



A

AFBEELDING 1. | A. Het dorp Tuktoyaktuk, aan de kust van de Beaufort Zee in Canada, onderhevig aan sterke erosie van de toenemend ijsvrije zee. Credit: Weronika MURRAY, *The Narwhal*, <https://thenarwhal.ca/beyond-instruments-can-tell-us-merging-indigenous-knowledge-western-science-end-world/>

B. Pelly Island vlakbij Tuktoyaktuk. Twee dagen nadat deze foto was genomen verdween de pilaar van bevroren grond in zee. Credit: Dustin Whalen



B

De toekomst van het poolgebied

JORIEN VONK
J.E.VONK@VU.NL

De deuren van het vliegtuig gingen open en ik ademde de poollucht in. Hoe ruikt de kou? Knapperig, fris, maar ook een beetje onheilspellend. Het was augustus 2001 en ik ging een jaar op Spitsbergen wonen om mijn master-onderzoek te doen. Hier raakte ik verslingerd aan het arctisch gebied.

Een kleine 10% van het noordelijk halfrond bevindt zich boven de poolcirkel. Op zee ligt veel ijs, veel land is

al duizenden jaren bevroren. Maar het is ook een heel divers gebied. Dichte taigawouden in Siberië die zomers



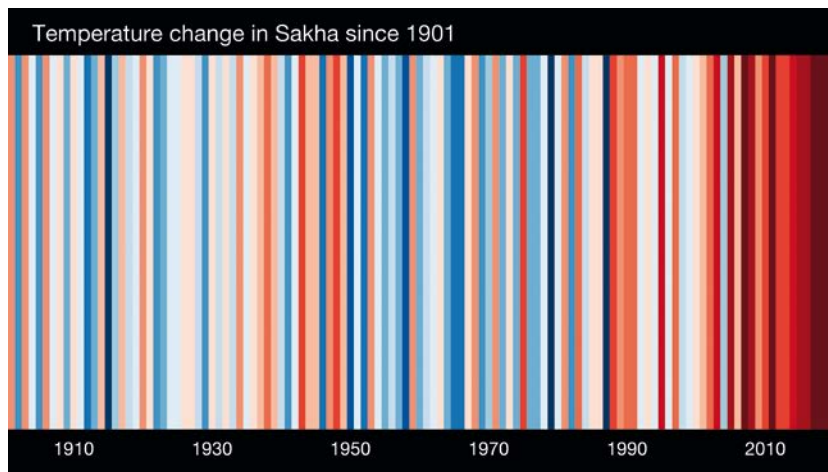
kunnen opwarmen tot boven de 20 graden, maar ook uitgestrekte toendravlakten met minimale begroeiing. Maar het grootste dingetje in het noordpoolgebied is toch wel het sterke seizoenskarakter: lange donkere poolwinters worden afgewisseld met korte immer-lichte zomers waarin alles tot bloei komt, en de bovenste laag van de bodem ontdooit.

Op die bevroren grond, oftewel permafrost, wonen ongeveer 5 miljoen mensen verdeeld over zo'n 1150 nederzettingen (Ramage *et al.*, 2021). Zo'n 1 miljoen mensen, waaronder veel oorspronkelijke bewoners, wonen aan de kust. Bijvoorbeeld in de Northwest Territories (Canada) in het dorpje Tuktoyaktuk. Hier wonen de Inuvialuit. Dit dorp wordt steeds sterker bedreigd door de toenemende stormen en golven van de Beaufort Zee, en zal daardoor misschien wel verplaatst moeten worden (Afb. 1A en 1B).

Het poolgebied is steeds sterker aan het veranderen. Mijn eerste zomer op land in Siberië (2010) op het Northeast Science Station in Cherskiy was al warm. Ik deed in bikinitop met daarover een 'bug shirt' (muggenshirt) op een roestig bootje metingen, en ploeterde in de hitte door zwiepende berkenbossen. Uit de douche kwam rivierwater wat groen was van de algen die hun kans schoon zagen in het warme water. De zomer van 2020 versloeg nog veel meer

records, met een gemiddelde dat 5 graden hoger lag dan het gemiddelde in de decennia daarvoor (1981–2010), met een maximum van zelfs 38 graden Celsius in Verkhoyansk – diep in Siberië – de hoogste temperatuur ooit gemeten boven de poolcirkel (Afb. 2) (Ciavarella *et al.*, 2021).

Twintig jaar na mijn eerste bezoek aan het poolgebied heb ik mijn eigen onderzoeksgroep opgebouwd aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. Samen met promovendi, postdoctorale onderzoekers, en studenten kijken we naar de effecten van klimaatopwarming op bevroren grond en de gevolgen voor rivieren, meren en kustgebieden. Hoeveel van de bevroren koolstof heeft de potentie om in broeikasgas te veranderen en het klimaat nog verder op te warmen?



AFBEELDING 2. | Gemiddelde jaartemperatuur in Jakoetië (Sakha Republic) in Rusland, waar Cherskiy en Verkhoyansk liggen, van 1901 tot 2020 (www.showyourstripes.info)

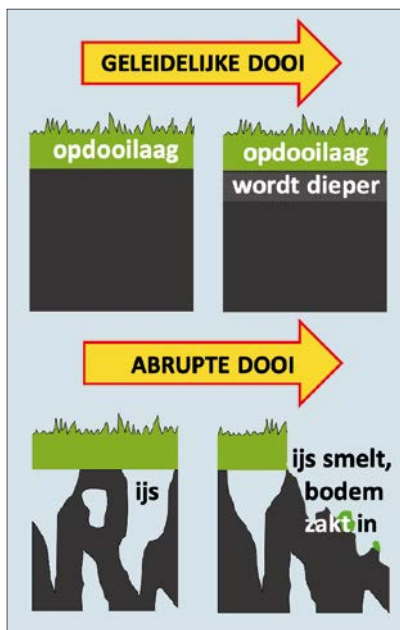


AFBEELDING 3. | Voorbeeld van een dooigat of dooi krater op het Peel Plateau in Canada, waar dooi van ijsrijke permafrost zorgt voor verzakking van de bodem en kilometers lange modderstromen (Foto: Steve Kokelij).

Alles is al anders

Waar we ons in Nederland nog enigszins kunnen verschuilen achter klimaatopwarming als *mogelijk* toekomstscenario, wat we kunnen tegenhouden bij voldoende actie, is dit in het poolgebied al een gepasseerd station. In de afgelopen 10 jaar is het poolgebied al bijna 1 graad opgewarmd (Post *et al.*, 2019). Het gaat hier heel rap. Een mondiale opwarming van gemiddeld 2 graden, betekent in het poolgebied een opwarming van 4 graden, met zelfs in de winters een gemiddelde opwarming van 7 graden. Sommige mensen noemen het poolgebied de *barometer van de gezondheid van onze planeet: als het hier verandert dan volgt de rest van de wereld vanzelf*. De Inuit die al eeuwen of langer hier leven ondervinden een heel scala aan gevolgen. Grote voedselvoorraden, aangelegd tijdens de zomer, die voorheen onder de grond veilig bevroren bewaard konden worden, zijn moeilijker bevroren te houden. Korte periodes van warm weer in de winter maken sneeuw en ijscondities onbetrouwbaar en cruciale jacht en visroutes ontoegankelijk. De sneeuw die valt in warmere weersomstandigheden is zachter en plakkeriger, wat vervoer over sneeuw veel moeilijker maakt. Het zeeijs smelt eerder in de lente en vormt later in de herfst, en is zelfs in de winter op veel plaatsen minder dik en dus minder betrouwbaar of voorspelbaar. Sheila Watt-Cloutier beschrijft meerdere verhalen in haar boek *The*





AFBEELDING 4. | Permafrost kan geleidelijk dooien (ijs-arme permafrost) of abrupt dooien (ijs-rijke permafrost). De effecten op het landschap en de potentie voor broeikasgasproductie zijn voor deze twee typen dooi heel verschillend.

Right to be Cold, zoals van een inwoner van Utqiagvik (voormalig Barrow) in Alaska; “Je hebt dik ijs nodig voor het gewicht van een walvis om hem op het ijs te slepen, maar als het slechts een meter ofzo dik is, dan breekt het ijs als we het dier binnenhalen. We proberen dus nu kleinere walvissen te vangen, maar die kunnen minder mensen voeden.” Naast deze ogenschijnlijk kleinschalige gevolgen, zijn ook afkalving van kusten en rivieroeveren een toenemende bedreiging, en zorgt permafrost dooi voor verzakking van gebouwen en oliepijpleidingen. Er zijn weliswaar meer en meer technische oplossingen beschikbaar om infrastructuur zo aan te passen dat de grond minder snel dooit, maar vaak ontbreken de financiële middelen hiervoor. De voorspelling is dat 3.3 miljoen mensen die nu op permafrost wonen in 2050 geen bevroren grond meer onder hun voeten hebben (Ramage *et al.*, 2021).

Maar de gevolgen van opwarming blijven niet alleen maar beperkt tot het arctisch gebied. De indrukwekkende hoeveel koolstof die in de bevroren grond ligt opgeslagen, bijna twee keer zoveel als er nu als broeikasgas in de atmosfeer zit, kan bij opwarming vrijkomen door zowel permafrost dooi als bos- en toendrabranden. De extra broeikasgassen die deze processen doen vrijkomen zorgen voor verdere versnelling van het broeikaseffect middels een positieve terugkoppeling. Het probleem is echter dat we deze extra koolstofemissies nu niet meenemen in de berekeningen die ten grondslag liggen aan de mondiale klimaatafspraken in Parijs, met als gevolg dat we – om op een maximum van 1.5 graad opwarming te blijven – feitelijk nóg meer moeten reduceren in emissies dan we nu al proberen (Natali *et al.*, 2021).

Permafrost en zeeijs

Hoe zit het nu precies met die permafrost? Permafrost is bevroren ondergrond, soms bestaat het uit veengrond, soms uit bevroren gesteente, soms bevat het veel ijs, soms weinig. Op sommige plaatsen kan de bodem tot wel 700 meter diep



AFBEELDING 5. | Zicht op Bennett Island in de Oost-Siberische Zee vanaf de Zweedse ijsbreker Oden, 2014.

bevroren zijn. In het gehele arctische gebied warmt de bodem op (Biskaborn *et al.* 2018). Zodra bevroren bodems boven nul komen ontdooien ze, en wordt het organisch materiaal beschikbaar voor afbraak. In welke mate dooi van permafrost leidt tot broeikasgasemissie en fysieke landschapsverandering hangt echter sterk af van lokale factoren. Een van de belangrijkste factoren is de hoeveelheid ijs in de grond. Permafrost kan voor meer dan 80% uit ijs bestaan. Als hier de bodem dooit dan smelt het ijs en zakt het landschap in elkaar, zoals bijvoorbeeld op het Peel Plateau in Canada (Afb. 3) waar gaten in het landschap ontstaan zo groot als voetbalvelden. Deze ‘abrupte’ vorm van dooi kan verre-gaande gevolgen hebben en is ook lastiger te voorspellen of modelleren. Als permafrost minder ijs bevat, vindt er een meer geleidelijke vorm van dooi plaats waarin de bovenste bodemlaag elke zomer gemiddeld iets dieper dooit. Dit is minder zichtbaar maar kan op grote schaal plaatsvinden (Afb. 4).

Sinds 1850 wordt het zee-ijs op de Noordelijke IJszee gemonitord, en hieruit blijkt dat de veranderingen in de laatste decennia sterk afwijken van al de tijd daarvoor. In september gaat de ijsafname het snelst, met gemiddeld zo’n 13% afname per decennium, oftewel 83.000 km² per jaar. En het is niet alleen het totale oppervlak ijs wat afneemt, er is ook veel minder dik ijs (multi-year ice) in vergelijking met dun ijs (annual ice). Dit dunne ijs smelt sneller en maakt het geheel dus veel minder weerbaar tegen temperatuurveranderingen. De veranderende ijscondities hebben gevolgen voor al het mariene leven, van plankton tot vis tot narwal, wat dus ook weer doorwerkt op de mensen die hier om culturele, economische en voedingsredenen van afhankelijk zijn. Ik heb twee keer op een expeditie de Noordoost Passage mogen afreizen, van noord Noorwegen via de lange Russische kust naar Alaska en terug. Varen door het ijs is luidruchtig als de schotsen tegen de boeg beuken, maar zodra je stil ligt heerst er serene rust. Dan ben je even, samen met de andere inwoners van je kleine ijsbreker-dorp, geïsoleerd in een witte wereld (Afb. 5).

Twee vliegen

Tot nu toe lijkt dit misschien wel een beetje een opsomming van slecht nieuws, met al die veranderingen die al in gang gezet zijn. Maar het is zeker nog niet te laat om het roer om te gooien. Als we broeikasgasemissies snel en fiks terugschroeven kunnen we de schade beperken. Sterker nog, dan vangen we twee vliegen in een klap; dan beperken we zowel klimaatopwarming door menselijke broeikasgasuitstoot maar ook klimaatopwarming door natuurlijke positieve



AFBEELDING 6. | Zicht op een dooikrater of “thaw slump” op het Peel Plateau in Canada. Het ijs in de bodem smelt waarna de grond ineenzakt. Organisch materiaal en water vindt zich een weg naar lagergelegen gebieden. Foto: Lisa Bröder



AFBEELDING 7. | Close-up (A) van het dooigat uit figuur 3, met daaronder (B) een foto van de modderstroom die tientallen kilometers stroomafwaarts nog het landschap doorkruist (figuren uit Kokelj *et al.*, 2021).

terugkoppelingen in het arctisch gebied als gevolg hiervan. Daarmee geven we ook arctische inwoners, dieren, en hele ecosystemen de kans zich aan te passen aan de veranderingen die al in gang zijn gezet. En dat is de moeite waard, want het is hier werkelijk schitterend. Hier kun je gegarandeerd nog echte vrijheid en onherbergzaamheid beleven. Je bent als mens maar nietig en overgeleverd aan de seizoenen. Zonder gedegen voorbereiding en kennis kun je hier in de winter niet overleven. Ik denk nog graag terug aan een van mijn wandelingen door de hobbelige toendra waar we net riviermonsters hadden verzameld en op vlagzalm hadden gevestigd. Op weg terug naar de boot sloeg het weer om en waren we genoodzaakt om langs de oever van de rivier een houten hut te zoeken en daar te overnachten. Dit soort ontberingen en avonturen maken je nietig, maar geven mij ook groot respect voor de fantastische mensen die wonen in deze gebieden.

Puzzelstukjes

Met mijn eigen onderzoeksgroep aan de Vrije Universiteit in Amsterdam probeer ik stukjes van de klimaat-permafrost puzzel op te lossen, en daarbij speelt water (hydrologie) een hele grote rol. We kijken naar de invloed van dooi op kleine stroompjes



en grote rivieren, we onderzoeken hoe snel materiaal wat via abrupte dooi vrijkomt via grote modderstromen in broeikasgas kan veranderen. We kijken ook bijvoorbeeld naar de kustzeeën en het onderliggende continentale plat, hier wordt materiaal wat afkomstig is van land afgezet en langzaam verder getransporteerd en afgebroken. In welke mate zorgt dit nog voor broeikasgasemissies?

In 2017 reisden we af naar het Peel Plateau in Canada (Afb. 3, 6 en 7) waar het landschap meer en meer onderhevig is aan abrupte dooi. Als gevolg hiervan ontstaan er zogenaamde “thaw slumps”, die mede door intensivering van zomerse regenval alsmat groter worden. De zijkanen van deze doogaten waren soms wel 25 meter hoog! We bemonsterden een aantal van deze slumps: zowel in de slump zelf, maar ook op de route die de modderstromen aflegde richting het riviertje de Stony Creek en uiteindelijk de Peel River. We namen de monsters mee naar Amsterdam en probeerden met een scala aan metingen in te schatten waar de monsters uit bestonden en in hoeverre het organisch materiaal in de monsters was afgebroken. We kwamen erachter dat de modderstromen voornamelijk reeds afgebroken organisch materiaal meevoeren wat van oude permafrost afkomstig is. De jongere, versere delen van het organisch materiaal kwamen voornamelijk uit de opdooi-laag (de bovenste 50–100cm van de bodem); de afbraak van dit spul is relatief snel en vindt waarschijnlijk al in het dooigat zelf plaats. Dit zou kunnen betekenen dat het grootste deel van het organisch materiaal dat door versterkte abrupte dooi op het Peel Plateau beschikbaar komt, slechts verplaatst wordt richting de grote rivieren en oceaan, in plaats van omgezet wordt in broeikasgas.

In 2018 en 2019 bezochten we Cherskiy in Noord-Oost Siberië om daar de Kolyma Rivier te bemonsteren. Het afvoergebied van deze rivier bevindt zich volledig in permafrost gebied. Gedurende het hele jaar voert de rivier organisch materiaal van land af naar zee, maar het karakter van de rivier en het landschap verschilt enorm sterk tussen de seizoenen. In de winter ligt er ijs, groeit er weinig, en vervoert de rivier zo'n 250–300 m³

water per seconde. In de lente (mei, juni) tijdens het smeltseizoen, smelt alle sneeuw, beginnen planten weer te groeien en vervoert de rivier maximale hoeveelheden van 15,000–20,000 m³ water per seconde. In de zomer is alles in volle bloei en groei, ontdooit de bodem, en zakt de afvoer terug naar 5000–8000 m³ per seconde. We hebben in de lente en zomer het organisch materiaal in de rivier bemonsterd (Afb. 8), zowel organisch materiaal wat in opgeloste vorm aanwezig is, als organisch materiaal wat rondzweeft als deeltjes in suspensie. Het onderscheid tussen deze twee vormen is belangrijk omdat de eerste makkelijker door bacteriën te consumeren is, en de tweede juist als habitat voor bacteriën fungeert. Voor beide vormen hebben we onderzocht waar het van afkomstig is en hoe afbreekbaar het is. Het bleek dat er in de zomer voornamelijk organisch materiaal in de rivier rondzweeft wat van algen en plankton afkomstig is, maar wat wel snel afbreekt. Tijdens de lente vonden we voornamelijk materiaal wat van permafrost bodems afkomstig was, maar dit lijkt juist niet snel af te breken. De interactie tussen de opgeloste en suspensie-vorm was heel belangrijk in het bepalen van de afbreekbaarheid. Hiermee krijgen we iets meer inzicht in de huidige dynamiek van organisch materiaal in deze grote rivier waarvan het afvoergebied snel opwarmt, en deze eerste bevindingen lijken er ook op dat permafrost materiaal als het in het water belandt niet heel snel in broeikasgas wordt omgezet.

In 2017 zijn we naar de kust van de Beaufortzee geweest, om daar naar de kusterosie te kijken. Deze zomer (2021) vervolgen we dit onderzoek en bezoeken en bemonsteren we o.a. Pelly Island (Afb. 1B) en ook de zeebodem van de Beaufort Zee vanaf de Canadese ijsbreker CCGS Amundsen. In 2017 hebben we onder andere rond Herschel Island (Afb. 9) metingen gedaan, van de eroderende kusten en het kustgebied daaromheen. Uit analyses van de monsters blijkt dat permafrost materiaal van de dooiende kust vrijwel direct naar de zeebodem zinkt zodra het in het water belandt. Alleen in de smalle zogenaamde ‘surf’zone met een overdaad aan golfbreking en turbulentie bevindt dit materiaal zich in suspensie. Omdat organisch materiaal in suspensie makkelijker afbreekbaar is dan op de zeebodem, is dit relatief goed nieuws. Zo geven alle drie de puzzelstukjes van het onderzoek dat ik hier noem weer wat meer inzicht in de effecten van permafrostdooi op het klimaat. Een deel



AFBEELDING 8. | Na een dag monsters verzamelen op de Kolyma Rivier, dragen we grote wijnzakken gevuld met water via de oever van de rivier omhoog richting het onderzoeksstation voor verdere analyse (Northeast Science Station, Cherskiy, Noordoost Siberië, foto: Lisa Bröder).





AFBEELDING 9. | Permafrostdooi en kusterosie op Herschel Island, voor de kust van de Yukon (Canada). De grond zakt ineen omdat ijs in de bodem smelt, en je ziet sediment via stroompjes de zee in verdwijnen. Foto: Hugues Lantuit

van onze bevindingen geeft wat hoop; er is veel dooi en verandering maar niet al het organisch materiaal wordt snel omgezet in de broeikasgassen die ons klimaat verder opwarmen. Maar er zijn nog veel vervolgvragen waarop we antwoorden proberen te vinden.

Alle beetjes helpen

Dus nu de hamvraag... hoe ziet de toekomst van het poolgebied eruit? Als je het mij vraagt denk ik dat we aan het begin staan van nog veel meer veranderingen. Hoe sterk en hoe snel deze veranderingen zullen zijn is echter de vraag, dit hebben we deels in eigen hand. Ik ga door met het oplossen van de puzzel,

en vele mensen met mij want alle beetjes helpen om meer inzicht te krijgen. De ecosystemen hier zijn dynamisch, de lokale bevolking sterk en weerbaar. Laten we het poolgebied de aandacht en urgentie geven die het verdient, en zijn inwoners laten spreken. Laten we de knapperige, frisse en onheilspellende kou bewaren en koesteren.

REFERENTIES

- Biskaborn B.K., et al., *Permafrost is warming at a global scale*, *Nature Communications* 2018, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>
- Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P. et al. *Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence*. *Climatic Change* 166, 9 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03052-w>
- Kokelj S.V., Kokoszka J., van der Sluijs J., Rudy A.C.A., Tunnicliffe J., Shakil S., Tank S.E., Zolkos S. *Thaw-driven mass wasting couples slopes with down-stream systems, and effects propagate through Arctic drainage networks*, *The Cryosphere* 15, 3059-3081, 2021 <https://doi.org/10.5194/tc-15-3059-2021>
- Natali S.M., Holdren J. P., Rogers B.M., Treharne R., Duffy P.B., Pomerance R., MacDonald E., *Permafrost carbon feedbacks threaten global climate goals*, *PNAS*, 2021, <https://doi.org/10.1073/pnas.2100163118>
- Post E., Alley R. B., Christensen T. R., Macias-Fauria M., Forbes B. C., Gooseff M. N., Iler, Kerby J., Laidre K. L., Mann M. E., Olofsson J., Stroeve J. C., Ulmer F., Virginia R. A., Wang M. *The polar regions in a 2°C warmer world*. *Sci. Adv.* 5, eaaw9883 (2019).
- Ramage J., Jungsborg L., Wang S., Westermann S., Lantuit H., Heleniak T. *Population living on permafrost in the Arctic*, *Population and Environment*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11111-020-00370-6>
- Sheila Watt-Cloutier. *The right to be cold – One woman's fight to protect the arctic and save the planet from climate change*, Univ of Minnesota Press, 2018.

