bij vraag 14, want daar is de beweging sowieso vooruit gericht. Bovendien is de kans op een bepaalde bewegingshoek niet even groot door de twee stappen (linksom en rechtsom). De kans op een bepaalde hoek wordt steeds kleiner, naarmate dit meer afwijkt van rechtdoor bewegen. Dit levert op dat mensen meer in beweging zijn en dat de kans op een ontmoeting toeneemt. Dit zorgt er weer voor dat de groep sneller helemaal besmet is.

3.2 Van casus naar model

In deze paragraaf wordt de algemene casus *virus* stap voor stap vertaald naar een formeel model in NetLogo. Naast algemene vragen die gesteld kunnen worden bij het conceptualiseren, wordt voor de casus een directe relatie gelegd tussen het conceptuele en formele model.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met een citaat uit de paragraaf:

Onderdruk de neiging om op basis van je eigen kennis en ervaring zaken toe te voegen aan de definitie.

De ervaring leert dat het goed is om dit naar leerlingen toe te benadrukken.

Daarnaast is een sheet opgenomen met vragen die je kunt stellen bij het opstellen van een conceptueel model.

Uitgangspunt voor het onderzoek is de onderzoeksvraag:

Hoe ontwikkelt de besmettingsgraad van de populatie zich in de tijd?

In de theorie worden in figuur 3 drie mogelijke hypothesen gegeven. Deze figuur is in de PowerPoint als dia opgenomen, zodat klassikaal kan worden gestemd. Hierbij kunt u vragen of er iemand is die denkt dat het juiste antwoord er niet tussen zit.

(Dat is namelijk het geval: verderop in dit hoofdstuk zal blijken dat er sprake is van logistische groei.)

Opdracht 2: Virus II | grafieken maken

In deze opdracht oefenen leerlingen met het zelf maken van een plot in NetLogo. Deze techniek helpt ze bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag uit de paragraaf.

mogelijk antwoord bij vraag 20: Geen van de drie gesuggereerde grafieken in de theorie zijn goed. Het resultaat lijkt het meest op logistische groei.

Nota bene: het gaat hier niet om het aanwijzen van een van de drie aangeboden grafieken als de juiste, maar om het bevorderen van kritisch denken en het gewend raken aan het idee dat onverwachte uitkomsten normaal zijn bij het modelleren. Je maakt immers het model om een onbekend verschijnsel te onderzoeken.

Opdracht 3: Segregatie I: conceptueel model

Deze opdracht introduceert de tweede centrale casus van dit hoofdstuk: segregatie. De casus wordt gebruikt om te oefenen met de vragen rond het opstellen van een conceptueel model, zoals die in de theorie zijn gepresenteerd.

Deze opdracht leent zich ook goed voor een onderwijsleergesprek.

antwoord bij vraag 21: mensen

antwoord bij vraag 22: breed [mensen mens]

mogelijk antwoord bij vraag 23: afkomst en geluk. In opdracht 4 geven we de agents om didactische redenen ook de eigenschappen *aantal-buren* en *aantal-gelijke-buren* mee, maar die kunnen ook telkens door het model worden afgeleid.

Antwoord bij vraag 24:

```
mensen-own [  
    afkomst  
    gelukkig?  
]
```

mogelijk antwoord bij vraag 25: Ze kunnen zich verplaatsen in willekeurige richting. Ze kunnen gelukkig of ongelukkig worden.

mogelijk antwoord bij vraag 26: Als er voldoende mensen van dezelfde afkomst als de agent zijn, is deze gelukkig en blijft hij op zijn plek. Zo niet, dan wordt hij ongelukkig en verplaatst hij zich.

mogelijk antwoord bij vraag 27: Een abstracte tijdstap waarin alle agents één keer vaststellen of ze gelukkig zijn en op basis daarvan al dan niet verplaatsen.

mogelijk antwoord bij vraag 28: Ongelukkige mensen verplaatsen zich. Aansluitend stelt iedereen (dus ook de aanvankelijk gelukkige mensen) vast of ze gelukkig zijn of niet.

mogelijk antwoord bij vraag 29: aantal agents, grootte van de modelwereld t.o.v. dit aantal, kwantificering van de beweging. In de casus staat *kleine stap* en willekeurige richting. Kwantificering van wat *voldoende mensen van dezelfde afkomst* is.

Opdracht 4: Segregatie II: formeel model

Dit is de eerste NetLogo-opdracht met de context segregatie.

antwoord bij vraag 31: Geel: afkomst A. Donkergeel ongelukkig, lichtgeel gelukkig. Blauw: afkomst B. Donkerblauw ongelukkig, lichtblauw gelukkig.

antwoord bij vraag 32: Geel: Afkomst, gelukkig?, aantal-buren en aantal-gelijke-buren

antwoord bij vraag 33: De afkomst is "A"

antwoord bij vraag 34: De smiley heeft 6 directe burens, waarvan er 4 ook geel zijn en dus dezelfde afkomst hebben. Het percentage gelijk is dus $4 / 6 \times 100 = 67\%$. Dit is hoger dan de ingestelde ondergrens van 60% en dus lacht hij.

antwoord bij vraag 35: Deze smiley heeft 8 directe burens, waarvan er 5 ook geel zijn en dus dezelfde afkomst hebben. Het percentage gelijk is dus $5 / 8 \times 100 = 63\%$. Dit is hoger dan de ingestelde ondergrens van 60% en dus lacht hij.

antwoord bij vraag 36: Ze draaien willekeurig rechtsom met een hoek tussen de 0 en 360°. Daarna zetten ze een stap van 10 vooruit.

mogelijk antwoord bij vraag 37: Controleer of er al iemand op de patch staat. Als dit het geval is, voer je de procedure *zoek-nieuwe-plek* uit, ofwel ga je naar een andere patch. Dit heeft als doel dat er zich geen twee agents op dezelfde patch bevinden na een verplaatsing.

mogelijk antwoord bij vraag 38: Evert: onjuist. Het is best mogelijk dat een aanvankelijk gelukkige agent ongelukkig wordt door de verplaatsing van een ongelukkige agent van een andere afkomst dan hemzelf. Jos: onjuist. Zie ook het antwoord bij Evert. Een ongelukkige agent die zich verplaatst, kan een ander ongelukkig maken. Als die verplaatsing bovendien niet oplevert dat hij zelf gelukkig wordt, neemt het aantal gelukkige mensen af.

mogelijk antwoord bij vraag 39: Deze regel checkt of alle mensen gelukkig zijn. Als dit het geval is, heeft het geen zin meer om door te gaan met het runnen van het model. Daarom wordt het model gestopt. Het fungeert hier dus als stopvoorwaarde.

Opdracht 5: Virus III: alternatieve opzet

Deze opdracht laat leerlingen kritisch kijken naar de manier van implementeren van een conceptueel model en benadrukt een aantal keuzes die de modelmaker moet maken om tot het formele model te komen. Deze opdracht leent zich er goed voor om, al dan niet aan de hand van NetLogo-modellen, klassikaal met leerlingen te bespreken.

3.3 Formaliseren: verificatie en validatie

Deze paragraaf gaat dieper (dan in hoofdstuk 1) in op de begrippen verificatie en validatie en hun rol binnen het doen van onderzoek.

In de PowerPoint zijn in eerste instantie de dia over verificatie en validatie uit hoofdstuk 1 opgenomen als herhaling. Daarna volgt een sheet met de stelling:

Ik ga mijn model gebruiken om iets nieuws te voorspellen. Daarom kan ik mijn model nooit valideren.

Deze stelling kan worden gebruikt in een onderwijsleergesprek.

Na de dia met de stelling volgen een aantal vragen die in de theorie worden genoemd en waarbij leerlingen kunnen aangeven of het hier verificatie of validatie betreft. Hiermee kunt u controleren of de leerlingen de begrippen voldoende hebben begrepen.

Opdracht 6: Ebola I

Deze opdracht is feitelijk een voortzetting van de rode draad *virus*, maar nu in een actuele, concretere context.

antwoord bij vraag 42: De besmettingsbron is een zwart pentagon. In eerste instantie zijn de mensen groen. Wie besmet is, wordt rood.

mogelijk antwoord bij vraag 45: Met de slider wordt een *besmettingskans* van bijvoorbeeld 25 (%) ingesteld. De random-functie kiest een willekeurig getal tussen de 0 en de 100. Statistisch gezien zal dit in 25 / 100 e ofwel een kwart van de gevallen een waarde opleveren die zorgt dat de if-constructie als antwoord WAAR oplevert. (In die gevallen worden de andere regels uitgevoerd.)

mogelijk antwoord bij vraag 46: Tussen de 100 en 120 ticks.

mogelijk antwoord bij vraag 49: (De vorm van de grafiek (zie ook de figuur bij opgave 7) past bij logistische groei.) Als er weinig personen besmet zijn, zijn er ruime mogelijkheden om anderen te besmetten. Voor de mensen die zojuist besmet zijn, zijn die mogelijkheden in het begin ook ruim. Dit verklaart de snelle groei van de besmettingsgraad in het begin. Echter, hoe meer mensen besmet zijn, hoe kleiner de kans dat een besmette persoon een nog niet besmette persoon tegenkomt. Het aantal nieuwe besmettingen neemt dan af, waardoor het totale aantal besmettingen aan het eind steeds langzamer toeneemt.

(Voor een meer wiskunde achtergrond, zie: https://nl.wikipedia.org/wiki/Logistische_functie)

Opdracht 7: Ebola II | Gegevens verwerken in Excel

Deze opgave heeft als doel om leerlingen te leren om een grafiek te maken op basis van Excel-data. Het bijbehorende bestand (*Opdracht 7 Sierra Leone.xlsx*) vindt u in de leerlingenmap. De uitwerking (*Opdracht 7 Sierra Leone UITWERKING.xlsx*) staat in de docentmap.

Bij deze opgave hoort een video-instructie die te openen is via de link. Het bijbehorende bestand is ook beschikbaar binnen de leerlingenmap (*H3/video*).

Opdracht 8: Ebola III | validatie

Deze opdracht heeft als doel om leerlingen kritisch te leren kijken naar een model en modelresultaten bij het valideren van het model.

mogelijk antwoord bij vraag 54: Het lijkt een goed teken dat de modeluitkomst qua vorm overeenkomt met de werkelijke data, maar binnen het model zijn daarmee wel vrijwel alle mensen besmet. In een land wonen aanzienlijk veel meer mensen dan het aantal in de grafiek van 3.8, dus de gelijke vorm kan niet worden verklaard met de uitleg van opdracht 6.

mogelijk antwoord bij vraag 55: $\pm 0,21\% \times 6 \text{ miljoen} = 12.600$ besmettingen

mogelijk antwoord bij vraag 56: In figuur 9 is te zien dat 'slechts' 0,21% van de bevolking besmet is geraakt. Deze werkelijkheid komt totaal niet overeen met de besmettingsgraad binnen het model.

mogelijk antwoord bij vraag 57: Bevolkingsdichtheid, variatie in bevolkingsdichtheid, het sterven van mensen (ebola is volgens de tekst in 50% van de gevallen dodelijk), het genezen van mensen, het in quarantaine stoppen van mensen, het op gang komen van internationale hulp, de angst van gezonde mensen voor besmette mensen, etc.

mogelijk antwoord bij vraag 59: Het model stopt veel eerder: de mensen raken in kortere tijd besmet dan eerst.

mogelijk antwoord bij vraag 60: Door de aanpassing zijn er evenveel mensen op veel minder patches. Gemiddeld hebben de mensen dus meer burens, waardoor de kans op besmetting groter is geworden.

antwoord bij vraag 59: (lokale) bevolkingsdichtheid

Opdracht 9: Ebola IV | verspreiding

Deze opdracht geeft wat meer achtergrondinformatie bij de hier gekozen casus. De videobijlage toont een kort BBC-fragment die in anderhalve minuut een goed gedocumenteerde Ebola-uitbraak beschrijft.

De video is opgenomen in de PowerPoint. Vraag 62, die op basis van de video moet worden beantwoord, kan ook klassikaal worden besproken.

mogelijk antwoord bij vraag 62: 1) De wereld moet bestaan uit dichter bevolkte gebieden met daartussen dunner bevolkte gebieden. 2) Mensen moeten niet meer willekeurig bewegen. De kans dat ze ergens naar toe gaan, moet afhangen van de grootte van de bevolkingsdichtheid van een gebied. 3) Mensen moeten medemensen maar gedurende een beperkte tijd kunnen besmetten.

Opdracht 10: Segregatie III: het Schelling model

De Amerikaanse econoom Thomas Schelling kreeg in 2005 de Nobelprijs. Rond 1970 deed hij onderzoek naar racisme en hoe voorkeuren van individuele mensen leiden tot bewegingen van een hele groep. In het onderzoek van Thomas Schelling stond oorspronkelijk het volgende:

Equal numbers of stars and zeros [are] distributed at random among the squares with a suitable fraction left blank for ease of movement; 'neighborhood' defined as the eight surrounding squares; and a universal demand that no fewer than half of the one's neighbors be of the same color, the discontent moving to the nearest satisfactory vacant square.

Bij deze opdracht hoort een simulatie (map *site/H3O10 Segregatie*) die u klassikaal op het digibord / touchscreen zou kunnen uitvoeren. Met de knop *Schelling* krijgt u de beginsituatie uit de module. Met *Random* wordt een willekeurige beginsituatie gegenereerd.

Suggestie: vraag alle leerlingen om drie of vijf ongelukkige mensen te vinden (bij de instelling neutraal) en willekeurig te verplaatsen, volgens de regels van Schelling. Als u *neutraal?* niet aangevinkt heeft, ziet u de al eerder gebruikte weergave. Leerlingen kunnen dan zelf zien of een agent gelukkig is of niet. Nadeel daarvan is dat ze niet oefenen met het uitvoeren / nadenken over de regels. Mocht er discussie ontstaan over een optie, dan kan *neutraal?* gebruikt worden voor 'het antwoord'.

antwoord bij vraag 6: In de code zie je dat er $69 + 69 = 138$ mensen zijn. De modelwereld bevat $16 \times 13 = 208$ patches, dus de dichtheid is $138 / 208 \times 100\% = 66\%$.

mogelijk antwoord bij vraag 67: Het model van de opgave vraagt expliciet aan ongelukkige mensen om zich te verplaatsen. Het online model doet dit niet. Het is aan de gebruiker om al dan niet de regels te volgen. Bovendien vraagt het model van de opgave in een iteratie aan alle ongelukkige mensen om zich te verplaatsen. Het online model doet dit niet. Na elke verplaatsing wordt opnieuw de toestand bepaald. Mits men zich aan de regels houdt, zijn de eindresultaten vergelijkbaar, maar dat betekent niet dat met het ene model het andere model kan worden gevalideerd. Daarvoor moet het voldoende overeenkomen met de werkelijkheid.

Opdracht 11: Schoolfeest



Dit is een fysieke uitwerking van het model *Party* uit de *NetLogo-library* (zie de reeks volgende opdrachten) waarbij een hoeveelheid mensen op een feest random in verschillende groepen wordt geplaatst. De mensen stellen vast of ze gelukkig zijn binnen de groep, op basis van sekse met een zeker tolerantieniveau dat aangeeft hoeveel mensen van de andere sekse er relatief) binnen de groep worden geaccepteerd door de agent.

Dit spel kan worden nagespeeld in de klas. Kies zelf het aantal groepen, bijvoorbeeld in de vorm van tafels. Omdat de verdeling man-vrouw in veel informaticaclusters nogal scheef is, kan met de klas worden overlegd over een ander criterium. Dit kan ook abstract gemaakt worden door gekleurde kaartjes (b.v. de helft rood, de helft groen) in de klas uit te delen. Spreek hierbij een mate van tolerantie af.

Advies: bespreek met de klas een procedure die bepaalt in welke volgorde de agents aan de beurt zijn. Stel de vraag: *Wanneer moet je nu precies worden vastgesteld of je gelukkig bent?* In het model gebeurt dit door eerst iedereen te laten vaststellen of ze gelukkig zijn. De mensen die ongelukkig zijn, verplaatsen zich één voor één. Het doet niet ter zake of een ongelukkige agent in de tussentijd door de verplaatsing van een ander *in theorie* alweer gelukkig zou zijn aan de tafel waar hij / zij nu is!

Opdracht 12: Party I | validatie

Deze opdracht staat in relatie met de vorige opdracht en biedt een andere variant op de rode draad *segregatie*. Aan de hand van dit model worden vragen gesteld over validatie. Hierbij wordt ingezoomd op de *extreme waarden*.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met rond de in de opgave geciteerde vraag uit de theorie: *Levert het model logische uitkomsten wanneer parameters (en variabelen) op extreme waarden (heel hoog of heel laag) worden ingesteld?*

Op de sheet worden de volgende vragen gesteld:

- Wat wordt hier precies mee bedoeld?
- Wat is jouw mening over deze stelling?
- Bedenk voorbeelden waarbij dit nuttig is.
- Bedenk voorbeelden waarbij dit onnodig is.

In de praktijk zijn extreme waarden niet altijd relevant en is vaak een *middenwaarde* voldoende. Bij de evacuatie van een stadion is het maximaal aantal bezoekers zeer relevant, maar moet het model realistisch zijn voor één toeschouwer? Moet een model voor een nieuwe zeedijk voldoen voor een storm die eens in de duizend jaar voorkomt?

Bespreek deze vragen aan de hand van de modellen in deze module of andere modellen (zoals *zeedijk*).

Opdracht 13: Party II | gegevens verzamelen

In deze opdracht oefenen de leerlingen met het beantwoorden van onderzoeksvragen, door een model meerdere keren uit te voeren. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is het noodzakelijk om de parameter *tolerantie* in stapjes aan te passen en voor elke instelling meerdere runs te doen. Hierdoor ervaren leerlingen de stappen die in de volgende paragraaf door *BehaviorSpace* worden overgenomen.

De modelresultaten worden verwerkt in Excel. Het bijbehorende bestand (*Opdracht 13 Party.xlsx*) vindt u in de leerlingenmap. De uitwerking (*Opdracht 13 Party UITWERKING.xlsx*) staat in de docentmap. De resultaten moeten worden vergeleken met de zelf opgestelde hypothese.

De boodschap *one run is no run* is hier belangrijk (zie ook vraag 81) en zou ook in een klassikaal besproken kunnen worden. Met één run krijg je niet 'het antwoord'. Deze modellen bevatten random elementen waardoor de modeluitkomsten zullen verschillen. Afhankelijk van het model kan het zo zijn dat de spreiding in eindresultaat beperkt is of juist enorm fluctueert.

mogelijk antwoord bij vraag 81: In Excel wordt een gemiddelde genomen voor het maken van de grafieken. De resultaten van de afzonderlijke runs laten een enorme spreiding in uitkomsten zien. Drie runs lijkt niet voor elke instelling voldoende. Voor heel lage toleranties geeft het model helemaal geen eenduidig resultaat.

3.4 Gegevens verzamelen: BehaviorSpace

Deze paragraaf geeft achtergrond bij de tool *BehaviorSpace* en zoomt vooral in op de vraag hoe je de tool gebruikt. In de les kan juist enige nadruk gelegd worden op de vraag welke variatie in parameters nog zinvol is en waarom meerdere runs noodzakelijk zijn.

In de PowerPoint is een dia opgenomen met figuur 3.15. In de grafiek zijn duidelijk de stapjes van 1% in tolerantie te zien. Voor lage toleranties komt het model meerdere keren op exact 10.000 uit. Dit is het gevolg van de ingestelde *Time limit* die voorkomt dat een model oneindig doorgaat. Het 'hoe en waarom' van deze *Time limit* kan klassikaal worden besproken.

Opdracht 14 bevat een instructievideo. Deze zou bij het behandelen van deze paragraaf ook klassikaal kunnen worden getoond.

Opdracht 14: Party III | BehaviorSpace en Excel

Deze opdracht laat leerlingen voor het eerst oefenen met *BehaviorSpace* aan de hand van een video. De handelingen uit de video moeten worden gereproduceerd, inclusief verwerking in Excel. Hierbij wordt het maken van grafieken in Excel aangeleerd / geoefend.

Bij deze opgave hoort een video-instructie die te openen is via de link. Het bijbehorende bestand is ook beschikbaar binnen de leerlingenmap (*H3/video*).

Opdracht 15: Party IV: Kritisch kijken naar statistiek

Deze steropdracht stimuleert leerlingen om modelresultaten niet klakkeloos te verwerken, maar na te denken over hun betekenis en waarde.

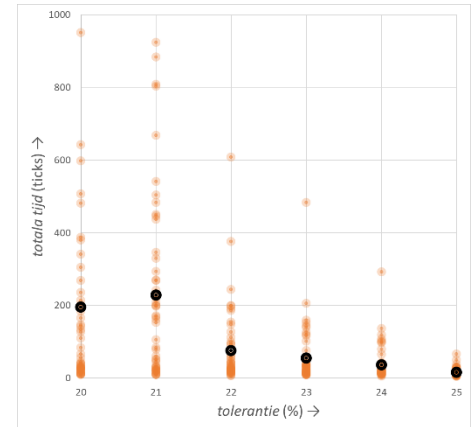
mogelijk antwoord bij vraag 84: Voor 'ongelukkige' random situaties kan het soms relatief lang duren, voordat aan de modeleis is voldaan. Naar beneden toe kun je nooit lager dan 0 (1) ticks, dus die afwijking blijft beperkt.

antwoord bij vraag 85: Voor een tolerantie van 31%. Voor deze instelling duurt het gemiddeld langer dan bij de minder tolerante waarde van 30% en dat is geen logisch resultaat.

mogelijk antwoord bij vraag 87: Voor lage waarden van de tolerantie kan het erg lang duren voordat aan de modeleis is voldaan. Dit levert voor een deel van de runs een zeer groot aantal ticks op.

mogelijk antwoord bij vraag 88: Voor deze instellingen van de parameter tolerantie heeft *BehaviorSpace* de run afgebroken na 10.000 ticks. Hoogstwaarschijnlijk was op dat moment nog niet aan de modeleis voldaan.

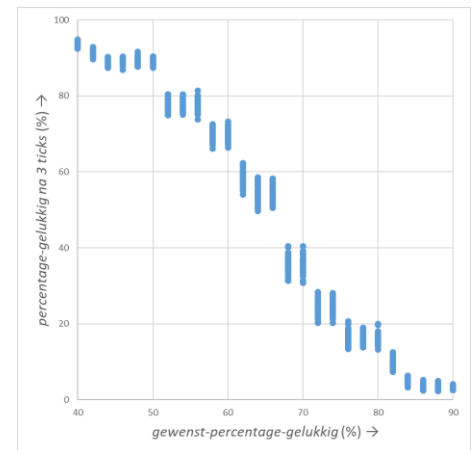
In het tweede deel van de opdracht moeten de leerlingen een aangepaste serie runs doen. Hiernaast ziet u ons resultaat. In de PowerPoint is een sheet opgenomen met dit resultaat. Aan de hand daarvan kan een gesprek over vraag 96 worden gevoerd.



Opdracht 16: Segregatie IV: punten en komma's

Hoofddthema van deze opgave is het gebruik van de data van NetLogo-grafieken. Hoe zet je de data om, zodat ze bruikbaar zijn binnen Excel? De opgave bevat twee onderzoeksvragen.

Voor de tweede onderzoeksvraag moet *BehaviorSpace* worden ingezet. Hiernaast ziet u ons resultaat. In de PowerPoint is een sheet opgenomen met dit resultaat, behorende bij vraag 101.



Opdracht 17: Segregatie V: meer aanpassingen

Deze steropdracht laat leerlingen kritisch nadenken over beperkingen van de modelwereld en modelinstellingen door een aantal 'problemen' van het model naar voren te brengen.

mogelijk antwoord bij vraag 104: Nee, het verschil is heel klein. De eisen 74% en 75% zijn binnen het model vergelijkbaar qua resultaat.

mogelijk antwoord bij vraag 105: Het verschil is enorm. De eisen 76% en 75% zijn binnen het model volstrekt vergelijkbaar. De verklaring hiervoor zit hem in de opzet van het model. Elke agent heeft 8 patches waarop zich burenen kunnen bevinden. Als er acht burenen zijn, dan betekent een eis van 75% dat er zes gelijke burenen moeten zijn, maar een eis van 76% betekent meteen dat er zeven gelijke burenen moeten zijn.

Dit effect treedt ook op bij andere aantal burenen. Als er bijvoorbeeld vier burenen zijn, zorgt de verhoging van de eis ervoor dat niet drie van de vier maar alle vier de burenen gelijk moeten zijn. Hiermee lijkt 1% verhoging een kleine stap, maar is het binnen het model eigenlijk een verhoging van 25%, gezien de opzet van het model.

mogelijk antwoord bij vraag 106: In de echte wereld is het reëel dat je een beperkt aantal burenen hebt. Een andere buur meer of minder, maakt dan veel uit. Op dit punt is de uitkomst valide (, maar het is nu mogelijk om 0 burenen te hebben; zie het vervolg van de vraag).

antwoord bij vraag 107: In dat geval ga je terug naar je conceptuele model, om de eisen aan te passen of aan te scherpen.

mogelijk antwoord bij vraag 109: Voer het model uit en controleer (verifieer) of er agents zonder burenen zijn die toch gelukkig zijn. Als dit zo is, dan is niet aan de eis uit het conceptuele model voldaan.

Opdracht 18: virus IV: Herstellen van het virus

Deze opdracht laat zien hoe een in eerste instantie beperkt model verder kan worden uitgebreid.

Leerlingen oefenen hierbij eerder aangeleerde vaardigheden, waaronder het bestuderen en begrijpen van bestaande code.

antwoord bij vraag 113: aantal mensen, besmettingskans en aantal-dagen-besmettelijk.

antwoord bij vraag 114: bij de setup raken drie mensen besmet met ask n -of 3 mensen (etc.).

*mogelijk antwoord bij vraag 115: Mensen hebben een eigenschap *ziekteduur* die elke tick toeneemt en wordt vergeleken met de parameter *aantal-dagen-besmettelijk*. Op het moment dat deze aan elkaar gelijk zijn, wordt de agent immuun en is hij niet meer besmettelijk voor anderen.*

Opdracht 19: virus V: Twee curves in één plot

Deze opdracht leert leerlingen om meerdere grafieken in één plot te maken.

Bij deze opgave hoort een video-instructie die te openen is via de link. Het bijbehorende bestand is ook beschikbaar binnen de leerlingenmap (*H3/video*).

antwoord bij vraag 124: Voor waarden van 15 tot en met 50 met stapjes van 5.

Mogelijk antwoord bij vraag 125: Dat is in de grafiek best lastig te zien. Bij 25% zie je het best dat er voor deze parameterinstelling vijf verschillende resultaten zijn.

Mogelijk antwoord bij vraag 126: De spreiding in resultaten is beperkt.

Mogelijk antwoord bij vraag 127: De besmettingsbron kan bij het bewegen per toeval niet in aanraking gekomen zijn met medemensen tijdens de iteraties waarin hij nog niet immuun was.

H4 PO

Deze module leent zich er prima voor om af te sluiten met een praktische opdracht. Eerder in deze handleiding hebben wij aangegeven dat de ervaring leert dat havo-leerlingen gemiddeld goed uit de voeten kunnen met het uitbreiden van een bestaand model en de verificatie van hun uitbreiding. Met de meer abstracte stappen uit de modelleercyclus hebben ze duidelijk meer moeite dan vwo-6-leerlingen.

De keuze is aan u welke omvang en diepgang u wilt aanbrengen. Paragraaf 2.8 geeft suggesties voor het aanpassen van de modellen die als rode draad fungeerden in hoofdstuk 2. De *library* van NetLogo en de online gemeenschap bieden zoals gezegd ook talloze mogelijkheden.

In praktijk blijkt het lastig voor leerlingen om zelf een casus te bedenken. Het valt niet mee om in te schatten of een verschijnsel geschikt is om met *agent-based modeling* te modelleren. Het advies van u als vakdocent, bijvoorbeeld over de vraag welke mate van detail nodig is, is cruciaal.

Qua planning raden wij aan om ongeveer drie week uit te trekken voor het PO. U bepaalt zelf of en zo ja in welke mate tussenproducten worden geëist. Desgewenst kan het met (Edu-) Scrum worden gewerkt. De leerlingen leveren een onderzoeksverslag en hun model (NetLogo-bestand) in als eindproduct. Dit kunt u desgewenst uitbreiden met een eindgesprek.

Materialen bij het PO

In de docentenmap is een submap *PO* aangemaakt, met de volgende documenten:

- *PO Computational Science.docx*
Dit document is gericht op de leerling en geeft instructie bij (de aanpak van) het PO. Daarnaast zijn concrete suggesties voor casussen opgenomen. Dit betreft zowel de uitbreiding van bestaande modellen als suggesties voor onderzoeken waarbij een compleet nieuw model wordt gemaakt. De casussen zijn bedoeld ter inspiratie en geven een idee van de omvang van het PO.
- *PO Computational Science – nakijkmodel.docx*
Dit document geeft een beoordelingschaal in de vorm van *rubrics*. Wij adviseren om dit document aan het begin van het PO aan de leerlingen uit te delen, zodat zij een goed beeld kunnen vormen van de wijze waarop hun werk zal worden beoordeeld en hoe verschillen in kwaliteit en niveau kunnen worden vastgesteld en omschreven.

De documenten zijn bedoeld ter ondersteuning en inspiratie. Natuurlijk kunt u deze handreiking verder naar uw eigen hand zetten, passend bij uw lokale onderwijspraktijk.

Toelichting bij het beoordelingsmodel

Het bestand *PO Computational Science – nakijkmodel.docx* bevat een lijst met *rubrics* voor het assessment van het PO. Na het testen van deze *rubrics* in de 5^e en 6^e klassen van HAVO en VWO adviseren we docenten om bij het gebruik hiervan rekening te houden met het volgende:

- Slechts een enkele vwo-leerling bereikt de kolom met 4 punten. Daarom kan men eventueel besluiten om deze kolom niet mee te nemen in de beoordeling, zodat er maximaal 3 punten per deelvraag kunnen worden verdiend.
- In de laatste kolom suggereren we de weging voor de vermelde deelvragen voor deze praktische opdracht, maar u kunt hier uiteraard zelf een afwijkende keuze maken.
- De prestaties van havo- en vwo-leerlingen zijn vergelijkbaar voor het ontwerpen en implementeren van modellen. Voor overige deelvragen scoren vwo-leerlingen doorgaans beter. Wij adviseren om hier rekening mee te houden bij het beoordelen van het PO op havo-niveau.
- In deze *rubrics* is geen rekening gehouden met het door de leerlingen ingeleverde NetLogo programma zelf. Desgewenst kunt u dit wel bij de beoordeling betrekken en bijvoorbeeld de kwaliteit van de code laten meewegen.
- Deze *rubrics* zijn voornamelijk gericht op het beoordelen van het eindproduct dat de leerlingen maken: een model dat gebruikt wordt om een vraag te beantwoorden. Uiteraard kunnen ook de aspecten van het proces (bijvoorbeeld SCRUM) bij de beoordeling betrokken worden.