

Tipping points, zo werken ze!

Docentenhandleiding

Sebastian Bathiany, Bregje van der Bolt,
Ingrid van de Leemput, Usman Mirza, Pablo Rodríguez-Sánchez,
Arie Staal (Wageningen Universiteit)
Rob Adriaens, Bjinse Dankert, Anneke van de Boer (NESSC)



- © Deze module is eigendom van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap (KNAG) en het Nederlands Earth System Science Centre.
Gebruik van deze module is toegestaan aan scholen of instellingen onder vermelding van de auteurs en de hieronder weergegeven instellingen.

Tekening voorkant gemaakt door Bregje van der Bolt.



Werken aan een Geo Future Module

Lesgeven uit een Geo Future Module verschilt in een aantal opzichten van het traditionele lesgeven. Een eerste verschil is dat bij een Geo Future Module de hele module in het teken staat van de eindopdracht. De module vormt voor leerlingen een leertraject waarin zij kennis vergaren die zij nodig hebben om de eindopdracht goed uit te kunnen voeren. Een Geo Future Module vormt daarmee dus echt een geheel. Om de relevantie van de module goed tot uiting te laten komen, moeten leerlingen vanaf het begin weten wat hun eindopdracht is. Dit stimuleert het leerproces.

Een tweede verschil is dat bij een Geo Future Module leerlingen grotendeels zelf aan het werk zijn. Er is zeker ruimte voor presentatie of klassikale uitleg door de docent of een gastspreker, maar dat beslaat niet meer dan 25% van de tijd die aan de module besteed wordt. De meeste opdrachten kunnen door leerlingen zelf of in samenwerking met één of meer andere leerlingen gemaakt worden. De docent heeft daarin wel een belangrijke functie. Hij/zij helpt leerlingen met de inhoud, stimuleert hen, geeft hen advies, houdt hun voortgang bij en, niet in de laatste plaats, houdt hun leerproces in de gaten en stelt dit waar nodig bij. De docent heeft ook een belangrijke taak waar het gaat om het bewaken van de bewegingsvrijheid van leerlingen. Leerlingen kunnen in een Geo Future Module hun eigen leerproces voor een groot deel zelf vormgeven, maar wel binnen bepaalde bandbreedten. Zo wordt creatief denken gestimuleerd, maar moet dit niet leiden tot onrealistische ideeën.

Een derde verschil is dat er bij een Geo Future Module sprake is van differentiatie. Leerlingen kunnen en zullen op verschillende snelheden hun weg door de module vinden. Leerlingen die snel werken hebben meer tijd voor de eindopdracht, leerlingen die minder snel werken hebben meer tijd om zich de basisstof eigen te maken. Een aantal opdrachten in de modules zijn aangemerkt als go-no go momenten. De leerlingen mogen pas verder werken als de docent deze opdrachten heeft goedgekeurd.

Een laatste verschil schuilt in de denkvaardigheidsniveaus. In de gemiddelde traditionele les spelen vooral lagere denkvaardigheden een rol (onthouden/memoriseren, begrijpen, toepassen). Geo Future Modules zijn zo ingericht dat ook de hogere denkvaardigheden aan bod komen. Er vindt een opbouw in denkvaardigheidsniveaus plaats. Hoge denkvaardigheden als analyseren, evalueren en creëren komen in de loop van de modules steeds meer aan bod.

Start van de module

Een Geo Future Module bestaat een relatief groot aantal lessen die allemaal in het teken staan van één thema. De start van de module is alleen daarom al van groot belang. Maar tijdens de start van de module moeten leerlingen ook geïnteresseerd en geprikkeld worden. Voor een docent zijn er bij de start van de module dan ook een aantal zaken van groot belang:

- De leerdoelen: deze zijn opgenomen in het curriculum. De docent moet deze leerdoelen gedurende de hele module helder op zijn of haar netvlies hebben staan. Hierin staat hetgeen leerlingen aan het eind van de module zouden moeten kennen en kunnen.
- De introductie: de docent kan hiervoor verschillende middelen gebruiken. Een filmpje van *tippingpointahead.nl*, een nieuwsbericht over het thema of putten uit eigen ervaring. Alles is mogelijk. Het effect moet in ieder geval zijn dat het leerlingen verwondert, inspireert of aan het denken zet.
- De eindopdracht: deze wordt in het begin van de module geïntroduceerd. Tijdens de module doen leerlingen kennis op en oefenen ze vaardigheden die nodig zijn bij de eindopdracht. Het voortdurende vooruitzicht op de eindopdracht draagt eraan bij dat leerlingen de relevantie van de andere opdrachten zien.
- De startopdracht: de eerste opdracht in de module heeft tot doel het thema dicht bij de belevingswereld van leerlingen te brengen of een eerste blik te geven op de eindopdracht. Samen met de introductie door de docent, zal het verloop van de startopdracht in grote mate bepalend zijn voor het welslagen van de hele module. Een goed begin is het halve werk.

Hoofdstuk 1: Tipping points in je vijver

Opdracht 1

- a. De troebelheid van het water neemt toe door het gewoel van de karper.
- b. In de grafiek ga je dus recht naar boven. Als de kritische troebelheid bereikt is, gaan alle waterplanten dood.
- c. Als de kritische troebelheid nog niet bereikt is, dan zal het water gewoon weer helder worden. Echter, wanneer de waterplanten dood zijn, is de vijver in het evenwicht zonder vegetatie. Het water zal dan troebel blijven.

Opdracht 2

- a. Het aantal voedingsstoffen neemt toe als de goudvissen niet alles kunnen opeten. Hierdoor verschuif je in de grafiek naar rechts.
- b. Op het moment dat het aantal voedingsstoffen toeneemt, wordt het water troebeler. Als de kritische troebelheid bereikt wordt, betekent dit dat de waterplanten dood zullen gaan.
- c. Je moet het aantal voedingsstoffen dat opgelost is in het water veel verder terugbrengen dan de hoeveelheid voedingsstoffen die in het water waren opgelost toen de vijver de kritische troebelheid bereikte. Dit komt doordat dit systeem hysteresis ondervindt: er zijn twee evenwichten mogelijk bij dezelfde omstandigheden. Omdat je nu begint met een troebele vijver, heb je veel lagere voedingsstoffen concentraties nodig om een helder meer te krijgen.

Opdracht 3

De tipping points bevinden zich op de snijpunten van de twee evenwichten met de kritische troebelheid.

Hoofdstuk 2: Theorie achter tipping points

Opdracht 4

- a. Welk wiskundig object blijft zichzelf na toevoeging van één? Iets toevoegen en toch hetzelfde blijven kan uiteraard niet.
- b. Twee maal twee is vier, maar $-2 \cdot -2$ is ook gelijk aan vier.

Opdracht 5

Eigen gemaakte vectorvelden met behulp van de applet.

Opdracht 6

- a. Tegengesteld aan de lijn $y=1$ is de lijn $y=0$ een evenwichtslijn waarvoor geldt dat het systeem rondom de toestand $y=0$ er juist vandaan beweegt.
- b. Dit noemen we een instabiel evenwichtspunt

Hoofdstuk 3: De aarde als sneeuwbal

Opdracht 7

- de reflectie vermindert als het ijs of de sneeuw vies wordt door zand/stof.
- bij vulkaanuitbarstingen komt veel CO₂ in de lucht, wat het broeikaseffect versterkt en voor opwarming zorgt.
- de zonne-instraling neemt toe door bijvoorbeeld een verandering in zonnevlekken.

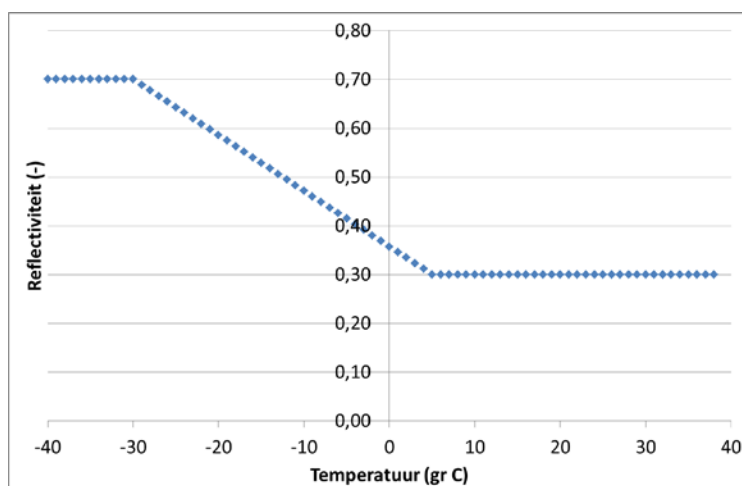
Opdracht 8

Het bevriezen en het weer ontdooien van de aarde zijn de tipping points in dit systeem.

Opdracht 9

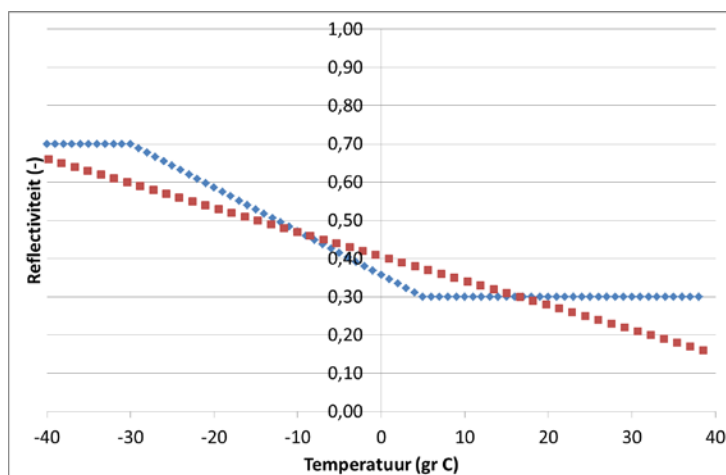
- $T(a) = \frac{(1-a)S-A}{B}$
- 16,6°C. Dit is een sterk versimpeld model, in het echt ligt dit rond de 15 °C.

Opdracht 10.



-
- Wanneer de temperatuur op aarde hoog is, is al het ijs gesmolten en heeft de temperatuur geen effect meer op de reflectiviteit van de aarde. In dat geval is de reflectiviteit op het minimum α_2 . Op een vergelijkbare manier heeft de temperatuur geen effect meer op de reflectiviteit als de temperatuur heel laag is, omdat de planeet dan al volledig bevroren is. In dat geval is de reflectiviteit op het maximum α_1 . Als de temperatuur tussen T_1 en T_2 ligt neemt α af wanneer de temperatuur toeneemt, omdat er dan minder en minder ijs op aarde is.

Opdracht 11



-
-
- De snijpunten zijn evenwichten, waarin de temperatuur gelijk blijft.
- Als de helling van $1/T(\alpha)$ groter is dan die van $\alpha(T)$ in het middelste gedeelte zijn er meerdere oplossingen mogelijk. Bij een kleine S is er alleen een sneeuwbaloplossing mogelijk en bij een grote S is er alleen een ijsvrije oplossing mogelijk.

Opdracht 12

- Wanneer we S verlagen tot beneden 300 W/m^2 wordt de aarde zo koud dat het volledig bevroert en dus in de sneeuwbaltoestand terechtkomt. Een kleine vermindering in de zonne-instraling van net boven 300 W/m^2 naar net beneden 300 W/m^2 zorgt ervoor dat de temperatuur op aarde dramatisch vermindert van het bovenste gedeelte van de oplossing in App Sneeuwbal 2 tot het onderste gedeelte, omdat het bovenste gedeelte niet meer bestaat (een tipping point).
- Wanneer we eenmaal in het onderste gedeelte zitten zal het niet voldoende zijn om S weer te verhogen naar de huidige waarde. Nu de aarde bevroren is wordt er niet genoeg zonne-instraling geabsorbeerd om het te laten smelten, omdat er veel meer zonne-instraling gereflecteerd wordt dan bij een niet-bevroren aarde.
- Om weer naar het bovenste gedeelte van de oplossing te komen (het warme klimaat) moeten we S verhogen tot het punt waarop het onderste gedeelte van de oplossing ophoudt te bestaan (dat is bij meer dan 450 W/m^2). Als we dat doen, dan neemt de temperatuur op aarde langzaam toe tot aan het tipping point en dan springt het plotseling naar ongeveer 55°C ! Daarna zullen we S weer moeten verlagen naar 340 W/m^2 om weer bij ons huidige klimaat aan te belanden.
- Dit betekent dat we de temperatuur op aarde niet kunnen herstellen uit een sneeuwbaltoestand zonder eerst een enorm warm klimaat te creëren. In de echte sneeuwbal-aardes in het verleden bleef S ongeveer constant, maar nam de concentratie CO_2 in de atmosfeer toe totdat het bij het tipping point

kwam. Er moeten dus dramatisch grote en snelle klimaatveranderingen van een bevroren aarde naar een heel hete aarde hebben plaatsgevonden in vergelijking met normale klimaatveranderingen.

*Opdracht 13

De oplossingen voor $T(S)$ zijn:

$$T(S) = \frac{S}{B} (1 - \alpha_1) - \frac{A}{B} \quad (\text{voor } T \leq T_1)$$

$$T(S) = \frac{S \left(1 - \frac{\alpha_1 * T_2 - \alpha_2 * T_1}{T_2 - T_1}\right) - A}{B - S * \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{T_2 - T_1}} \quad (\text{voor } T_1 < T < T_2)$$

$$T(S) = \frac{S}{B} (1 - \alpha_1) - \frac{A}{B} \quad (\text{voor } T \geq T_2)$$

De oplossing heeft altijd één enkele S bij een bepaalde temperatuur T . Dit betekent dat als we de temperatuur op aarde weten, we met bovenstaande vergelijkingen kunnen berekenen wat de zonne-instraling S is. Echter, bij een bepaalde S kunnen er verschillende waarden van T zijn die overeenkomen met de vergelijkingen. Dit is te zien in de kromme voor $T(S)$ die als het ware in elkaar gevouwen is (App Sneeuwbal 2).

Hoofdstuk 4: De groene Sahara

Opdracht 14

- als er heel weinig regen valt zullen planten niet genoeg water krijgen en dus niet kunnen groeien. Beneden een bepaalde waarde van P zal V dus 0 zijn. Boven die waarde kan er met meer regen ook meer begroeiing bestaan. Maar als de regenval erg veel hoger wordt, dan benadert de begroeiing 100% en is de toename van begroeiing niet veel meer.
- P_d (P_{droog}) is de regenval in de woestijn wanneer er geen begroeiing is. Eenheid: mm/jaar. k bepaalt hoe veel regenval er bij komt wanneer er begroeiing is in de Sahara. Eenheid: mm/jaar.
- de snijpunten laten zien waar zowel P als V in evenwicht zijn, dus waar het systeem niet vandaan beweegt.
- Drie evenwichten zijn mogelijk wanneer a) P_d niet te klein en niet te groot is, wat betekent dat het niet te droog of te nat is zonder begroeiing, en b) wanneer k groot is, wat betekent dat de positieve terugkoppeling tussen V en P sterk is.

Opdracht 15

- τ heeft een tijdseenheid (hier jaar) en geeft dus weer hoe snel V zich naar het evenwicht V_{eq} toebeweeft.
- b+c. V zal altijd naar het evenwicht V_{eq} gaan. De reden is dat dV/dt altijd een tegengesteld teken dan $V_{eq}-V$. Hoe verder V af zit van V_{eq} , hoe groter de absolute waarde van dV/dt , dus hoe sneller V verandert.

Opdracht 16

- a+b.. Dichtbij het middelste evenwicht beweegt het systeem zich van dit evenwicht vandaan. Met andere woorden, het is een instabiel evenwicht.
- De andere twee evenwichten zijn echter stabiel: het systeem beweegt zich naar deze punten toe.
- Het middelste is een instabiel evenwicht, de andere twee zijn stabiel.
- We kunnen dit ook onderzoeken met behulp van de vergelijking door waarden voor P en V dichtbij een evenwicht in te vullen en te zien in welke richting V beweegt (dus of dV/dt positief of negatief is).

Opdracht 17

- a+b. Bij grote k vindt er een abrupte afname aan begroeiing plaats, terwijl bij kleine k er een geleidelijke afname plaatsvindt.
- c. de hoge k is beter in overeenstemming met de resultaten uit de boringen.
- d. het is mogelijk dat een langzame verandering in de windpatronen heeft geleid tot een abrupte afname van zand op een bepaalde plek. Dit hoeft niet gerelateerd te zijn aan een grootschalig tipping point. De vraag wat nu precies de oorzaak is voor het patroon is nog steeds open en wordt bediscussieerd onder wetenschappers.

Hoofdstuk 5: Armoedevallen

Opdracht 18

- a. Als het kapitaal A toeneemt, is dA/dt positief. Dit geldt tot een kapitaal van €25,-.
- b. Als het kapitaal A afneemt, is dA/dt negatief. Dit geldt boven een kapitaal van €25,-.
- c. Als het kapitaal A gelijk blijft, is dA/dt nul. Dit geldt voor een kapitaal van €25,-.
- d. $A=0$ is een instabiel evenwicht, en $A=€25,-$ is een stabiel evenwicht.
- e. $A=0$ blijft een instabiel evenwicht. Het stabiele evenwicht verschuift voor grotere α en voor kleinere δ naar rechts. Hoe groter namelijk de exponent α , hoe langzamer de afname van productiegroei bij kapitaaltoename. Hoe kleiner δ , hoe minder waardevermindering, dus neemt je kapitaal nog relatief lang toe.

Opdracht 19

- a. Het eerste en derde evenwichtspunt vanaf links, punt A en punt C, zijn instabiele evenwichtspunten. B en D zijn stabiele evenwichtspunten.
- b. Van B naar C betekent van stabiel naar instabiel evenwichtspunt, oftewel je blijft in punt B. Dit kunnen we zien als de armoedeval. Het bedrag om van B naar C te komen is het bedrag dat nodig is om te ontsnappen aan deze val. Eenmaal voorbij punt C belanden we in het stabiele evenwichtspunt D, oftewel eenmaal wat rijker, dan blijf je dat ook. Het bedrag dat je verliest als je van D terug naar C gaat is precies het bedrag dat ervoor zorgt dat je juist in de armoedeval zal belanden.
- c. Om een tipping point te krijgen moet het stabiele evenwichtspunt C verdwijnen, zodat je vanuit B geleidelijk naar C kunt en andersom. Dit kunnen we doen door óf α te verlagen (je verdient minder efficiënt), óf δ te verhogen (je kapitaal wordt ineens veel minder waard). Beide zijn veranderingen van omgeving, niet van je eigen inzet.
- d. Je moet met die €5,- over het instabiele evenwichtspunt C heen, dat op €18,- ligt.
 - je kunt iets lenen of krijgen dat tenminste €13,- waard is
 - of de economische omstandigheden veranderen zo dat de inflatie afneemt, waardoor het bedrag tussen B en C kleiner wordt
 - of je productie neemt toe door bijvoorbeeld betere technologieën, en dus een hogere α en een kleinere stap van B naar C.
- e. zie opgave d, een lening van €13,- helpt je voorbij punt C te komen, waarna je richting D kunt gaan om je lening weer af te lossen.

Beoordeling en reflectie

Voor de beoordeling kan onderstaand formulier gebruikt worden. Geef leerlingen bij voorkeur zo gericht mogelijk feedback. Laat hen ook elkaar feedback geven. Laat tot slot de leerlingen reflecteren op zijn/haar eigen werk en het proces daar naartoe. Reflectie is een essentieel onderdeel van het leerproces.

Ontwikkelpunten	Criteria	Gevorderd
<i>Dit verdient aandacht</i>	<i>Voldoende resultaat</i>	<i>Duidelijk beter dan standaard</i>
	Startopdracht en opdrachten <ul style="list-style-type: none"> ▪ De opdrachten zijn allemaal gemaakt ▪ De opdrachten zijn dusdanig gemaakt dat de stof ruim voldoende begrepen wordt. 	
	Go – no go opdrachten <ul style="list-style-type: none"> ▪ De opdrachten zijn goed uitgevoerd. ▪ Er is een goede grafiek gemaakt ▪ De applets zijn goed gebruikt 	
	Het maken van het filmpje <ul style="list-style-type: none"> ▪ De theorie uit de module komt terug in het filmpje ▪ Tipping points, hysteresis, evenwicht en terugkoppeling worden duidelijk uitgelegd. ▪ Het filmpje sluit aan op de doelgroep. ▪ Het filmpje nodigt uit tot kijken. ▪ Het filmpje toont een duidelijke boodschap. 	

Leerpunten voor de volgende module (concreet en meetbaar geformuleerd)

