

## KNAG Onderwijsdag 2023

### Plenaire lezing Femke de Jong: klimaatverandering in de oceaan

#### *Tekst bij slides*

**Slide 1:** Deze presentatie gaat over klimaatverandering in de oceaan en hoe deze ijsbergen bij Groenland de ocean circulatie mogelijk gaan veranderen. Er zitten ook een aantal filmpjes van experimenten ter illustratie in de presentatie.

**Slide 2:** Deze presentatie is gemaakt door Femke de Jong, fysische oceanograaf bij het NIOZ op Texel. Als zeegaande oceanograaf gaat zij in de zomer met onderzoeksschepen de Atlantische Oceaan op om metingen te doen.

**Slide 3:** Femke werkt al 20 jaar in het gebied oost van Groenland. Dit korte filmpje geeft een mini impressie van hoe dat werk eruit ziet. Dit gebied staat bekend om stormachtig weer, maar daardoor gebeuren er juist hele interessante dingen onderwater waar we later op terug komen. Er worden metingen gedaan vanaf het schip, door instrumenten over boord te zetten en al metende naar de bodem te laten zakken. Ook worden er instrumenten uitgezet in verankeringen, die blijven het hele jaar door meten en worden later weer opgehaald.

**Slide 4:** Deze zomer was er opeens veel aandacht voor de oceaan. Dit is het kaartje van het verschil in temperatuur in juli dit jaar ten opzichte van normaal (het gemiddelde van 1970 tot 2000). In het voorjaar kreeg de start van El Nino in de Stille Oceaan de aandacht. Dat is de warme pluim west van Zuid Amerika. Maar opeens begon ook de Atlantische Oceaan op te warmen. Over grote delen van de Atlantische Oceaan was, en is eigenlijk nog, de temperatuur een paar graden warmer dan normaal. En dat is echt heel veel.

**Slide 5:** Dit plaatje laat zien hoe uitzonderlijk dit jaar is. Elk lijntje laat het verloop van de oceaan temperatuur tussen 60 noord en 60 zuid in een jaar zien. Je ziet de twee pieken van de zomers op de twee halfronden. Sinds de jaren 70 (de blauwe lijntjes) warmt het op, maar de lijn van 2023 ligt ver buiten wat tot nu toe gemeten is. En dat is zorgwekkend.

**Slide 6:** En niet alleen de oceaan is warm. Dit jaar gaat waarschijnlijk het warmte record breken. Dit is het voorbeeld van juli, maar ook augustus, september en oktober lieten dezelfde abnormale hoge temperatuur zien. Het is vooral verontrustend met hoeveel het oud record gebroken wordt. De oceanen dragen hier voor een groot deel aan bij vanwege hun grote oppervlak, twee derde van de aarde is bedekt met water

**Slide 7:** Dat resulteert erin dat heel veel van de warmte die vast gehouden wordt in ons klimaatsysteem door CO2 in de oceanen opgenomen wordt. Zonder dat die meteen over gaan koken. Bijna 90% van deze warmte zit in de oceanen en maar 1% warmt de atmosfeer op.

Link naar artikel: <https://essd.copernicus.org/articles/15/1675/2023/>

**Slide 8:** Als je al het water en alle lucht bij elkaar stopt in een bal, onder dezelfde druk als op zeenivo, zou dat er zou uit zien. Natuurlijk is dat niet een gezonde situatie voor ons, maar het maakt het vergelijken wel makkelijker. Er is kwa volume meer lucht, maar water is veel zwaarder. Omdat de specifieke warmte capaciteit van water hoger is heb je ongeveer 1000 keer zoveel energie nodig om deze bal water 1 graad op te warmen vergeleken met wat nodig is om deze bal lucht 1 graad op te warmer.

**Slide 9:** Het is niet voor niets dat koel- en verwarmingssystemen gebruik maken van water. Zoals de radiator in een huis. Je kan de ketel zien als de evenaar, waar water opwarmt. De radiators als de polen, waar warmte afgegeven wordt. En het expansievat staat voor de zeespiegelstijging door uitzetting van het water

**Slide 10:** Dit plaatje laat de seizoensgang in sneeuw en ijsbedekking zien. En hier zien we de invloed van de oceanen al, vooral rond de Noord Atlantische Oceaan. Rond Groenland en Canada is veel meer sneeuw en ijs, terwijl op dezelfde breedtegraad in west Europa het klimaat milder is. Voor de kust van Scandinavia zien we ook geen zeeijs, terwijl dat er aan de westkant van de Atlantische Oceaan wel is.

**Slide 11:** Dat komt door de oceaancirculatie en de warmte die de oceanen aan de atmosfeer af geeft. Dit is een Plaatje van de gemiddelde oppervlakte temperatuur van de oceanen. Warm/rood rond de evenaar en koud/blauw bij de polen. Het water bij west Europa is warmer dan op andere plaatsen op deze breedtegraad. Op dezelfde breedtegraad zie je veel kouder water in de Stille Oceaan en Zuidelijke Oceaan.

**Slide 12:** Als we inzoomen zien we dit nog beter. De Golfstroom en Noord Atlantische Stroom nemen warm water van de tropen meer naar het noorden. Een deel draait terug in de subtropische gyre, maar een deel gaat door en koelt onderweg af. Een veel kleinere, smalle, stroming brengt koud water en ijs vanuit het noorden mee naar het zuiden.

**Slide 13:** Wat dit plaatje niet laat zien is het oppervlakte water de diepte in gaat. Een deel van de noordwaartse stroming koelt zoveel af dat het zwaarder wordt en naar de diepte zinkt. Daar stroomt het terug naar het zuiden. Netto over de hele water kolom gaat er net zoveel water naar het zuiden als het noorden, daardoor hoort het niet aan 1 kant op.

**Slide 14:** Dit is het radiatordiagram van de oceanen. Met in rood de warmte oppervlakte stromingen en in blauw de diepe stromingen. Dit noemden we vroeger de thermohaline circulatie, naar verschillen in temperatuur en zout. Tegenwoordig noemen we dat de overturning circulatie, omdat het ook andere processen zoals wind meeneemt. De blauwe kleuren geven de dichtheid van het water aan het oppervlak aan. Licht is licht en donker is zwaar. De diepe oceanen zijn gevuld met zwaar water. In de tropen ligt daar veel lichter warm water bovenop en is het moeilijk om water naar beneden te krijgen. In de gebieden rond Groenland is het aan het oppervlak koud genoeg om de dichtheid net zo hoog te krijgen als van de diepe oceanen en daar kan dat wel. Die verticale uitwisseling is belangrijk voor de hele circulatie.

**Slide 15:** De overturning circulatie kan je thuis, of in de klas, nabootsen. We versimpelen de oceanen even tot een rechte bak met water op kamertemperatuur. We vergeten even dat er ook zout verschillen zijn. Rechts heb ik warmer water met rode kleurstof in het sponsje gegoten. Dit zijn de tropen. Links liggen ijsblokjes met blauwe kleurstof. Dit is de pool. Het koude water is zwaarder en zinkt daardoor naar beneden en vult langzaam de diepe oceanen op. Het rode water stroomt naar links om het "gat" te vullen.

**Slide 16:** Dit kan je ook zien op doorsnedes van de oceanen die we met scheepsmetingen maken. In de kaartjes rechtsonder zie je waar deze doorsnede is, van IJsland tot de zuidkant van de Atlantische Oceaan. Bovenin zie je de temperatuur in de vertikaal en van zuid (links) tot noord (rechts). Het kost 3 maanden dag en nacht meten met een schip om een dergelijke doorsnede te maken.

Je ziet een oceaan gevuld met koud water en een warmte laag aan het oppervlak die naar het noorden stroomt. In het noorden koelt het af en zinkt het water. Dit zinken kunnen we zien aan de hand van CFCs/CFKs, in het Plaatje onder. Chlorofluorocarbons (CFCs) begonnen we in 1930 uit te stoten en omdat ze de ozonlaag afbraken zijn ze afgeschaft in het Montreal protocol van 1987. Water met CFCs is dus nog na 1930 in aanraking geweest met de atmosfeer. We zien dit water aan de noordkant langzaam de diepe oceaan in komen.

Link plaatjes: <https://ewoce.org/gallery/index.html>, [https://ewoce.org/gallery/Map\\_Atlantic.html](https://ewoce.org/gallery/Map_Atlantic.html).  
Klik op een sectielijn om een parameter voor een grafiek te kiezen.

**Slide 17:** Ook in anthropogeen CO<sub>2</sub> kun je dit zien. Dit komt ook door uitwisseling met de atmosfeer aan het oppervlak in de ocean en gaat langzaam de diepe oceaan in. Zoals je ziet wordt in het gebied rond Groenland de meeste CO<sub>2</sub> naar beneden de diepe ocean ingebracht. Bij elkaar nemen de oceanen ongeveer een kwart van de uitgestoten CO<sub>2</sub> per jaar op.

**Slide 18:** Nu is er 1 probleem met dit het simpele model van een rechthoekige oceaan. De bak draait niet op dezelfde schaal met de aarde mee, dus de corioliskracht heeft weinig invloed. In de echte ocean zorgt die ervoor dat zo gauw je dichtheidsverschillen heb in de oceaan er wervels ontstaan. Dat komt door het behoud van vortciteit. Dat is moeilijk uit te leggen, maar ik kan het wel laten zien met een bak water op een draaiend plateau. Zo kunnen we de corioliskracht een beetje opvoeren in onze kleine bak.

In het filmpje zie je me enkele druppels kleurstof in de water gooien. Deze geven ook een beetje andere dichtheid aan het water. Hoe langer de bak rond draait, hoe meer wervels er ontstaan.

**Slide 19:** Dat zien we in de echte oceaan ook. Dit is een filmpje van NASA aan de hand van satelliet gegevens. Je ziet dat de oceaan vol met wervels zit. De meridionale overturning circulatie is wat eruit komt als je al deze wervels wegmiddeld. Maar dat maakt het wel heel erg lastig om te meten. Er is niet een grote sterkte stroming waar je een stroommeter midden in kunt zetten.

Link: <https://svs.gsfc.nasa.gov/3827>

**Slide 20:** En toch doen we het. Om de circulatie te meten en beter te begrijpen in het gebied wat voor ons weer en klimaat belangrijk is hebben we een international meetsysteem opgezet in de oceaan. Dat bestaat uit meer dan 60 verankeringen. Elke verankering is een lange kabel met instrumenten die vast zit aan het anker op de bodem en omhoog gehouden wordt door boeien. Een voorbeeld zie je links. Zo meten we de temperatuur, zoutgehalte en stromingsrichting en sterkte over de hele waterkolom en over de hele oceaan. Dit kan ik natuurlijk niet alleen. Ik ben verantwoordelijk voor de 5 verankeringen op de westkant van de Mid Atlantische Rug. De rest wordt gedaan door collega's uit Amerika, Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Canada.

Link project pagina [www.o-snap.org](http://www.o-snap.org)

**Slide 21:** En gemiddeld ziet het snelheidsveld langs deze lijn verankeringen er zo uit. Een netwerk van noordwaartse en zuidwaartse stromingen die netto warm water naar het noorden verplaatsen en evenveel koud water terug. Maar het is niet 1 lopende band. Het is een netwerk van kleinere stromingen.

**Slide 22:** En het varieert nogal in de tijd ook. Gemiddeld gaat er 15 miljoen kubieke meter water naar het noorden en zuiden, maar in sommige maanden transporteert de circulatie meer dan 2x keer zoveel als in andere maanden. Wij zijn nu bezig die verschillen te verklaren aan de hand van de omstandigheden in de ocean of de atmosfeer erboven.

Artikel over resultaten uit OSNAP

Lozier et al., 2019. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau6592>

Li et al., 2021 <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23350-2>

Fu et al., 2023 <https://www.nature.com/articles/s43247-023-00848-9>

**Slide 23:** Maar op de lange termijn denken we dat de circulatie af gaat nemen. De ijskap op Groenland neemt gestaag af. Al dit zoete water komt in de zoute ocean terecht.

**Slide 24:** Dat betekent dat er veel lichter water in het gebied rond Groenland terecht komt. Dat heeft gevolgen voor het zinken van water daar.

**Slide 25:** Op dit filmpje kun je zien wat er gebeurt als er naast een groot temperatuurverschil ook een groot zoutverschil is. Links is er geen verschil in zoutgehalte. Het koude water zakt in het kraanwater op kamertemperatuur en langzaam wordt de hele bak blauwgroen.. Rechts is er wel een zoutverschil. Het zoete ijs licht op zee water (saliniteit ongeveer 32 g/kg water). Daar heeft het temperatuurverschil geen effect meer, het koude zoete water blijft drijven op het zee water. De uitwisseling tussen het oppervlak en de diepe ocean ligt hier stil.

**Slide 26:** Klimaatmodellen voorspellen dat dit ook in de echte ocean gaat gebeuren. De transformatie van oppervlakte water naar diep water gaat afnemen en als gevolg vertraagd de oceaancirculatie. Hoeveel is afhankelijk van het klimaat scenario en wat wij als maatschappij nog gaan uitstoten aan CO<sub>2</sub>. Maar schattingen liggen nu tussen de 20% en 45% afname in 2100.

**Slide 27:** Een afnemende oceaancirculatie heeft grote gevolgen. De productiviteit, de groei van plankton neemt af, we krijgen mogelijk meer winter stormen hier. De intertropische convergentie zone (ITCZ) schuift op, waardoor regengebieden bij de Sahel en Azië zich verplaatsen. En de zeespiegel verandert.

**Slide 28:** Kunnen we die afname nu al zien? Als we die zagen in onze tijdserie bij Groenland, die nu 10 jaar lang is, dan zou dat erg slecht nieuws zijn. Maar in langere tijdseries beginnen we het wel te zien. Dit is werk dat recent uitgekomen is. Er zijn al langer metingen van de Golfstroom bij Florida. Deze metingen zijn ongeveer net zo variabel als de metingen bij Groenland, maar deze tijdserie is veel langer. Daar is nu voor het eerst een afname vastgesteld. Die afname kwam vooral door de laatste 10 jaar van de tijdserie, in de 30 jaar daarvoor was het stabiel. Het is verontrustend dat dit al te zien. Of dit betekent dat er ook al minder warmte naar het noorden gaat is niet duidelijk, dat hangt ook af van de recirculatie van water wat naar het zuiden terug stroomt in de subtropische gyre.

Link <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2023GL105170>

**Slide 29:** Ondertussen werken wij door aan het beter begrijpen van de circulatie en vooral de variaties daarin. Hoe hangen die af van de wind, de afkoeling aan de atmosfeer en de oceaanstroming op andere breedtegraden? Het doel is om precieser te kunnen voorspellen wat de circulatie gaat doen. Daar zit nu tussen de individuele modellen nog teveel verschil tussen. De gekleurde lijn is hier het gemiddelde van de modellen en de cirkels rechts de eindpunten van de individuele modellen.

De verschillen tussen modellen komen onder andere door verschillen in resolutie van de modellen (hoe groot de grid cellen zijn waarop gerekend wordt), maar ook zitten een aantal processen en nog niet compleet genoeg in. Er is geen twijfel over de afname, wel over de sterkte van de afname.

**Slide 30:** En voor een deel hangt dat af van ons. Hoeveel CO2 gaan wij nog uitstoten? Daarin zit ook nog veel onzekerheid. Deze week is er een rapport uitgekomen over het emissie gat. Het verschil tussen wat we moeten doen om onder de 1,5 graad opwarming afgesproken in Parijs te blijven en wat we nu nog werkelijk aan het doen zijn. En het nieuws is niet goed. Willen we onder 1,5 graad blijven dan moeten we nu heel hard aan de gang.

Link: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023>

**Slide 31:** Ander moeten we straks met drastische oplossing komen om een drassige situatie in Nederland te voorkomen. Een college bij het NIOZ, Sjoerd Groeskamp, heeft als waarschuwing deze enorme dam voorgesteld. Dit zou miljarden kosten en een ecologische ramp zijn voor de Noordzee, maar als we zo door gaan dan zijn er straks dit soort oplossingen nodig. Uiteraard zou het veel beter zijn om nu een klein deel van dat geld te investeren om te zorgen dat dit niet nodig is. Anders moeten jullie straks de aardrijkskunde les van Europa behoorlijk aanpassen.

Helaas zien sommige politici deze dam wel als oplossing. Sjoerd heeft daar samen met cabaretier Patrick Nederkoorn een voorstelling over gemaakt.

**Slide 32:** We hopen natuurlijk nog steeds dan we als samenleving gaan ingrijpen en de CO2 toename een halt toeroepen. Dan hoeven we ons ook minder zorgen te maken over de gevolgen van het verlies van ijs op de beide ijskappen.