

Klimaatverandering, kantelpunten en weerbaarheid

dr. Anna van der Kaaden

Assistant Professor bij het Copernicus Instituut voor Duurzame
Ontwikkeling

Anna van der Kaaden



- Geboren in Gouda
- Kunstacademie Den Haag
- BSc biologie, Utrecht
- Conservatiewerk in Mauritius en Borneo
- MSc duurzame ontwikkeling, Utrecht
- PhD modelleren van koudwater koraalriffen, NIOZ (Yerseke)
- Universitair Docent, Copernicus, Utrecht

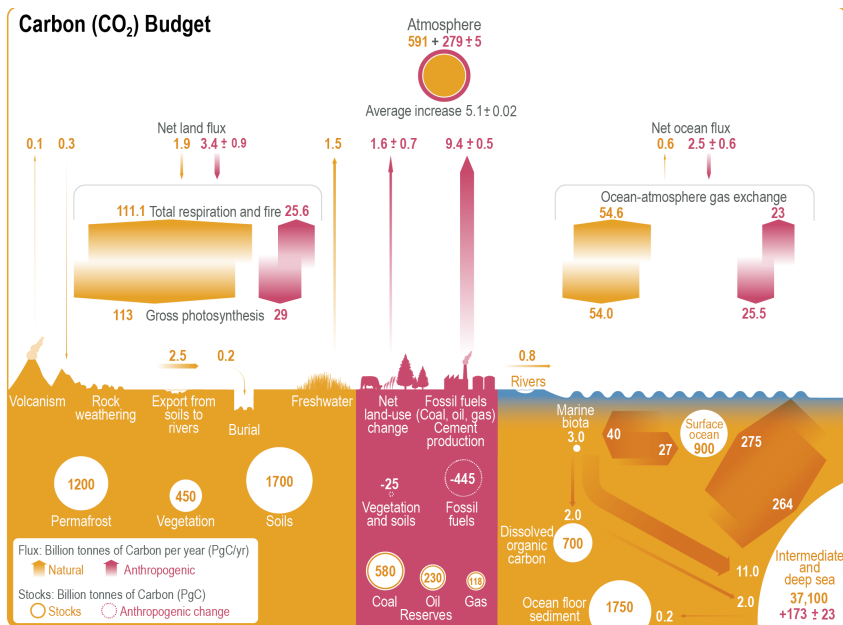
Ik ben Anna van der Kaaden en ik woon sinds ongeveer 5 jaar in Zutphen met mijn partner en kindjes van anderhalf en 4,5. Ik werk als universitair docent bij het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling, waar ik les geef in ecologie, hoe ecosystemen reageren op klimaatverandering, en systeemanalyse. Ik doe ook onderzoek, naar tipping points in verschillende soorten ecosystemen, zoals de savanne, de toendra, en in de (diep)zee. Tijdens deze lazing wil ik het over drie thema's hebben: 1. waarom verandert het klimaat eigenlijk en welke veranderingen zien we dan, 2. hoe ontstaan kantelpunten en welke kantelpunten zijn er, en 3. waar komt veerkracht vandaan in systemen.

Klimaatverandering: waarom verandert het klimaat en welke veranderingen zien we?

dr. Anna van der Kaaden

Assistant Professor bij het Copernicus Instituut voor Duurzame
Ontwikkeling

Carbon (CO₂) Budget

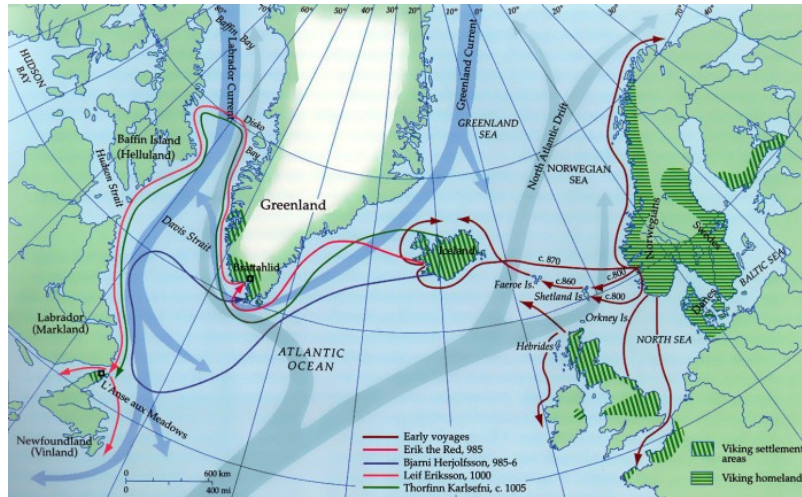
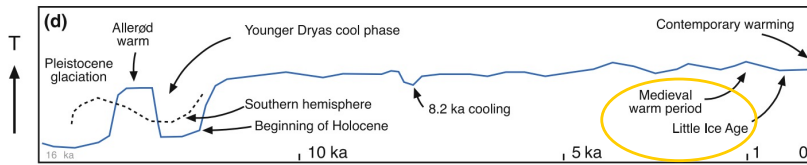


The CO₂ budget, from the IPCC AR6 Physical Science Basis Report (2021).

Lange termijn en korte termijn koolstof cyclus

- Door het verbranden van fossiele brandstoffen is de lange-termijn koolstof cyclus uit balans.

Dit Plaatje komt uit het IPCC rapport. Het IPCC, of Intergovernmental Panel on Climate Change, onderzoekt iedere zoveel jaar hoe het nou eigenlijk staat met ons klimaat en welke veranderingen we verwachten in de toekomst. Tegenwoordig kijken ze ook naar het effect van verschillende opties om klimaatverandering tegen te gaan. Op dit plaatje zien we de koolstofstromen door het hele systeem Aarde. Wat belangrijk is om ons te realiseren is dat er een korte-termijn koolstof cyclus is die vooral te maken heeft met leven op Aarde, en een lange-termijn koolstof cyclus die te maken heeft met geologische processen. Planten leggen CO₂ vast door fotosynthese en stoten, net als dieren en microorganismen, CO₂ uit door respiratie. Dat is de korte-termijn koolstof cyclus. In de oceanen en ook wel op land, raakt koolstof uit de atmosfeer begraven in de grond en wordt uiteindelijk omgezet in steen of olie wat dan weer in de atmosfeer terecht komt door vulkanisme of zo. Dat zijn hele lange processen in de lange-termijn koolstof cyclus. Door fossiele brandstoffen uit de grond te halen en te verbranden verstoren we eigenlijk die lange-termijn koolstof cyclus door die koolstof in de korte-termijn cyclus te brengen. Dit betekent dat we het evenwicht in ons systeem Aarde een flinke duw geven.



Het Holocene: een bijzonder stabiel klimaat

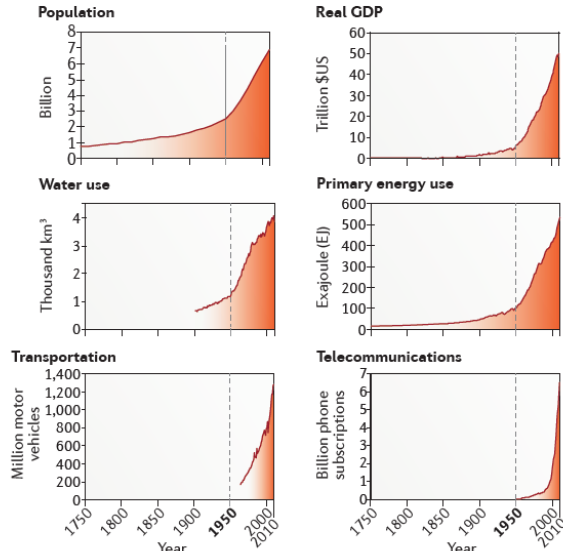
- Kleine veranderingen in temperatuur kunnen een groot effect hebben



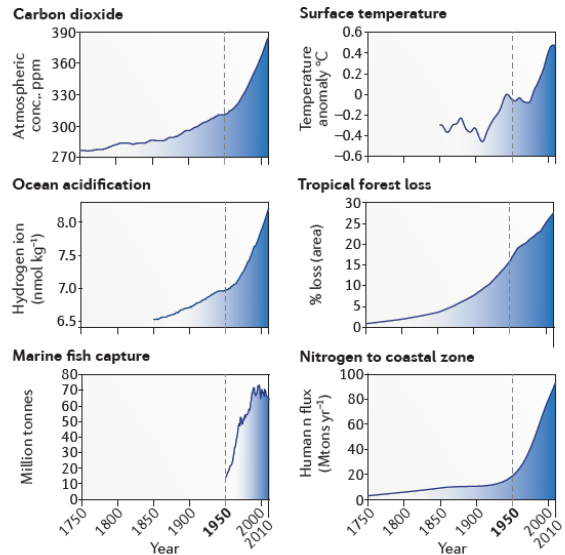
Wat is dat evenwicht van onze Aarde en waarom is het een beetje spannend om dat evenwicht een grote duw te geven? Hierboven zien we de temperatuur op Aarde over de tijd, van nu (rechts) tot 16.000 jaar geleden (links). We zien twee ijstijden in het Pleistoceen en Dryas en daartussen een warmere periode. Dat soort extreme schommelingen waren heel normal op Aarde, tot het Holocene begon. Dat is de periode met een bijzonder constante temperatuur. Zo'n constant klimaat is ideaal voor organismen, want die weten graag waar ze aan toe zijn, dan kunnen ze zich daar aan aanpassen. Heel recent in dat Holocene zien we twee events. Eerste een heel klein hobbeltje in de temperatuur, dat was de "Medieval warm period", de Middeleeuwse warme periode. Dat Kleine hobbeltje had een groot effect op de samenleving. Het was namelijk zo warm dat er bomen groeiden op Groenland en IJsland en er was weinig ijs op de Noordelijke oceanen, dus de Vikingen konden van hot naar her varen. Ze hadden settlements op IJsland en Groenland. Die samenlevingen verdwenen abrupt tijdens de Little Ice Age (de Kleine ijstijd). Ook van die Kleine ijstijd weten we nog veel, want het is een vaak geschilderd thema op Middeleeuwse schilderijen. Helemaal aan het eind van de lijn zien we de hedendaagse klimaatopwarming. Je kunt je dus soms afvragen waarom we nou zo moeilijk doen over 1 of 2 of 3 graden opwarming, maar deze grafiek laat zien dat zulke relatief kleinde schommelingen in het wereldwijde klimaat enorme consequenties kunnen hebben voor de samenleving.

Trends in het Antropoceen

a Socio-economic trends



b Earth system trends



Trends in the Anthropocene from Steffen et al. (2015) ESS review

Hoe zien die hedendaagse veranderingen er dan uit? Eigenlijk zien we dat alles zo'n beetje exponentieel aan het veranderen is. Het Antropoceen is overigens de huidige tijd. Die na het Holoceen. Namelijk, de tijd die gekenmerkt wordt door menselijke (antropocene) invloeden.

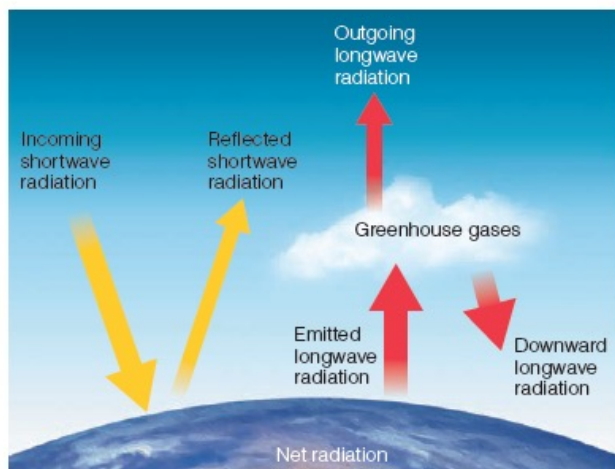
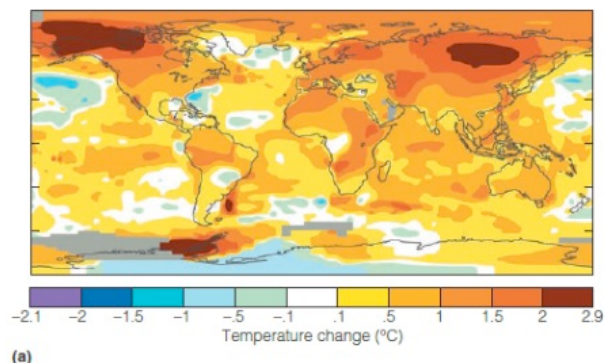


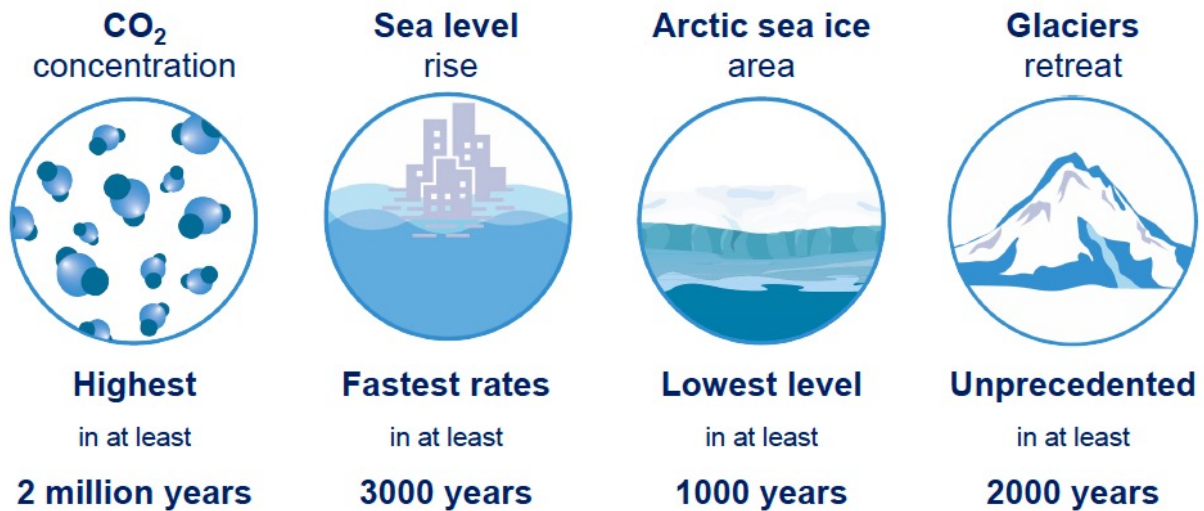
Figure 2.3 Net radiation is the difference between the amount of shortwave (solar) radiation absorbed by a surface and the amount of longwave radiation emitted back into space by that surface. LW, longwave; SW, shortwave.

Broeikas effect

- Door het broeikaseffect warmt de Aarde op.
- De Aarde warmt **niet** gelijkmatig op.



Hoe komt het nou dat het klimaat opwarmt door de uitstoot van koolstof? De Aarde ontvangt zonnestrallen van de zon (in de vorm van korte-golflengte straling – die gele pijlen dus). Een deel daarvan wordt direct weer weg gereflecteerd en een deel wordt opgenomen en omgezet in warmte (lange-golflengte straling – die rode pijlen dus). De Aarde stoot veel warmte weer uit, een deel daarvan verlaat de Aarde naar de ruimte en een deel wordt binnengehouden door broeikasgassen in de atmosfeer. Die broeikasgassen werken dus als een dekentje dat over de Aarde heen ligt en haar lekker warm houdt. Dat een deel van de warmte wordt binnen gehouden is heel belangrijk, want anders zou de hele planet bevroren zijn. Maar hoe meer broeikasgassen we toevoegen aan de atmosfeer hoe meer warmte er binnen blijft. CO₂ is een belangrijk broeikasgas vooral omdat er heel veel van in de atmosfeer is. Een ander belangrijk broeikasgas is methaan, wat veel meer warmte binnen houdt, maar waar wel veel minder van in de atmosfeer is. We zien dan dat de Aarde opwarmt, maar niet homogeen. Bij de Noordpool warmt de Aarde bijvoorbeeld veel sneller op dan rondom de evenaar.



Wat we zien is dat CO₂ concentraties in de atmosfeer hoger zijn dan in de laatste 2 miljoen jaar, dat de zeespiegel heel snel stijgt, dat er in de laatste 1000 jaar niet zo weinig ijs op de Noordpool heeft gelezen en dat de glaciers in rap tempo smelten.

SIXTH ASSESSMENT REPORT

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



Extreme heat

More frequent

More intense



Heavy rainfall

More frequent

More intense



Drought

Increase in some
regions



Fire weather

More frequent



Ocean

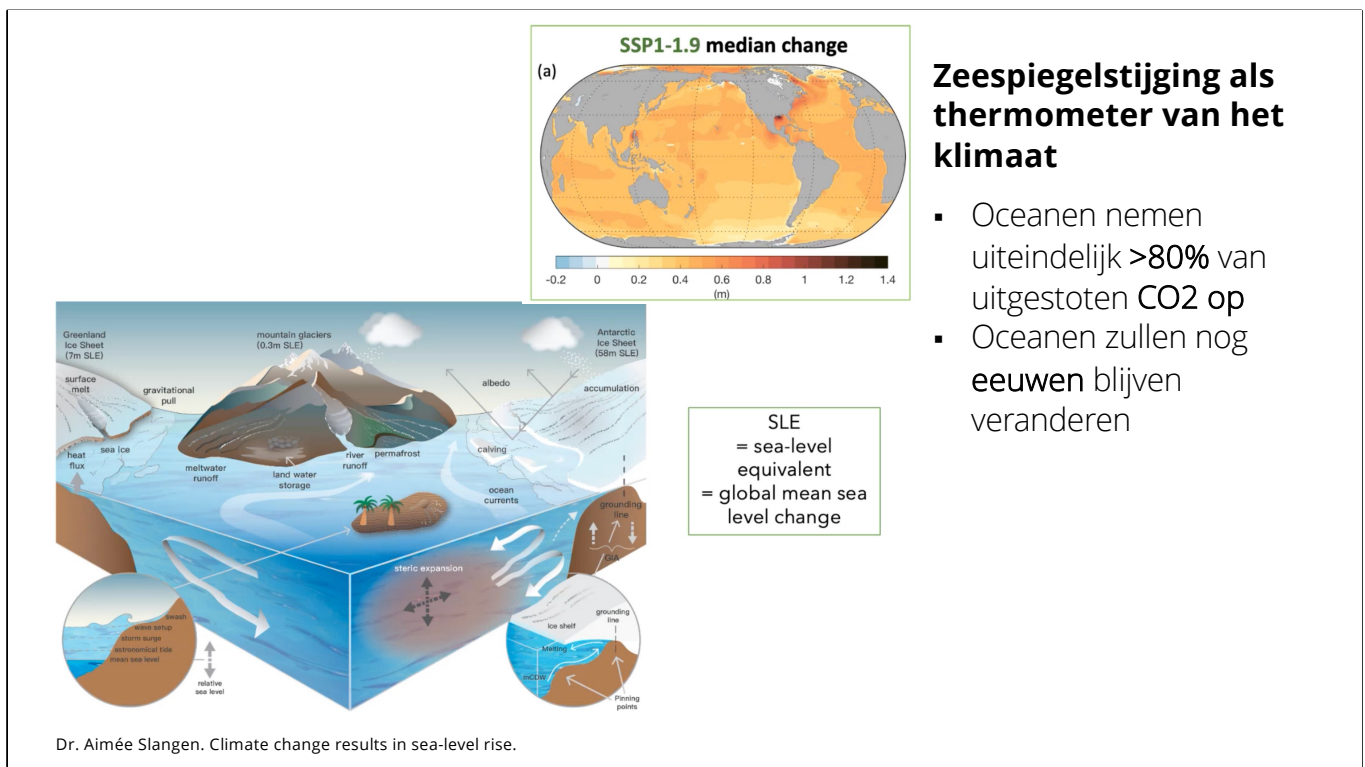
Warming

Acidifying

Losing oxygen

Photo Credits from left: 1. Luiz Guimaraes 2. Jonathan Ford 3. Peter Burdon 4. Ben Kuo 5. NOAA

We zien en verwachten voor de toekomst dat extreme weer, zoals extreme hitte, extreme regenval, extreme droote, en natuurbranden, extremer wordt en meer frequent voorkomt. In de ocean zien we opwarming, verzuring en een toename in zogenaamde “oxygen minimum zones”, dus delen van de ocean waar te weinig zuurstof is voor veel leven.



Zeespiegelstijging als thermometer van het klimaat

- Oceanen nemen uiteindelijk >80% van uitgestoten CO₂ op
- Oceanen zullen nog eeuwen blijven veranderen

De oceanen spelen echt een sleutelrol in het klimaat. Laten we wel wezen, het grootste gedeelte van onze planet bestaat uit oceanen (71% is water waarvan bijna 99% zout water). Het meeste van wat we uitstoten gaat de oceanen in. Dat wil zeggen, de oceanen zullen uiteindelijk meer dan 80% van de uitgestoten CO₂ opnemen en ook meer dan de helft van de warmte. Klimaat opwarming veroorzaakt zeespiegelstijging. Zeespiegelstijging kunnen we een beetje zien als de thermometer van het klimaat. Want met opwarming van het water zet het uit en neemt daardoor meer ruimte in, waardoor de zeespiegel stijgt. Ook het smelten van de ijskappen levert een grote bijdrage aan de zeespiegelstijging. We zien dat er ook met betrekking tot zeespiegelstijging grote verschillen zijn over de Aarde. En niet alleen in de horizontaal zijn er grote verschillen, maar ook in de vertikaal. Oceanen zijn namelijk heel diep, vaak een paar kilometer, soms wel meer dan 10 kilometer! De oppervlakte van de oceanen, zeg de bovenste 500 meter, veranderen vrij gemakkelijk. Die zijn zo'n beetje wel in evenwicht met de atmosfeer. Maar die diepere delen van de oceanen, daar verandert alles heel traag. Het duurt wel een paar eeuwen voordat de diepe ocean in evenwicht is met de oppervlakte en de atmosfeer. Dat betekent dat als we nu zouden stoppen met het uitstoten van CO₂, we nog een paar eeuwen lang veranderingen zullen zien in CO₂ concentraties in de atmosfeer. Dat de oceanen nog een paar eeuwen lang zullen blijven verzuren en opwarmen en dat zeespiegelstijging de komende eeuwen nog door zal blijven gaan. Het is dus niet zo dat we even een paar apparaten in de zee zetten die CO₂ uit de lucht vangen en dat we dan van het probleem af zijn. Sterker nog, als we heel efficiënt CO₂ uit de lucht zouden gaan halen, dan is er nog een enorm reservoir in de oceanen wat gewoon weer de atmosfeer in zal komen.

Overzicht

- De lange termijn **koolstof cyclus** is uit balans
- Het **Holocene** had een bijzonder constant klimaat
- Het **Antropoceen** is een tijdperk waarin de mens een groot effect heeft op de aarde
- Door het broeikas effect wordt de aarde **warmer**
- **Extreem weer** wordt meer frequent en extremer
- Door klimaatveranderingen krijgen we **zeespiegelstijging**
- **Oceanen** nemen >80% van het uitgestoten CO₂ op en zullen de komende **eeuwen** nog blijven veranderen

Kortom, klimaatverandering is een complex problem, met vele factoren die allemaal samen werken en waarvan de uitwerkingen nog altijd niet volledig begrijpen. Al die factoren die samenwerken kunnen er ook toe leiden dat sommige veranderingen die we zien niet lineair zijn. Soms kan een system onverwacht snel, volledig veranderen. Een zogenaamd tipping point, of kantelpunt. Veel wetenschappers maken zich grote zorgen om mogelijke kantelpunten in het klimaat.

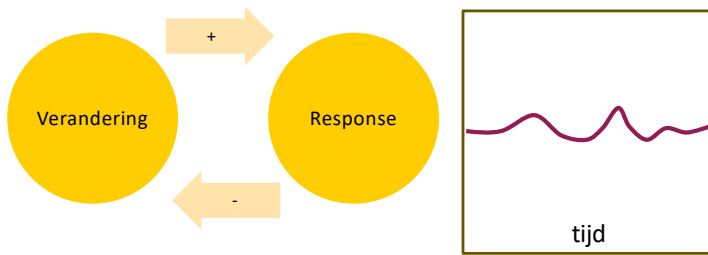
Kantelpunten: hoe ontstaan kantelpunten en welke kantelpunten zijn er?

dr. Anna van der Kaaden

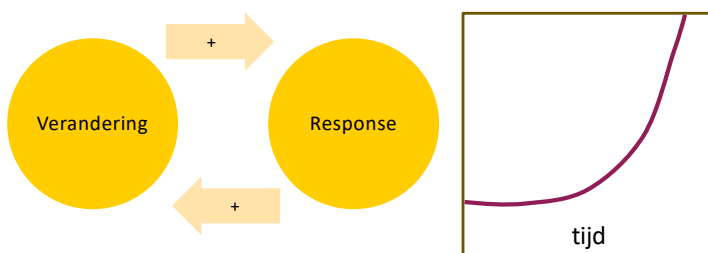
Assistant Professor bij het Copernicus Instituut voor Duurzame
Ontwikkeling

Iets

Positieve en negatieve feedback loops

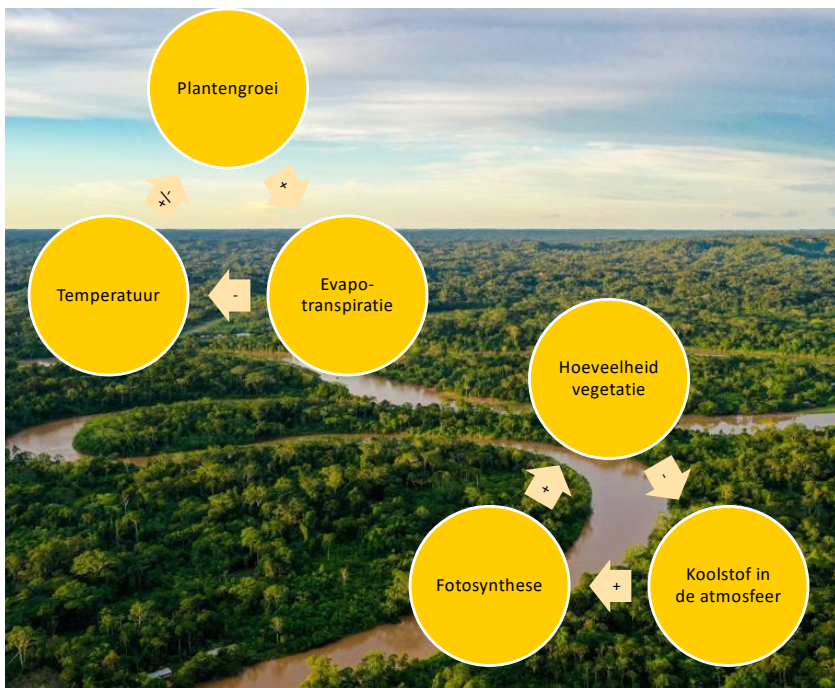


Negatieve loop: een verandering dooft uit.
Voorbeeld = thermostaat, homeostase



Positieve loop: een verandering groeit.
Voorbeeld = een bevalling, populatiegroei

Om iets te kunnen zeggen over kantelpunten, is het goed om te begrijpen waar kantelpunten vandaan komen. Ik had het over al die factoren die met elkaar samen hangen. Als een factor een effect heeft op iets anders, wat weer een effect heeft op diezelfde factor, dan noemen we dat een feedback. Bij negatieve, of balancerende effecten dan dooft een verandering uit. Een thermostat is een voorbeeld, als je de deur open doet en het wordt even kouder, dan gaat de verwarming aan zodat het binnen weer dezelfde temperatuur wordt. De temperatuur in je lichaam werkt op een soortgelijke manier en ook andere dingen zoals de pH van je lichaam. Over de tijd zien we dan lichte schommelingen rondom een constante staat. Zoals bijvoorbeeld die temperatuur van de Aarde in het Holocene. Bij een positieve feedback zien we juist dat een verandering aanleiding geeft tot meer veranderingen en meer en meer en meer, etcetera. We zien dit wel bij exponentiele groei, wat we met iets negatiefs associeren. Maar een leuk voorbeeld van een positieve feedback die leidt tot iets heel goeds, is een bevalling.



Negatieve loop: Gaia hypothese

- Gaia hypothese: het leven reguleert het eigen milieu.
- Planten reguleren de temperatuur
- Planten reguleren koolstof in de atmosfeer

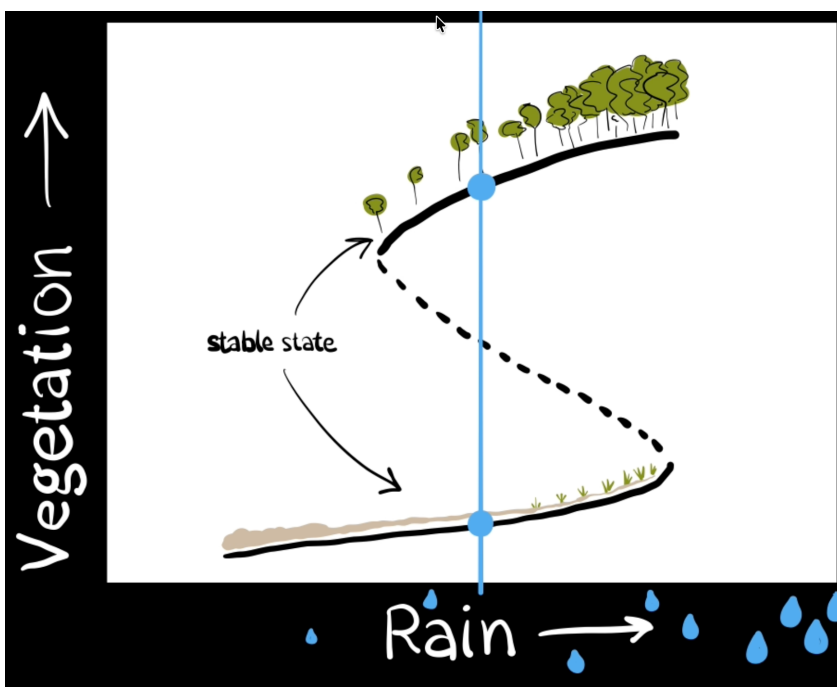
Een voorbeeld van negatieve loops (feedbacks) in ons klimaat kun je zien bij plantengroei. Als planten groeien krijg je meer verdamping van water, wat verkoelend werkt. Zo reguleren planten lokaal de temperatuur van hun omgeving. Een ander voorbeeld is dat als er meer koolstof is in de atmosfeer, de fotosynthese van planten toeneemt, waardoor het meer planten komen, waardoor er minder koolstof in de atmosfeer is (want die koolstof uit de atmosfeer is dan opgeslagen in de vegetatie). Dit fenomeen waarbij het leven het eigen milieu reguleert wordt gebruikt in de Gaia hypothese. Dat is het idee dat alles op Aarde (of in ieder geval de planten en sommige dieren die de planten eten) samenwerkt als één organisme. Je zou je kunnen afvragen wat wij, de mens, dan is in dit geheel.



Positieve loop: albedo

Klassiek voorbeeld van een positieve feedback loop in het klimaat.

Een klassiek voorbeeld van een positieve feedback loop heeft te maken met albedo. Albedo is de reflectiviteit van de Aarde. Witte oppervlaktes, zoals sneeuw en ijs, reflecteren veel zonlicht, waardoor minder zonlicht wordt opgenomen en omgezet in warmte, waardoor de temperatuur daalt. Als de temperatuur op aarde toe neemt komen er minder witte oppervlaktes omdat sneeuw en ijs smelten, waardoor de albedo afneemt, er meer zonlicht wordt opgenomen, waardoor de temperatuur verder toe neemt.

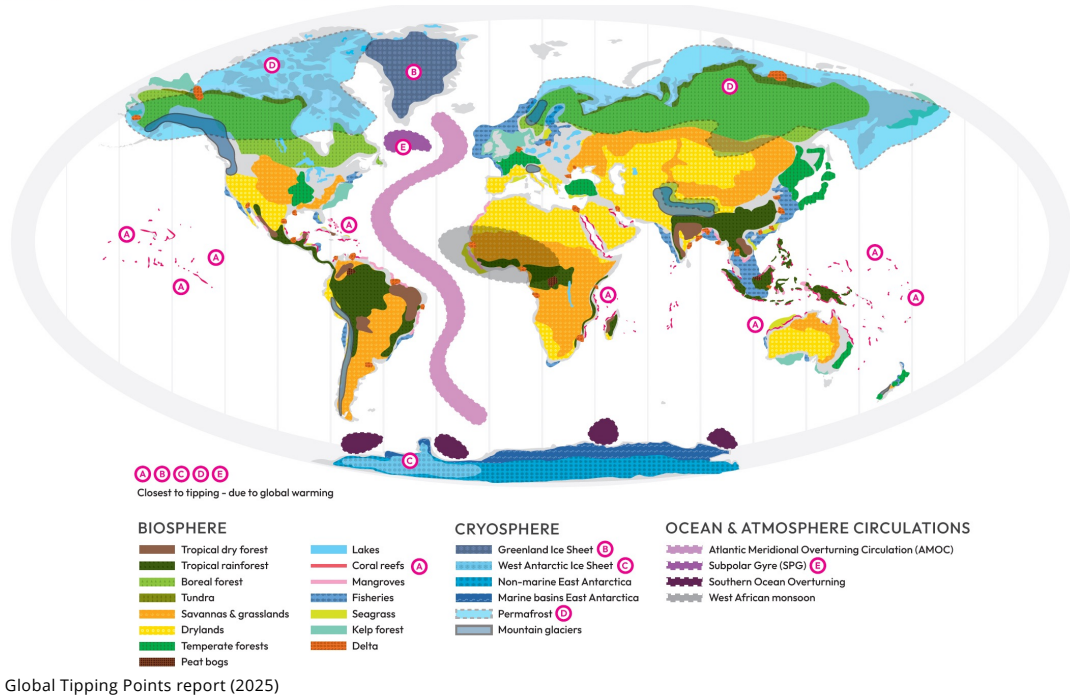


Positieve loops kunnen zorgen voor kantelpunten

- Een kantelpunt betekent dat een systeem verandert van één stabiele toestand naar een andere stabiele toestand
- Deze verandering gaat onverwachts snel en is vaak moeilijk reversibel

Als er positieve feedback loops in een system zitten, dan kan het zo zijn dat er voor bepaalde omstandigheden twee toestanden mogelijk zijn. Een bekend voorbeeld is in droge savannes. Hier kun je een toestand hebben met vegetatie, maar ook een woestijn-toestand met bijna geen vegetatie. Voor dezelfde hoeveelheid regen zijn beide toestanden mogelijk. Dat wordt hier weergegeven met die blauwe bolletjes. Als je in het blauwe bolletje in de vegetatie bent en de regenval neemt af, dan kan het system ineens kantelen naar een woestijn-toestand. Die verandering gaat onverwachts snel en is moeilijk reversibel, want de regenval moet dan weer heel veel toenemen voordat het system weer van een woestijntoestand kantelt naar een vegetatietoestand.

Parts of the Earth system identified in this report as featuring tipping points



Er zijn veel positieve feedback loops bekend in ons klimaatsysteem en op onze Aarde, die wellicht kunnen leiden tot tipping points. De AMOC/warme golfstroom is een hele bekende. Die brengt warm water van nabij Mexico naar Europa. Daardoor is het bij ons niet -20 graden in de winter, wat het wel is aan de andere kant van de Atlantische Oceaan in Canada. We weten uit het verleden (dwz op geologische tijdschalen) dat er ook momenten zijn geweest waarop de warme golfstroom helemaal niet zo ver kwam en dat leidde dan tot veel koudere condities op het Noordelijk halfrond. Die warme golfstroom is namelijk afhankelijk ervan dat zeewater afkoelt bij de Noordpool en zinkt. Doordat de Noordpool sneller opwarmt dan de rest van de Aarde en er veel smeltwater is, wordt het zeewater rond de Noordpool niet meer zo zwaar als eerst en zinkt langzamer. Hierdoor stroomt de warme golfstroom minder hard. Dat is iets wat we nu al zien. Als die golfstroom kantelt, dan is niet ineens The Day After Tomorrow alles bevroren in Europa. Zo'n kanteling kan wel een paar decennia duren, maar dan is die wel bijna onomkeerbaar. De ijskappen zijn ook een voorbeeld van een mogelijk 'tipping element'. De tropische koraalriffen zijn ook een tipping element en het lijkt er op dat we te laat zijn om de koralen nog te redden. Koralen leven in symbiose met algen. Als het te warm wordt laten ze deze algen los en verbleken ze. Koralen kunnen best weer herstellen

van zo'n event, maar dat duurt even. Vroeger was er af en toe zo'n bleaching event, waarna de koralen konden herstellen. Tegenwoordig is het iedere zomer weer raak. De koralen hebben dan geen tijd meer om te herstellen en sterven massaal af. Het lijkt erop dat de Aarde momenteel te veel is opgewarmd om nog tropische koralen te hebben op grote Schaal.

Overzicht

- **Negatieve feedbacks** geven stabiliteit
- **Positieve feedbacks** kunnen leiden tot kantelpunten
- Bij een **kantelpunt** verandert een systeem van de ene naar de andere stabiele toestand
- Deze verandering gaat **onverwachts snel** en is **moeilijk reversibel**
- Tipping points kaart systeem aarde
- Tipping points kaart biosphere

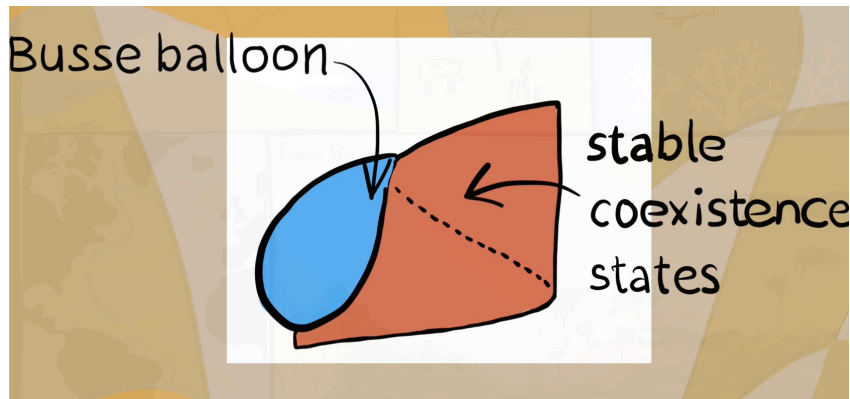
Dat stemt allemaal niet echt vrolijk. Is er nog een lichtje aan de horizon?

Veerkracht

dr. Anna van der Kaaden

Assistant Professor bij het Copernicus Instituut voor Duurzame
Ontwikkeling

Allerlei in-between states



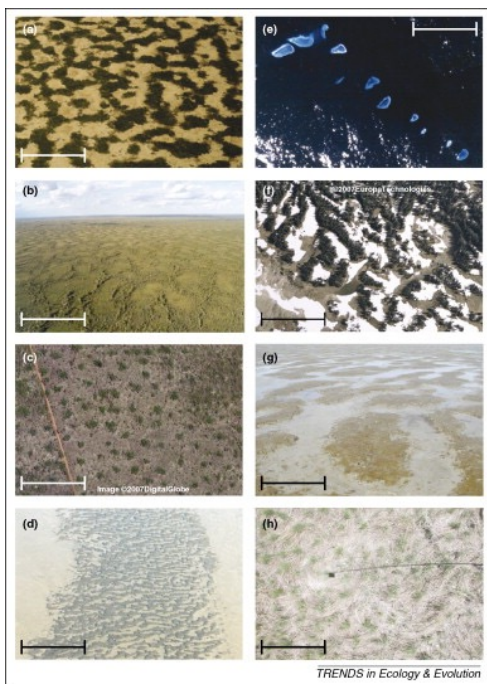
- Kantelpunt theorie is gebaseerd op heel simple modellen
- In complexere (realistischere) modellen zijn vaak allerlei in-between toestanden mogelijk

Wat we weten over kantelpunten komt voornamelijk van heel simplistische modellen. Als we naar iets complexere, en dus iets realistischer modellen kijken, dan zien we vaak dat er inderdaad twee stabiele toestanden zijn, maar ook heel veel toestanden daar tussenin, die ook allemaal stabiel zijn. Met andere woorden, er is misschien een toestand waarbij de Warme Golfstroom helemaal tot aan Europa stroomt en een toestand waarin die helemaal de Atlantische Oceaan niet op gaat, maar er zijn waarschijnlijk ook allerlei toestanden waarin de Warme Golfstroom nét niet helemaal tot aan Europa komt, of maar tot halverwege de Atlantische Oceaan en van alles daar tussen in. En voor de vegetatie en de woestijn is er inderdaad een toestand met savanne vegetatie en een toestand met woestijn vegetatie, maar ook allerlei tussen toestanden met een beetje savanne vegetatie en een beetje woestijn. Omdat al die tussen toestanden ook allemaal stabiel zijn, is het ook minder moeilijk om toestanden te herstellen.

Wat we allemaal nog niet mee nemen

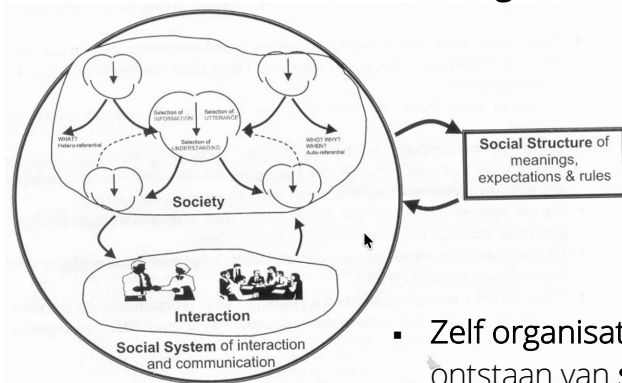
- Individuen kunnen zich aan passen
- Soorten kunnen zich aan passen
- Natuurlijke samenlevingen kunnen zich aan passen
- Ruimtelijke patronen kunnen zich aan passen
- De mens kan zich aan passen

Bovendien is er nog van alles wat we helemaal niet meenemen, zelfs niet in de meest complexe modellen. Bijvoorbeeld dat individuen zich aan kunnen passen (mensen en niet-mensen), soorten kunnen zich als geheel aanpassen, en samenlevingen kunnen zich aanpassen. Dus de natuur kan zich op allerlei niveaus aanpassen aan nieuwe omstandigheden. Verder vormen veel ecosystemen ruimtelijke patronen die zich kunnen aanpassen en de mens is ook ontzettend goed in zich aan te passen. Dat aanpassen van de mens daar zijn we over het algemeen heel skeptisch over als mens. We kunnen het ons namelijk heel slecht voorstellen. Ik zag laatst een praatje van een collega van mij die vertelde dat Times magazine in de jaren 50 allerlei vooraanstaande wetenschappers en futurologen vroeg “hoe ziet de samenleving er uit in het jaar 2000”. Sommige antwoorden waren in de trant van “In het jaar 2000 hoeft de huisvrouw haar keuken niet meer uit, hoeft ze zelf het menu niet meer te bedenken, kan ze met videobellen de grapefruits in de supermarkt beoordelen”. De technologische ontwikkelingen konden ze vrij goed voorspellen, maar wat betreft de maatschappelijke veranderingen zaten ze er compleet naast. Dus, we kunnen ons niet bedenken hoe onze Maatschappij er over 50 uit ziet. Wat voor normen en waarden er gelden en wat er mogelijk is.



Rietkerk & van de Koppel (2008)

Zelf organisatie



- Zelf organisatie is het ontstaan van **structuur** op grote schaal door processen op kleine schaal
- Zelf organisatie in **sociale processen**: we hebben echt een effect!

En dan nog iets waar ik persoonlijk heel veel hoop uit haal. Dat is het process wat we zelforganisatie noemen. Zelf organisatie is het ontstaan van structuur op grote Schaal door processen op Kleine Schaal. Processen op hele Kleine Schaal kunnen zorgen voor patronen die je vanuit de ruimte kunt zien. In de figuur hier van links naar rechts en van boven naar beneden, savanne bomen, koraalriffen, bomen in een bos, boreale bossen, struiken, algen, mosselen, en grassen. Maar zelforganisatie gebeurt niet alleen in de natuur, het is ook een heel belangrijk fenomeen in menselijke samenlevingen. En het betekent dat die Kleine acties die wij allemaal al doen misschien niet voelen alsof ze veel effect hebben, maar dat die uiteindelijk wél echt een effect hebben. Blijf je dus inzetten voor een samenleving waarin we meer verbonden zijn met de natuur. Het heeft zin.

Overzicht

- **Kantelpunten** zien we in simpele modellen maar vaak niet in realistischere modellen
- **Zelforganisatie** geeft hoopt!

Interessante links

- Rethinking tipping: <https://youtu.be/hGeyaRvnbbk>
- Regime shifts: <https://youtu.be/PeWqGiHdJQU>
- Dubbele Dijken: <https://youtu.be/hLoG6u--7E0>
- Meerwaarde met mosselen:
<https://youtu.be/OazyaE95k-w>
- Seamounts: <https://youtu.be/YnasXbITWsk>
- Noordzee onderzoek: <https://www.northsea-research.com/home.html>



**Universiteit
Utrecht**

Sharing science,
shaping tomorrow