

KLIMAATVERANDERING IN HET NOORDPOOLGEBIED

Lessenserie
Aardrijkskunde

©2014
Jorien Vonk & Kees Jonk

Voorwoord

Deze lessenserie is een onderdeel van een driejarig onderzoeksproject van Jorien Vonk over klimaatveranderingen in het noordpoolgebied. De bijdrage van Jorien is vooral inhoudelijk van aard. Kees Jonk heeft dit vertaald naar de onderwijspraktijk.

De lessenserie bestaat uit vier lessen en is bedoeld voor het vak aardrijkskunde in de bovenbouw van het vwo. In de bovenbouw wordt aandacht besteed aan het onderwerp klimaatverandering. Uit onderzoek van de laatste jaren blijkt dat de opwarming in het noordpoolgebied sterker is dan in andere gebieden. De lessenserie richt zich met name op de oorzaken en de gevolgen van de sterke opwarming van het klimaat in het noordpoolgebied.

De eerste drie lessen zijn op dezelfde manier opgebouwd. Zij beginnen met een bladzijde tekst over het onderwerp en daarna tien vragen over de stof. Bewust is gekozen om de figuren die de stof verduidelijken niet te gebruiken bij de tekst, maar bij de vragen. Het is de bedoeling dat de docent de figuren wel gebruikt tijdens de uitleg in de les. Deze figuren staan in een apart powerpointbestand. De laatste les gaat over het klimaatonderzoek in de poolgebieden. In deze les komen onderdelen terug die in de andere lessen zijn behandeld in de vorm van praktijkvoorbeelden uit het onderzoek van Jorien.

Van leerlingen wordt verwacht dat zij, voordat de stof in de les behandeld wordt, de tekst van een les thuis bestuderen. De docent legt met behulp van de figuren die in de opdrachten staan de stof uit. Hij beperkt de uitleg tot maximaal een kwartier. Daarna maken de leerlingen de vragen in de les. Als huiswerk voor de volgende les moet in ieder geval de stof van de behandelde les gekend worden. Zonder dat leerlingen het in de gaten hebben, wordt de lesstof op deze manier op vier verschillende manieren verwerkt:

- zelfstandig bestuderen van de lesstof
- herhaling en uitleg van de lesstof door de docent met behulp van beeldend materiaal
- verwerking van de lesstof door middel van het maken van opdrachten
- kennen van de les als huiswerk

De praktijk leert dat deze aanpak bij de meeste leerlingen leidt tot goede resultaten.

Verder willen wij Gerie Jonk en Rob Adriaens bedanken voor hun waardevolle adviezen.

Langedijk, oktober 2014.

Over de auteurs



Jorien Vonk

Jorien is werkzaam als onderzoeker aan de Universiteit Utrecht. Al sinds haar kindertijd heeft ze een fascinatie voor poolgebieden. Ze heeft op het Trinitas College in Heerhugowaard (destijds nog Han Fortmanncollege) aardrijkskunde eindexamen gedaan bij mede-auteur Kees Jonk. Tijdens haar studie Milieuwetenschappen aan de Vrije Universiteit in Amsterdam vertrok ze voor een jaar naar Spitsbergen om daar te studeren. Daarna is ze voor promotie-onderzoek naar Zweden gegaan en heeft ze twee jaar in Zwitserland gewerkt. Ze doet al vijf zomers in Siberië veldwerk, zowel op land als op zee, en doet ook onderzoek in Canada en Noord-Zweden. Haar onderzoek richt zich op de effecten van klimaatopwarming op Arctische rivieren en permafrost.

Meer informatie

e-mail: j.e.vonk@uu.nl

foto's: www.flickr.com/photos/poolvonk/sets/



Kees Jonk

Kees is sinds 1977 werkzaam als aardrijkskundedocent aan het Trinitas College op de locatie Han Fortmann in Heerhugowaard. Bij zijn lessen maakt hij veel gebruik van zelf gemaakt lesmateriaal. Hoewel hij afgestudeerd is in de sociale geografie, heeft vooral de fysische geografie zijn interesse. Samen met andere auteurs heeft hij onder andere lesmateriaal gemaakt over de geologie van Nederland, Actieve Aarde, Noord-Holland tijdens het Holoceen en een lessenserie over geologie. De laatste jaren houdt hij zich vooral bezig met methodes om leerlingen in de les actief te laten leren.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Over de auteurs	2
Inhoudsopgave	3
Les 1 Klimaatverandering en het noordpoolgebied	4
Vragen les 1	5
Les 2 Permafrost	7
Vragen les 2	8
Les 3 Klimaatverandering en zeespiegelstijging.....	10
Vragen les 3	11
Les 4 Onderzoek in de poolgebieden	13
1. Abisko in Noord-Zweden.....	13
2. Mackenzie rivierdelta in Canada.....	14
3. Kolyma Rivier in Rusland.....	16
4. Laptevzee en Oost-Siberische Zee in Rusland.....	18
Bronvermelding figuren	20

Les 1 Klimaatverandering en het noordpoolgebied

Het noordpoolgebied (zie atlaskaart 250A/223A 53^e druk) bestaat uit de Noordelijke IJszee, omgeven door eilanden en de noordelijke gebieden van Noord-Amerika en Eurazië. In deze lessenserie wordt onder het noordpoolgebied het gebied verstaan dat zich uitstrekt van de geografische Noordpool (90 graden noorderbreedte) tot het gebied waar geen permafrost meer in de ondergrond is. Op atlaskaart 222 (182 53^e druk) wordt de zuidgrens van de permafrost aangegeven met een rode lijn. Ten zuiden van deze lijn is de ondergrond niet meer permanent bevroren. De verschillen tussen de zomer en de winter zijn in het noordpoolgebied veel groter dan op de gematigde breedten. In de winter heerst er een aantal maanden complete duisternis en kunnen de temperaturen in sommige gebieden zakken tot meer dan 50 graden onder het vriespunt. In de zomer is het 24 uur per dag licht. De temperatuur kan dan in bepaalde gebieden stijgen tot ruim boven de twintig graden. 's Zomers komt de natuur tot leven gedurende een kort, maar intensief groeiseizoen. Er gebeurt dan heel veel in korte tijd: de toplaag van de permanent bevroren bodem (= permafrost) ontdooit; smeltend sneeuw en ijs zorgen voor enorme hoeveelheden rivierwater. De hoeveelheid zee-ijs op de Noordelijke IJszee neemt in de zomer af.

Uit metingen blijkt dat het klimaat in het noordpoolgebied steeds warmer wordt. De opwarming gaat sneller dan op andere plaatsen op aarde, omdat in het noordpoolgebied veranderingen plaatsvinden die de opwarming versterken.

De volgende vier veranderingen hebben een verhogend effect op de temperatuur in het noordpoolgebied:

- Door de toename van de temperatuur smelt meer ijs en sneeuw, waardoor het oppervlak dat bedekt is met ijs en sneeuw afneemt. Lichte oppervlakken van sneeuw en ijs weerkaatsen meer zonlicht dan donkere oppervlakken zonder sneeuw of ijsbedekking. Door het smelten van sneeuw en ijs wordt dus minder zonlicht weerkaatst en meer zonne-energie opgenomen door het aardoppervlak. Het aardoppervlak wordt dus extra verwarmd. Vervolgens zorgt de opgewarmde aarde ervoor dat de lucht erboven warmer wordt. Ijs met verse sneeuw weerkaatst ongeveer 85% van de inkomende zonnestraling terwijl open water slechts 7% weerkaatst. Dit betekent dat dan 93% van de warmte wordt opgenomen door het aardoppervlak. De mate waarin het aardoppervlak zonlicht weerkaatst wordt albedo genoemd.

- Zee-ijs zorgt ervoor dat het relatief warme water, dat zich onder het ijs bevindt, zijn warmte moeilijk kan afstaan aan de lucht erboven. Als de hoeveelheid zee-ijs afneemt in de Noordelijke IJszee kan het water zijn warmte ongehinderd afstaan aan de lucht erboven. Hierdoor wordt de temperatuur van de lucht erboven hoger. Dit proces kan snel verlopen, omdat in de Noordelijke IJszee de zon in de zomer 24 uur per dag schijnt. Pas laat in de herfst ontstaat dan ijs.

- In poolgebieden is er weinig uitwisseling tussen de onderste luchtlaag in de atmosfeer en de lagen erboven. De warmte die wordt afgestaan via het aardoppervlak aan de lucht in de poolgebied beperkt zich tot de onderste laag. Hierdoor blijft de opgewarmde lucht dichtbij het aardoppervlak hangen. De extra energie (warmte), die ontstaat door opwarming van het klimaat, zal in het noordpoolgebied dus vooral de dunne onderste laag sterk opwarmen. In warme gebieden is er een veel sterkere verticale uitwisseling van warmte tussen de lagen in de atmosfeer en zal extra energie (warmte) over een veel grotere hoeveelheid lucht worden verspreid.

- Door de lage temperatuur in het noordpoolgebied is er weinig verdamping. De extra energie, die ontstaat door het warmer worden van het klimaat, wordt in het noordpoolgebied vooral gebruikt voor directe opwarming van de lucht, terwijl warmte in de tropen of op gematigde breedtegraden ook gedeeltelijk voor verdamping van water wordt gebruikt.

Vragen les 1

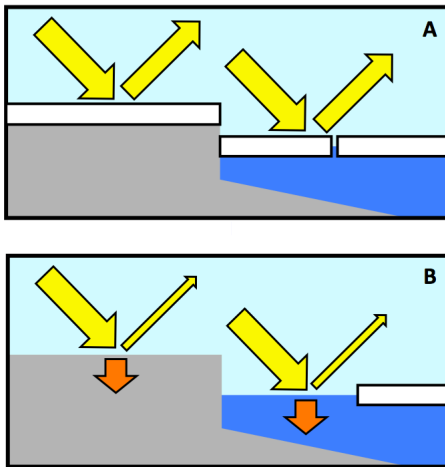
Gebruik atlaskaart 250A (223A 53^e druk) voor de vragen 1 en 2.

1. In welke drie landen bevinden zich de grootste gebieden met permafrost / bevroren ondergrond?

In het oosten van Rusland ligt de permanent bevroren ondergrond op een veel lagere breedte dan in het westen van Rusland. Hierbij spelen klimaatfactoren een rol, zoals hoogteligging, ligging van gebergten en aanvoer van warmte en koude van elders.

2. Geef bij elke genoemde klimaatfactor een toelichting. Maak daarbij gebruik van informatie uit de atlaskaarten 250A (223A 53^e druk) en de kaarten 130-131 van de atlas.

Figuur 1



Gebruik figuur 1 voor de vragen 3 en 4.

Figuur 1 hiernaast laat zien hoe het smelten van ijs / sneeuw een versterkend effect heeft op de toename van de luchttemperatuur.

3. Beschrijf de werking van dit proces in drie stappen.

De lage luchttemperatuur in het noordpoolgebied zorgt voor relatief weinig verdamping.

4. Leg uit welke invloed verdamping heeft op de luchttemperatuur. Je uitleg moet een oorzaak-gevolg relatie bevatten.

Figuur 2

Gebruik figuur 2 voor de vragen 5 en 6.

5. Beschrijf de invloed van de afname van het oppervlak zee-ijs op de luchttemperatuur.

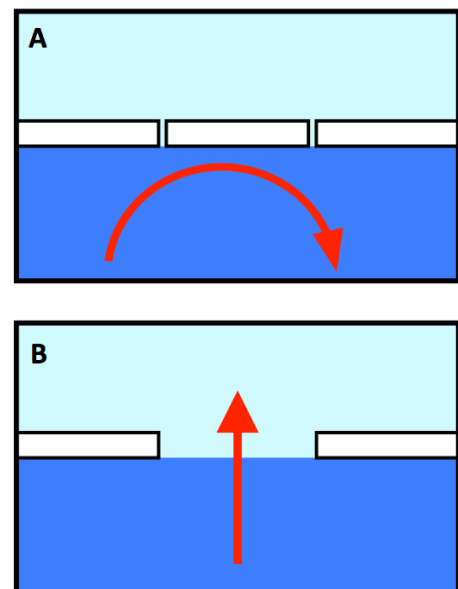
Gebruik de atlas.

Het proces dat weergegeven is in figuur 2 vindt in het zuidpoolgebied minder plaats dan in het noordpoolgebied.

6. Geef hiervoor twee oorzaken.

Het proces, afgebeeld in figuur 2, zorgt ervoor dat het economisch belang van het noordpoolgebied groter wordt.

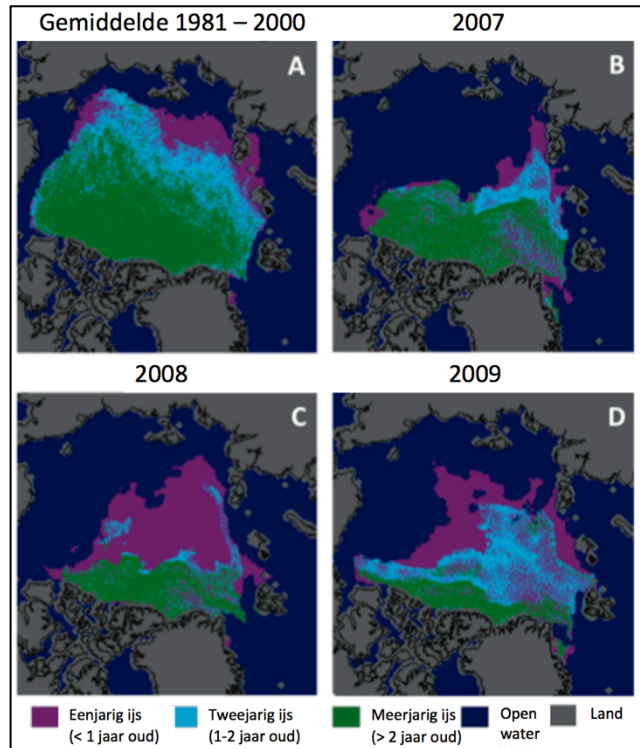
7. Noem twee vormen van bedrijvigheid die hiervan zullen profiteren.



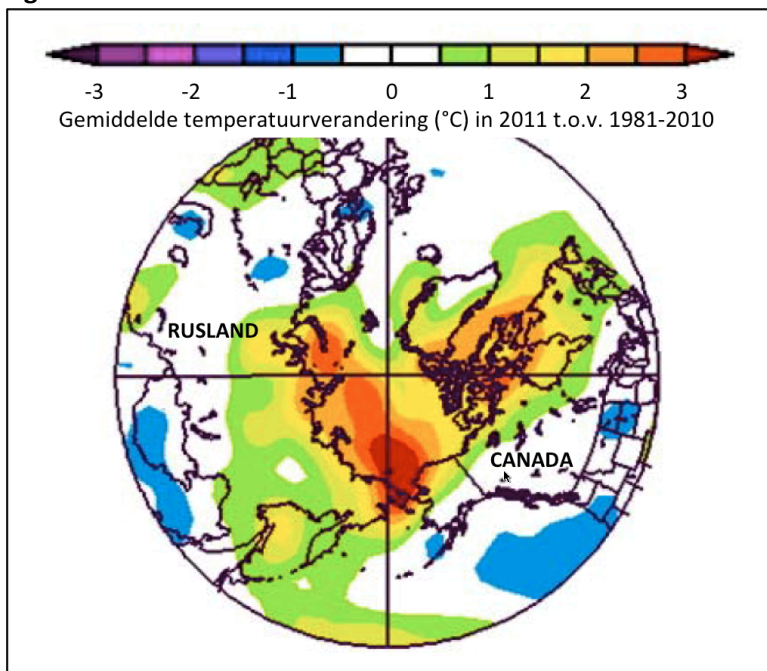
Figuur 3

Leeftijd van zee-ijis aan het einde van het smeltseizoen

8. Geef drie veranderingen die figuur 3 laat zien tussen 1981-2000 en 2009.



Figuur 4



Gebruik figuur 4 en atlaskaart 250A (223A 53^e druk).

9. Geef aan:

- tussen welke twee breedtegraden en twee lengtegraden het gebied ligt met de grootste toename van de temperatuur.
- met hoeveel graden de temperatuur in dit gebied in 2011 is toegenomen ten opzichte van het gemiddelde in de periode 1981-2010.

10. Hoeveel graden zal de temperatuur in het Noordpoolgebied toenemen in het jaar 2100 volgens atlaskaart 220B (54^e druk)?

Les 2 Permafrost

Op atlaskaart 222 (196, 53^e druk) is de zuidgrens van permafrostgebied met een rode lijn aangegeven. In de legenda eronder wordt permafrost gedefinieerd als geheel of gedeeltelijk bevroren ondergrond. Ondergrond, die meer dan twee jaar achter elkaar bevroren is, wordt permafrost genoemd. Ongeveer een kwart van het aardoppervlak bevat een ondergrond van permafrost. De dikte van permafrost varieert van enkele meters tot soms wel een kilometer in de zeer koude gebieden. De bovenste laag permafrost ontdooit elke zomer en bevriest in de winter weer. Deze laag wordt de opdooilaa genoemd. Op sommige plaatsen is de opdooilaa slechts 10 cm dik en op andere plaatsen een aantal meters. De grens tussen permafrost en opdooilaa noemen we de permafrosttafel. De dikte van permafrost neemt af, naarmate je meer naar het zuiden gaat. Binnen een gebied kan de dikte van permafrost variëren. Lokaal zijn er plaatsen waar de permafrostlaag ontbreekt. Dit is bijvoorbeeld het geval onder meren of rivieren, waar het water relatief warm is. Deze eilanden van niet bevroren grond worden aangeduid met talik. Op andere plaatsen is de permafrost juist extra dik, bijvoorbeeld hoog in de bergen.

Er zijn verschillende soorten permafrost, zoals land-permafrost, yedoma en zeebodem-permafrost. Land-permafrost bevindt zich in de gebieden waar toendra of taiga voorkomt en in de hogere delen van berggebieden. Yedoma permafrost is een speciaal soort land-permafrost dat al heel oud is en in het deel van Siberië voorkomt dat nooit bedekt is geweest door landijs. Het bevat veel ijs met organische resten van dieren en planten gemengd met sediment. Daarnaast vinden we ook permafrost op de zeebodem, met name onder het continentaal plat van de Noordelijke IJszee. Deze permafrost is ontstaan tijdens de laatste ijstijd toen de zeespiegel veel lager stond dan nu en het continentaal plat land was. De koude luchttemperaturen zorgden ervoor dat de ondergrond tot op grote diepte bevroor. Door het koude water gaat het ontdooien van die diep bevroren ondergrond in een langzaam tempo.

Permafrost kan het landschap sterk beïnvloeden. Als water in de bodem in ijs verandert neemt het volume toe, waardoor het grondoppervlak omhooggeduwd wordt. Zo kan er bijvoorbeeld een palsa ontstaan. Palsa's zijn bodemverhogingen die veel in veengebieden voorkomen. Ze bestaan uit afwisselende laagjes ijs en grond. Een ander verschijnsel dat in het toendralandschap voorkomt is de pingo. In het Inuktuq, de taal van de Inuit (Eskimo's), betekent pingo "kleine heuvel die groeit". Deze heuvels (soms bijna "bergen") hebben een kern van ijs die alsmaar groeit en gevoed wordt door ondergronds water. In Noord-Nederland en Midden-Nederland kunnen we nog pingo-ruïnes uit de laatste ijstijd vinden. Het ijs is nu weg, de grond is ingezakt, en vaak is er een meertje ontstaan. Het inzakken van de bodem als gevolg van het smelten van bodemijs en het ontdooien van permafrost noemen we thermokarst.

Permafrost bodems bevatten veel dood organisch materiaal. Dit komt omdat het groeiseizoen kort is en de temperatuur laag. Alle dode planten en dieren verdwijnen daarom elke herfst direct in de "bodenvriezer". Organisch materiaal bestaat voor een groot deel uit koolstof. In alle permafrost zit vier keer zoveel koolstof als in alle levende planten en bomen op aarde samen. De huidige opwarming van de aarde zorgt voor het ontdooien van permafrost waarbij het organisch materiaal gaat rotten en de koolstof (C) kan worden omgezet in broeikasgassen koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Deze broeikasgassen kunnen het broeikaseffect versterken. Op sommige plaatsen, zoals in Alaska, Zweden en op Groenland, waar op onderzoeksstations al lange tijd metingen worden gedaan, blijken inderdaad meer broeikasgassen uit de dooiende permafrost te ontsnappen. In dit verband wordt wel gezegd dat het organisch materiaal, opgeslagen in de permafrost, een tikkende koolstofbom is.

Vragen les 2

1. Geef de definitie van:

- permafrost
- opdooilaa
- permafrosttafel
- talik
- yedoma
- continentaal plat

Vergelijk atlaskaart 222 (196, 53^e druk) met figuur 5 hiernaast

2. In welke twee opzichten geeft figuur 5 meer informatie over permafrost dan de atlas?

Onder een deel van de Noordelijke IJsee bevindt zich nog steeds een ondergrond van permafrost.

3. Leg uit waardoor dit veroorzaakt wordt.



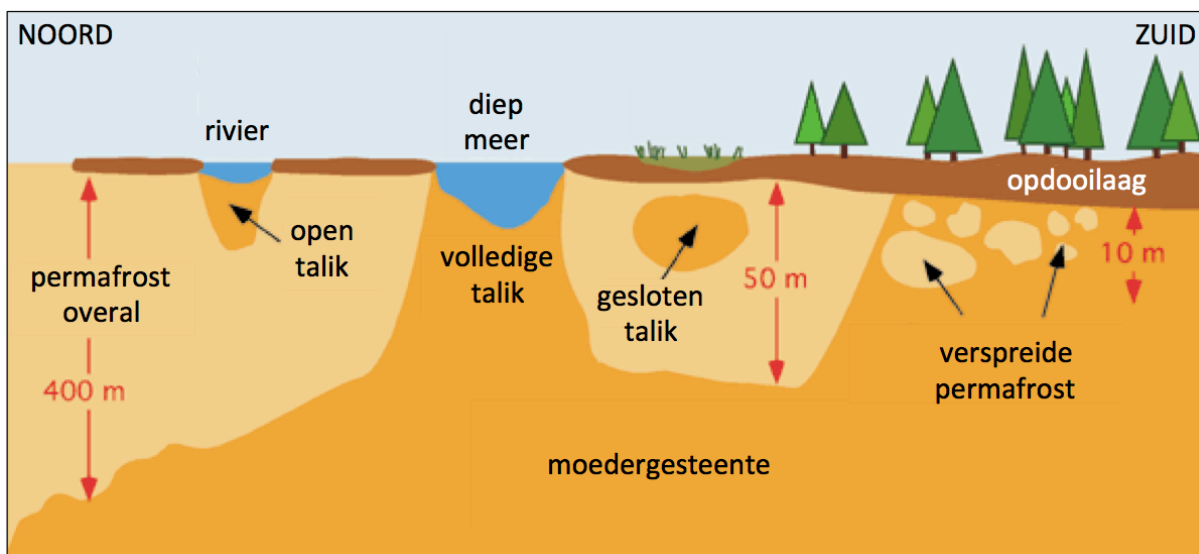
Figuur 5 Permafrost op het noordelijk halfrond. De rode lijn geeft de noordelijke grens aan van de permafrost op het continentale plat van de Noordelijke IJsee.

Gebruik de atlas.

4. Geef aan:

- in welke twee klimaatzones permafrost voorkomt.
- in welke twee vegetatiezones permafrost voorkomt.

Figuur 6 Doorsnede van een permafrost gebied



Gebruik figuur 6 voor de vragen 5 en 6.

5. Geef twee oorzaken voor de verschillen in dikte van de permafrost.

6. Leg uit hoe veen ontstaat in gebieden als die in figuur 6.

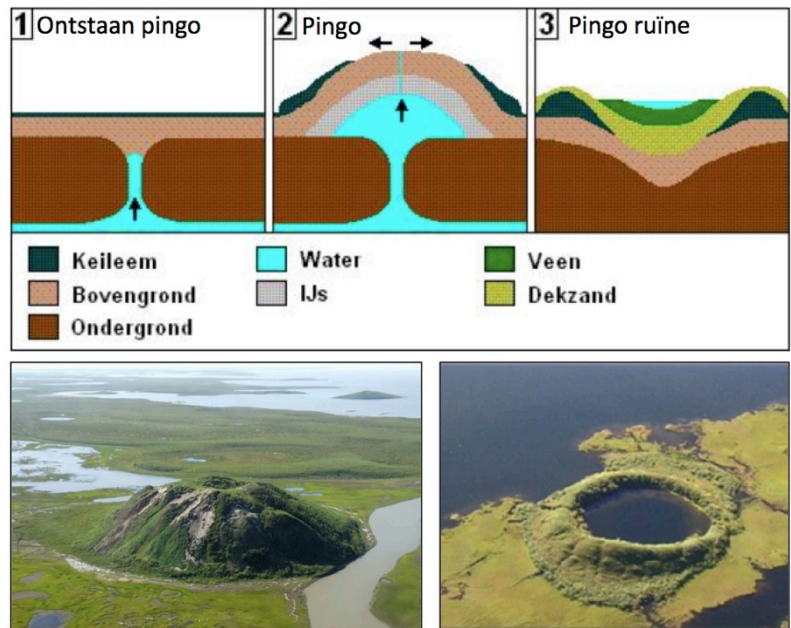
Figuur 7 Ontstaan van een pingo

De figuurtjes 1 t/m 3 geven het ontstaan van een pingo weer; linksonder is een foto van een pingo en rechtsonder is een foto van een pingoruïne in de Mackenzie rivierdelta in Canada.

7. Beschrijf met behulp van figuur 7 het ontstaan van de heuvel op de foto linksonder.

In Nederland vind je meertjes die op een soortgelijke wijze ontstaan zijn als het meertje op de foto rechtsonder.

8. Beschrijf met behulp van figuur 7 het ontstaan van het ronde meertje op de foto rechts onder.



Figuur 8 Voorbeelden van thermokarst.



(boven) De rivierbank van de Kolyma rivier waar door het smelten van ijs in yedoma permafrost de oevers inzakken en afkalven; (linksonder) een close-up van thermokarst, en (rechtsonder) een luchtfoto van het noorden van Alaska waar thermokarst heeft geleid tot het vormen van veel meertjes.

Gebruik de bovenste foto van figuur 8

9. Beschrijf in drie stappen het proces van afbraak en transport van de bovengrond.

10. Beschrijf in drie stappen hoe verschijnselen, als die afgebeeld in figuur 8, op den duur kunnen leiden tot extra opwarming van de temperatuur op aarde.

Les 3 Klimaatverandering en zeespiegelstijging

Er zijn in het kwartair (= de laatste 2,6 miljoen jaar) tijden geweest dat de gemiddelde temperatuur op aarde zo laag was dat een groot deel van het aardoppervlak bedekt was met ijs. Zo lag er in de voorlaatste ijstijd (saalien/riss) een ijskap die heel Noord-Europa tot halverwege Nederland bedekte. Atlaskaart 73A laat de ligging van deze ijskap in Europa zien. Als gletsjers grote landmassa's bedekken, spreekt men van ijskappen. De huidige ijskappen op Antarctica en Groenland beslaan samen bijna 10% van het aardoppervlak en bevatten 99% van al het zoete water op aarde. Naast de ijskappen zijn er wereldwijd ongeveer 170.000 gletsjers die tezamen minder dan 1% van het landoppervlak op aarde beslaan. De ijskappen en gletsjers vormen tezamen het landijs. Zee-ijs bedekt tegenwoordig ongeveer 7% van de oceanen, maar er zijn grote verschillen tussen zomer en winter. Er ligt ongeveer evenveel zee-ijs rondom Antarctica als in de Noordelijke IJsee maar rondom Antarctica is de hoeveelheid ijs die elke zomer smelt veel groter (afname van ca. 87%) dan in de Noordelijke IJsee (afname van ca. 57%).

De laatste ijstijd (weichselien) eindigde ongeveer 10.000 jaar geleden. Daarna werd het klimaat warmer en smolten ijskappen en gletsjers. Het gevolg hiervan was dat de zeespiegel steeg, omdat er meer smeltwater naar zee stroomde. Als landijs smelt, stijgt dus de zeespiegel. Als zee-ijs smelt leidt dit niet tot een stijging van de zeespiegel. Je kunt het vergelijken met het smelten van een ijsblokje in een glas water, waarbij ongeveer evenveel water door het ijsblokje verplaatst wordt als door het smeltwater wordt opgevuld.

Door het warmer worden van het klimaat stijgt de zeespiegel de laatste decennia sneller. Sinds 1961 gaat dit wereldwijd met gemiddeld 1,6 mm per jaar en sinds 1993 met gemiddeld 3,1 mm per jaar. De zeespiegelstijging is niet overal gelijk en is ook afhankelijk van het gebied waar het ijs smelt. Smeltend Antarctisch ijs zorgt in Nederland voor een sterkere stijging van de zeespiegel dan smeltend Groenlands ijs. Dit komt omdat grote ijskappen door hun massa via de zwaartekracht het zeewater naar zich toe trekken. Als de ijskap smelt neemt deze zwaartekracht af waardoor er minder zeewater naar de ijskap wordt getrokken en de zeespiegel in de buurt van de ijskap dus zal dalen. Deze daling kan merkbaar zijn tot een afstand van 2000 kilometer van de ijskap. Als de ijskap op Antarctica zoveel ijs verliest dat de zeespiegel gemiddeld een meter stijgt, levert dat voor onze kust, ver van Antarctica, een stijging van 120 centimeter op. Als de ijskap op Groenland evenveel ijs verliest, dan stijgt het oppervlak van de Noordzee, relatief dichtbij Groenland met slechts 40 centimeter.

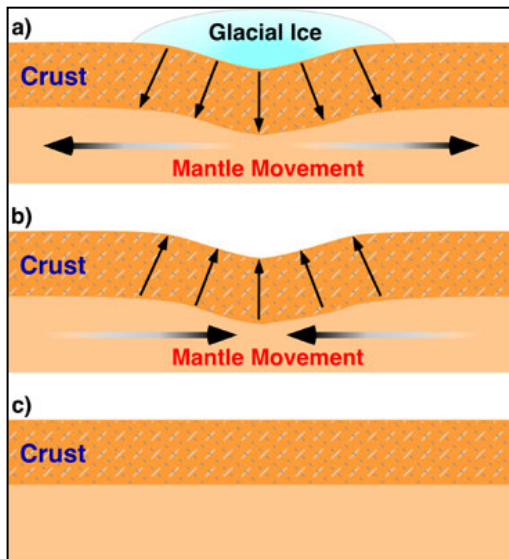
Er wordt een onderscheid gemaakt tussen absolute en relatieve zeespiegelstijging. Bij absolute zeespiegelstijging is er sprake van een daadwerkelijke gemiddelde zeespiegelstijging op aarde. Dit hoeft niet te betekenen dat overal de zeespiegel stijgt. De zeespiegel kan door lokale oorzaken in bepaalde delen van de wereld ook meer of minder stijgen of zelfs dalen ten opzichte van land. In Scandinavië is er nu sprake van een relatieve zeespiegeldaling. Na het verdwijnen van de ijskap die tijdens de laatste ijstijd in Scandinavië lag (atlaskaart 73B) komt de plaat waarop deze ijskap lag langzaam omhoog. In Scandinavië is daardoor nog steeds sprake van het opveren van het land, waardoor de zeespiegel daar daalt ten opzichte van het land.

De zeespiegelstijging zal vooral problemen geven voor mensen die in lage gebieden langs de kust wonen. Een blik op de kaarten in de atlas laat zien dat veel stedelijke gebieden in lage kust- en deltagebieden liggen. Een bijkomend probleem is dat daar meestal ook de bodem daalt door winning van grondwater voor drinkwater, landbouw en industrie. In Jakarta zakte de bodem de laatste decennia bijvoorbeeld met bijna 10 centimeter per jaar en in Bangkok met ruim 4 centimeter per jaar. In West-Nederland daalt de bodem al eeuwenlang, omdat door bemaling van het land water aan de bodem wordt onttrokken. Hierdoor neemt het volume van de bodem af, waardoor de bodem zakt. Dit proces wordt inklinking genoemd. In veengebieden gaat de bodemdaling snel als het grondwaterpeil verlaagd wordt, omdat dan meer veen wordt bloot gesteld aan de lucht en oxideert. In de veengebieden van West-Nederland bedraagt de bodemdaling tussen de 1,5 en 3 centimeter per jaar. Klimaatverandering kan de daling versnellen door de hogere temperaturen en de lagere waterstanden in de zomer.

Vragen les 3

Gebruik de atlaskaarten 73A en 73B

De atlaskaarten 73A en 73B laten zien dat in de voorlaatste en laatste ijstijd de kustlijn van Europa sterk verschilde van de huidige kustlijn.



1. Leg uit waarom de kustlijn tijdens de laatste twee ijstijden sterk verschilde van de huidige kustlijn.

Gebruik figuur 9.

Figuur 9 laat zien wat er met de aardkorst gebeurt tijdens een bedekking met landijs en wat er gebeurt als het landijs weer verdwijnt in een warme periode.

2. Beschrijf het proces dat figuur 9 laat zien in drie stappen.

Figuur 9 Gevolgen van de ijsbedekking voor de aardkorst.

Gebruik figuur 10.

Figuur 10 laat een concentrisch patroon zien.

3. Geef de oorzaak van dit patroon.

Gebruik figuur 9 en 10.

Door het smelten van de ijskap kwam Scandinavië omhoog en daalden delen van Nederland en Duitsland.

4. Leg uit dat het dalen van delen van Nederland en Duitsland en het omhoogkomen van Scandinavië het gevolg was van verandering van stromingen in de mantel.

Gebruik figuur 11.

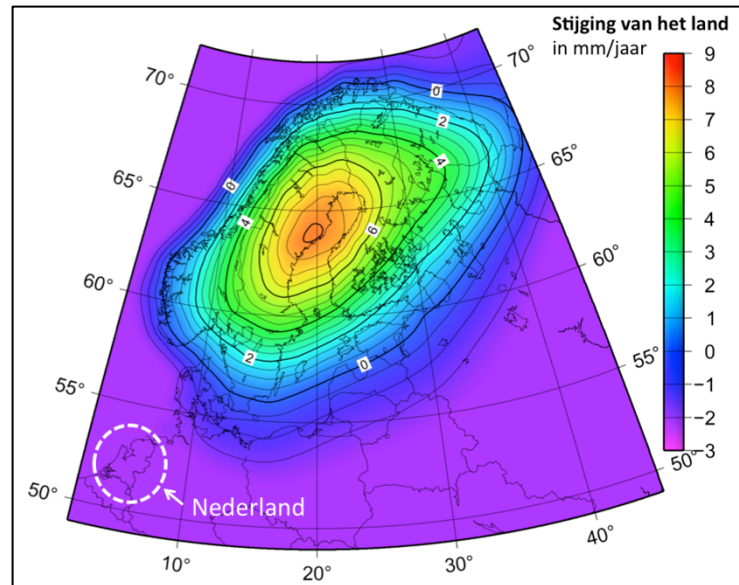
5. Beschrijf de ontwikkeling die figuur 11 laat zien.

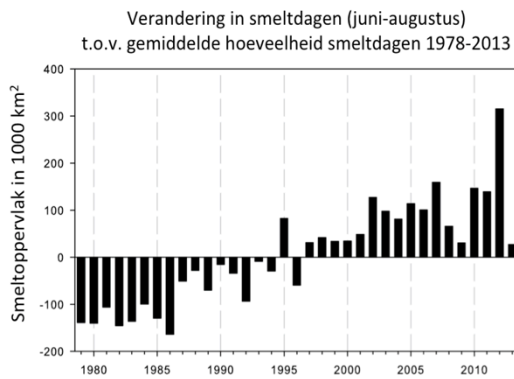
Gebruik figuur 11 en figuur 12.

De verschillen tussen 2012 en 2013 zijn erg groot. Toch zullen meteorologen dit een normaal verschijnsel noemen.

6. Welke argumentatie zullen zij hiervoor geven?

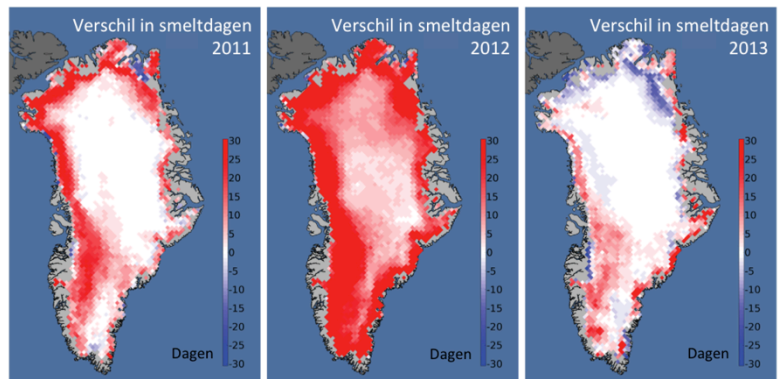
Figuur 10





Figuur 11

Figuur 11 (links) laat per jaar de afwijking zien van het oppervlak landijs dat gemiddeld is gesmolten op Groenland in de periode 1978-2013. Het betreft hier de maanden juni, juli en augustus. Figuur 12 (rechts) laat van 2011, 2012 en 2013 de afwijking zien van het aantal smeltdagen ten opzichte van het gemiddelde over de periode 1981-2010.



Figuur 12

Gebruik figuur 12.

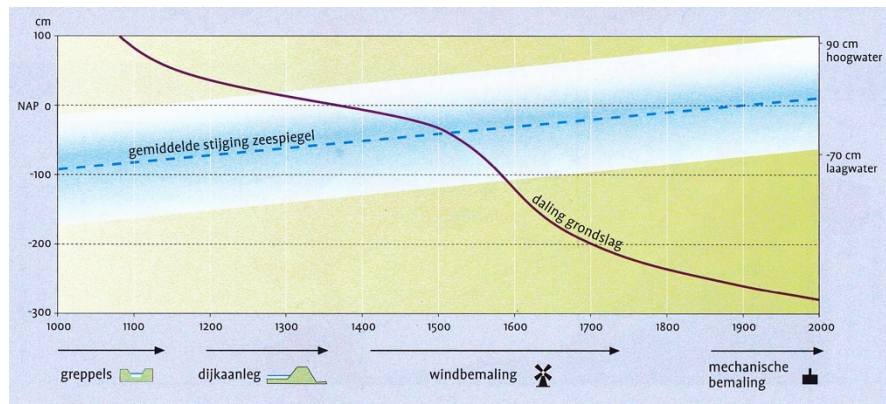
Er is een groot gebied in Groenland waar de temperatuur zo laag blijft dat het aantal smeltdagen gelijk blijft.

7. Geef hiervoor twee oorzaken.

Stelling: “Als de gehele ijskap van Groenland smelt, zal de zeespiegel rond Groenland relatief dalen”

8. Geef twee argumentaties voor deze stelling.

Figuur 13 Daling van het veenoppervlak in laag Nederland in de laatste 1000 jaar.



Gebruik figuur 13.

9. Geef aan met hoeveel meter:

- de zeespiegel is gestegen tussen het jaar 1000 en het jaar 2000
- het veenoppervlak is gedaald tussen het jaar 1000 en het jaar 2000

Gebruik figuur 13.

10. In welke periode van tweehonderd jaar is het veenoppervlak het sterkst gedaald?

Leg uit waardoor die daling is veroorzaakt.

Les 4

Onderzoek in de poolgebieden

De meeste poolexpedities vinden plaats in de zomer, omdat het in de winter continu donker is en alles bedekt is met sneeuw en ijs. In de zomer zijn de dagen in de poolgebieden lang en kan het soms aangenaam warm zijn. Je kunt dan genieten van prachtige vergezichten, landschappen en de unieke flora en fauna. De eerste poolexpedities waren barre tochten waarbij nogal wat mensen zijn omgekomen. Door betere technieken, warmere kleren en meer geavanceerde communicatiemiddelen zijn gevaren en risico's in poolgebieden nu veel minder groot. Met behulp van satellietwaarnemingen is nu bijvoorbeeld goed te zien waar ijs ligt en hoe dik het is, waardoor het mogelijk is om de beste vaarroute uit te stippelen.

Het noordpoolgebied is immens groot en er zijn heel veel verschillende gebieden waar je interessant onderzoek kunt doen. Van het noordpoolgebied weten we verhoudingsgewijs weinig. Pas de laatste decennia is er meer onderzoek gedaan. Hieronder vind je meer informatie over onderzoek dat verricht is in vier gebieden (zie figuur 14), waarvan drie met ongeveer dezelfde breedteligging.

In 1596/1597 was er al een beroemde Nederlandse expeditie in het noordpoolgebied.

1. Geef:

- de naam van de leider van deze expeditie;
- twee topografische namen (zie atlaskaart 130) die een relatie hebben met deze expeditie.

Figuur 14 De locaties van de vier onderzoeksgebieden

1 Abisko in Noord-Zweden

(68° N.B. en 19° O.L)

2 Mackenzie rivierdelta in Canada

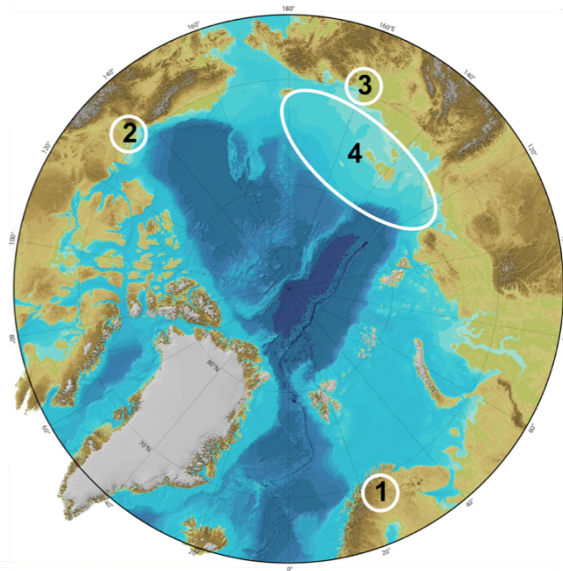
(68° N.B. en 134° W.L)

3 Kolyma Rivier in Rusland

(68° N.B. en 161° O.L)

4 Laptevzee en Oost-Siberische Zee in Rusland

(±75° N.B. en tussen 120°-180° O.L.)



1. Abisko in Noord-Zweden

Abisko is een klein dorp in Zweeds Lapland gelegen aan de oevers van het Torneträskmeer. Hier bevindt zich een wetenschappelijk onderzoeksstation dat al sinds 1913 gegevens verzamelt over het klimaat, permafrost en ecologie in de omgeving. Dit gebied is bijzonder omdat het in de buurt ligt van de 0°C isotherm (zie atlaskaart 219A/195A 53° druk). De gemiddelde jaartemperatuur ligt hier dus precies tussen vriezen en dooien in. Een kleine opwarming van het klimaat kan hier voor grote veranderingen zorgen en dit is precies wat er hier de laatste decennia gebeurt. Ijs op het Torneträskmeer verschijnt nu later in het jaar en smelt eerder dan aan het begin van de vorige eeuw. Ook wordt de jaarlijkse opdooihoogte steeds dikker en schuift de boomgrens langzaam op richting het noorden.

Door op deze makkelijk bereikbare plek (er rijdt een trein heen!) veranderingen te meten, kunnen we voorspellen wat de effecten van klimaatverandering in andere gebieden zullen zijn.

Foto 1 (Peter Rosén)

Op het Vuolep Njakajauremeer, een paar kilometer ten zuiden van Abisko, wordt een boorkern geplaatst waarmee we meersediment kunnen verzamelen. Door sediment van verschillende dieptes uit het meer te analyseren kunnen we terug in de tijd kijken en onderzoeken hoe het meer en de omgeving zijn veranderd.

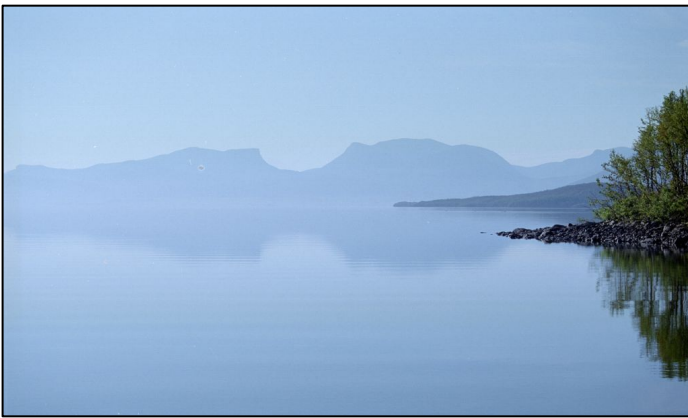


Foto 2 (Matthias Zeeman)

Het Torneträskmeer is een prachtig langgerekt bergmeer in het noorden van Zweden. Het is ongeveer zo groot als het Waddeneiland Vlieland en is het grootste bergmeer van Scandinavië. Doordat gletsjers het meer hebben uitgediept is het op sommige plaatsen wel 170 m diep. Op de achtergrond zie je de “poort van Lapland”.

Abisko (zie atlaskaart 106 F1) ligt op ongeveer dezelfde breedte als de onderzoeksgebieden 2 en 3 (zie figuur 14). Toch is de gemiddelde jaartemperatuur in Abisko veel hoger.

2. Leg dit uit met behulp van de atlas. Geef tevens het nummer van de atlaskaart die het meest geschikt is om dit aan te tonen.

3. In welk jaargetijde is foto 1 genomen? Geef twee aanwijzingen voor je keuze.

Foto 2 vertoont sporen van de laatste ijstijd.

4. Geef:

- hiervan een voorbeeld;
- aan waarom je dit voorbeeld gekozen hebt.

2. Mackenzie rivierdelta in Canada

De rivier de Mackenzie stroomt door de Northwest Territories van Canada en heeft een stroomgebied dat tien keer zo groot is als dat van de Rijn. Elk jaar zet de Mackenzie sediment in de vorm van modder/slib af in de delta en in de Beaufortzee. De hoeveelheid sediment die de Mackenzie naar zee brengt is ongeveer 124 miljoen ton per jaar. Dit is gelijk aan het gewicht van 31 miljoen volwassen olifanten! Eind mei smelt alle sneeuw en ijs in het stroomgebied, waardoor de Mackenzie in korte tijd heel veel water moet afvoeren. Hierdoor treedt de rivier buiten haar oevers en overstroomt de hele delta. Dit is heel spectaculair om te zien. In de delta liggen veel kleine meren die elk jaar een nieuw laagje sediment ontvangen tijdens de smeltwaterperiode. Ook heur nemen we boorkernen van het meersediment om te zien wat de invloed van de huidige klimaatverandering is op de Mackenzie Rivier. Je kunt bijvoorbeeld zien of er nu meer sediment

wordt afgevoerd dan vroeger. Ook kunnen we de ouderdom van het organisch materiaal meten, en zien of het sediment nu ouder is dan vroeger omdat er nu diepere (oudere) bodemlagen ontdooien waarvan het materiaal in de rivier belandt.

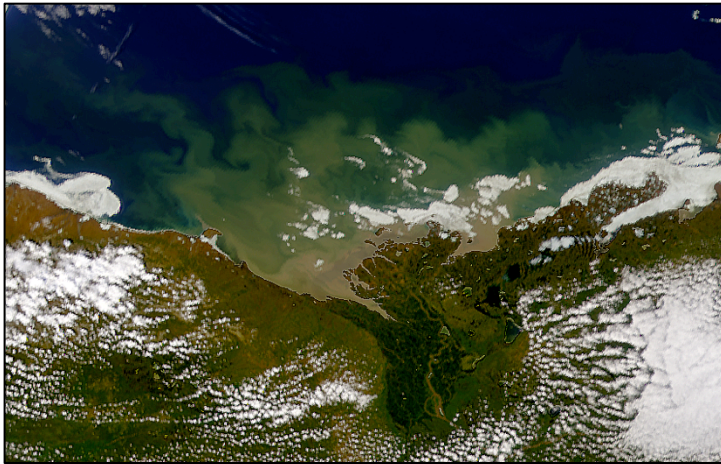


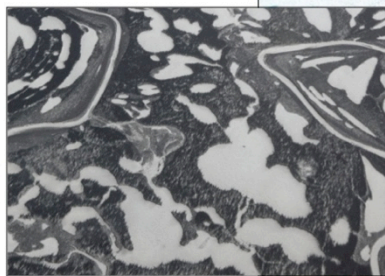
Foto 3 (www.visibleearth.nasa.org)

De Mackenzie Rivier voert jaarlijks meer sediment naar de Noordelijke IJszee dan alle andere Arctische rivieren bij elkaar. Tot half juni ligt de zee nog vol met pakij. Op deze foto is al het ijs verdwenen.

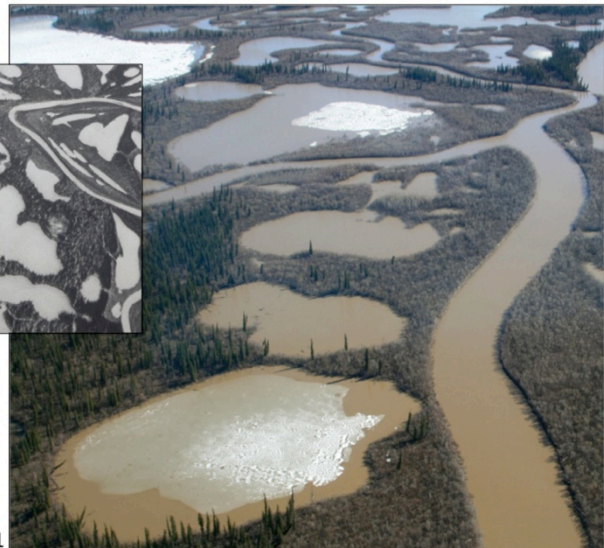
Veranderingen in het stroomgebied van de Mackenzie kunnen de hoeveelheid sediment beïnvloeden. Op de foto is sediment van de Mackenzie te zien in de Beaufortzee.

Foto 4a en 4b (Jorien Vonk)

Hier zien we een klein stukje van de uitgestrekte Mackenzie- delta waar meer dan 45000 meertjes in de lente overstroomd en worden overladen met bruin riviersediment (foto 1 juni). Slechts kort daarvoor (foto 15 mei) was al het water nog met dik ijs bedekt. Kleine zijriviertjes verbinden veel van deze meertjes met elkaar.



15 mei 2011



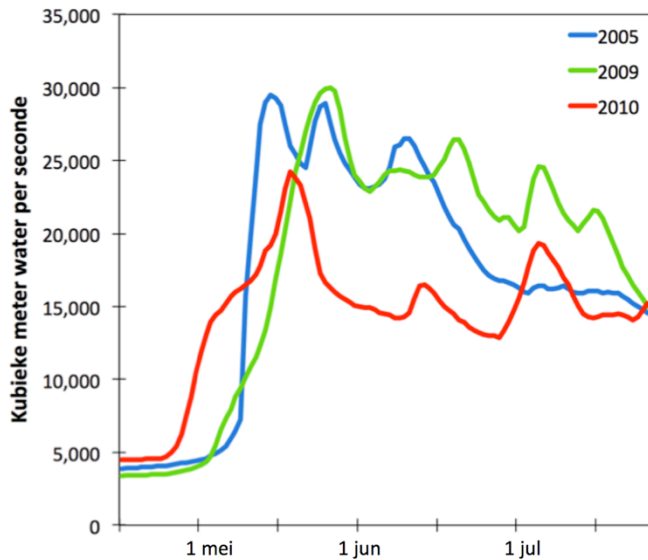
1 juni 2011



Foto 5 (Jorien Vonk)

Met grote plastic zakken (1) worden monsters genomen van het water. Op deze foto is het rivierwater onder het ijs helder. Een paar weken later is het rivierwater door het vele sediment heel troebel (2). Als het rivierwater weer zakt, laat het zijn sediment in laagjes op de oever en in meertjes achter (3). Deze meren bemonsteren we met een helikopter (4) die is uitgerust met drijvers zodat we op water kunnen landen.

Figuur 15 Het debietverloop van de Mackenzie in 2005, 2009 en 2010 van 15 april tot 31 juli.



Gebruik figuur 15.

Het debietverloop van de Mackenzie verschilt sterk per jaar. Dit wordt onder andere veroorzaakt door ijsblokkades in de rivier.

5. Geef:

- twee andere oorzaken voor de verschillen in het debietverloop;
- de reden waarom het debietverloop niet over een heel jaar wordt weergegeven.

Gebruik figuur 15 en atlaskaart 44C (50C 53^e druk)

Het debietverloop van de Rijn verschilt van het debietverloop van de Mackenzie.

6. Noem twee verschillen.

In het deltagebied van de Mackenzie stijgt de zeespiegel niet ten opzichte van het land.

7. Leg dit uit met behulp van foto 3.

3. Kolyma Rivier in Rusland

De Kolyma (zie atlas) in Noordoost Siberië is de grootste rivier op aarde waarvan de bodems in het stroomgebied volledig uit permafrost bestaan. Hier vinden we yedoma permafrost.

Langs de oevers van de Kolyma ligt yedoma op sommige plekken aan de oppervlakte. Als de bovenlaag ontdooit, smelten de gigantische ijswiggen (zie foto 7) in de yedoma en storten de rivieroevers in. Tegelijkertijd ontdooit het organisch materiaal tussen de ijswiggen; het gaat rotten en wordt afgebroken door bacteriën die het in broeikasgassen kunnen omzetten. Ook belandt er veel organisch materiaal van yedoma in de Kolyma waar het verder wordt afgebroken en wordt afgevoerd naar zee. Een gedeelte van de ontdooide yedoma belandt dan op de zeebodem, waar het veel minder snel in broeikasgassen wordt omgezet.

Foto 6 (Jorien Vonk)

In het toendra- en taigagebied kan het in de zomer wemelen van de muggen. Dit komt omdat er veel stilstaand water is door het smelten van sneeuw en ijs. Als je ongestoord wilt kunnen werken, moet je speciale muggen-beschermende kleding dragen.



Foto 7 (Jorien Vonk)

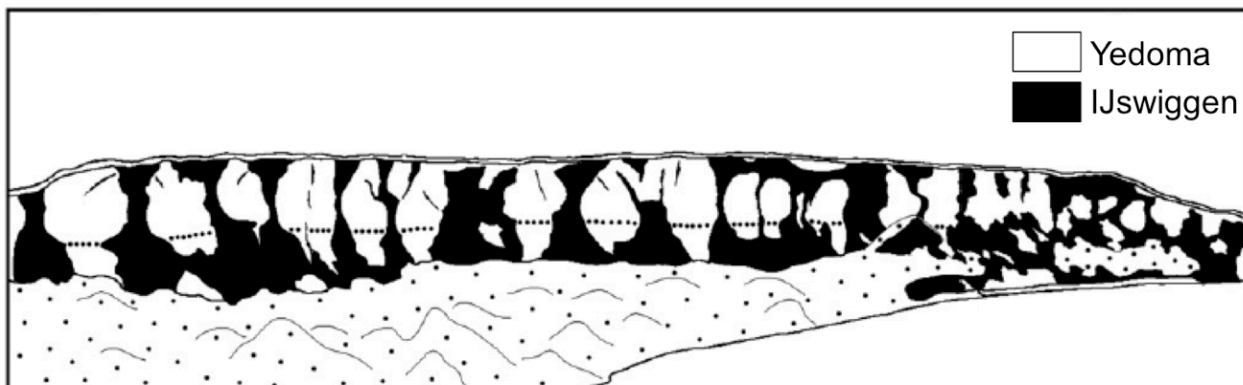
Hier zien we een rivieroever die bestaat uit yedoma permafrost. De pyramidevormige modderbergjes blijven over als het ijs eromheen is weggesmolten. Yedoma bevat enorm veel ijs dat als ijswiggen in de grond zit en gevormd is in vorstscheuren die zich jaar in jaar uit met smeltwater vullen en in de winter weer bevroren.



Foto 8 (Jorien Vonk)

Als de yedoma permafrostkliffen ontdooien, vormen de modder en het gesmolten ijs samen modderstroompjes. Na verloop van tijd vormen deze stroompjes kleine delta's. We doen hier metingen om te kijken hoe snel het organisch materiaal in de dooiende yedoma kan worden omgezet in broeikasgassen.

Figuur 16 Een rivieroever die bestaat uit yedoma permafrost met veel ijswiggen



Gebruik de foto's 6, 7 en 8.

De omstandigheden om (in de zomer) onderzoek te doen langs de rivier de Kolyma zijn zwaar.

8. Geef daarvoor drie redenen.

Gebruik foto 7, foto 8 en figuur 16.

Langere gedeelten van de rivieroever langs de Kolyma ontdooien door klimaatverandering.

9. Beschrijf het proces van afbraak, transport en sedimentatie van yedoma als oevers ontdooien.

Gebruik atlaskaart 224 (198 53^e druk)

In de Arctische gebieden bevinden zich uitgestrekte toendra's. Als het klimaat warmer wordt verdwijnt de toendravegetatie in bepaalde gebieden.

10. Welke vegetatiezone komt daarvoor in de plaats?

4. Laptevzee en Oost-Siberische Zee in Rusland

Het continentaal plat onder de Laptev en de Oost-Siberische Zee is het grootste continentale plat ter wereld. Tijdens de laatste ijstijd was een groot deel van dit gebied land. De gemiddelde waterdiepte van deze kustzeeën is hier ongeveer 50 meter. De aangrenzende kustlijn is circa 7000 km lang en bestaat voor een groot deel uit permafrostkliffen die door opwarming en watererosie langzaam in zee verdwijnen. Dit klifmateriaal verspreidt zich over het continentale plat.

Onder de zeebodem (zie les 2) zit ook permafrost. De lucht boven de Laptevzee en de Oost-Siberische Zee warmt twee tot drie keer sneller op dan in andere gebieden op aarde. Dit heeft grote gevolgen voor de hoeveelheid zee-ijs maar zorgt ook voor een versnelde dooi en erosie van permafrost. Er worden hier veel verschillende soorten onderzoek gedaan, bijvoorbeeld naar de dooi van zeebodem-permafrost, naar de snelheid van kusterosie en naar veranderingen in weerpatronen door de vermindering van het zee-ijs. Ook wordt er onderzoek gedaan naar wat er met het continentale plat is gebeurd na de laatste ijstijd.

Foto 9

(www.visibleearth.nasa.org)

Hier zien we het westelijke deel van de kustlijn van de Oost-Siberische Zee. De wolken bedekken een deel van de satellietfoto, maar je kunt grote pluimen sediment zien die in de zee voor de kust worden afgezet. Dit is sediment afkomstig van de ontdooiende permafrost-kliffen.

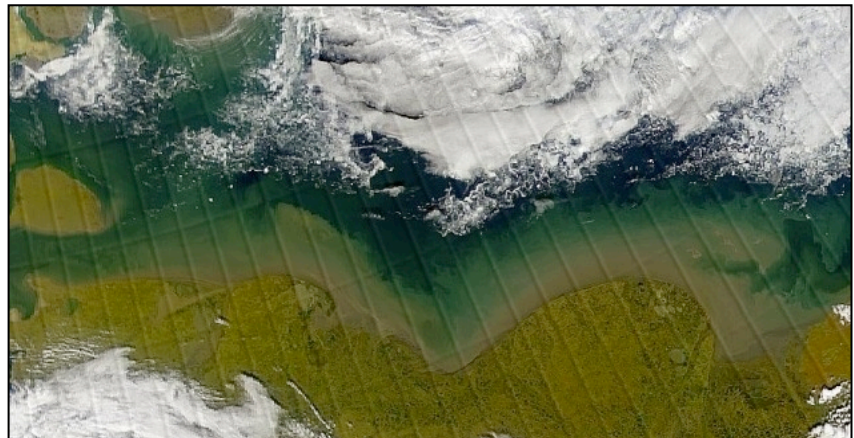


Foto 10 (Igor Semiletov)

Muostakh is een klein eiland in de Laptev Zee, dat elk jaar kleiner wordt. De gemiddelde erosiesnelheid gedurende de laatste 40 jaar was ongeveer 2 meter per jaar, maar dit ligt nu rond de 5 meter per jaar. Het afslaan van de kust gaat nu veel sneller omdat er steeds meer dagen zijn met temperaturen boven 0°C. Daarnaast is er steeds minder zee-ijs waardoor de golven nu gedurende langere periodes de kustlijn kunnen afslaan.

Foto 11 (Jorien Vonk)

Met een ijsbreker kun je ver de met ijs bedekte Noordelijke IJszee op om metingen te doen. Hier gebruiken we een apparaat met acht boorkernbuizen waarmee we sediment van de zeebodem verzamelen. In de laboratoria op het schip en op land kunnen we hier gedetailleerd onderzoek naar doen. We onderzoeken hoeveel ontdooide yedoma permafrost op de zeebodem ligt. Ook kunnen we aan de hand van moleculen afkomstig van ijsalgen te weten komen wanneer er in dit gebied in het verleden ijs lag.

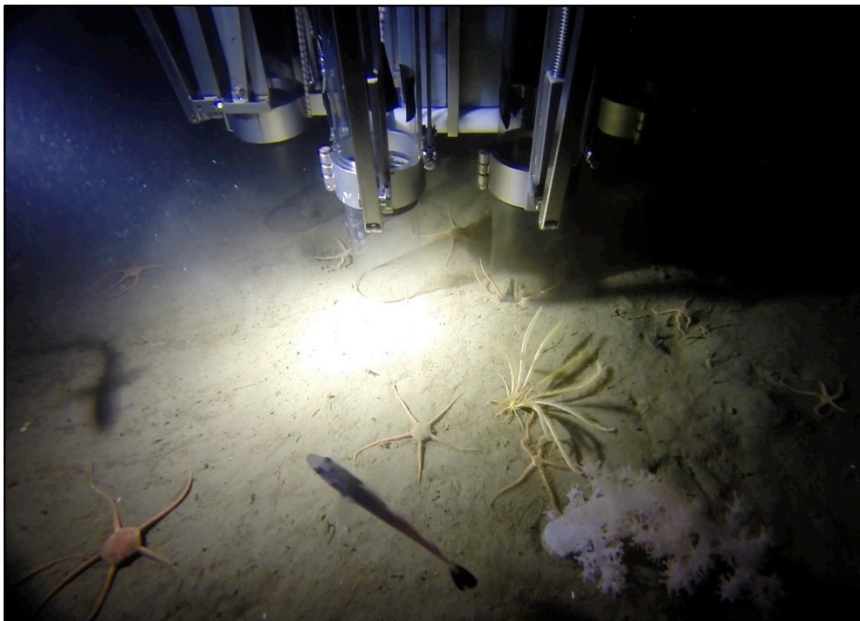


Foto 12 (Pete Hill/Jorien Vonk)

Dit is de zeebodem op 200 m diepte in de noordelijke Laptev Zee. Met een onderwatercamera kunnen we zien hoe ons apparaat sediment op de zeebodem verzamelt. Zoals je kunt zien, is er een rijk bodemleven!

Het warmer worden van het klimaat verhoogt de kusterosie langs Laptevzee en de Oost-Siberische Zee.

11. Geef daarvoor twee oorzaken.

Gebruik atlaskaart 220D (217C 53° druk)

De verwachting is dat de hoeveelheid neerslag in Siberië zal toenemen.

12. Geef een redenering voor deze toename.

Bronvermelding figuren

Les 1: Klimaatverandering in het noordpoolgebied

1. Illustratie gemaakt door Jorien Vonk, op basis van ACIA rapport (Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, 2004)
2. Illustratie gemaakt door Jorien Vonk, op basis van ACIA rapport (Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, 2004)
3. National Sea and Ice Data Center, door C. Fowler en J. Maslanik, University of Colorado (Verenigde Staten)
4. Richter-Menge, J., M.O. Jeffries and J.E. Overland, Eds., 2011: Arctic Report Card 2011, <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>. Figuur verkregen via NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder, Verenigde Staten.

Les 2: Permafrost

5. Kaart samengesteld door Jorien Vonk met:
Achtergrond kaart: Permafrost extent in Northern Hemisphere (juni 2007), in UNEP/GRID-Arendal Maps & Graphics Library. www.maps.grida.no
Yedoma contour: uit Romanovsky, N.N., 1993. Fundamentals of the Cryogenesis of the Lithosphere. University Press, Moscow, pp. 1–336
Zeebodem permafrost contour: uit ACIA rapport (Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, 2004)
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ag.html>
7. Diagram boven: www.geocaching.com/geocache/GC15W99_pingoruine-op-de-kampsheide
Foto linksonder: lbyuk, de hoogste pingo in Canada vlakbij Tuktoyaktuk
https://www.flickr.com/photos/adam_jones/9460732764/
Foto rechtsonder: <http://icecubicle.net/2010/03/24/phenom-pingos-of-the-far-north/>
8. Foto boven: Blootliggende yedoma klif, Duvannyi Yar aan de Kolyma Rivier (gemaakt door Jorien Vonk)
Foto linksonder: Thermokarst in Alaska (gemaakt door Andrew Balser)
Foto rechtsonder: North Slope Alaska (gemaakt door NASA)

Les 3: Klimaatverandering en zeespiegelstijging

9. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10h.html>
10. <http://www.lantmateriet.se/en/Maps-and-geographic-information/GPS-and-geodetic-surveys/Reference-systems/Postglacial-land-uplift/>
11. National Snow and Ice Data Center/ T. Mote, University of Georgia
12. National Snow and Ice Data Center/ T. Mote, University of Georgia
13. Bosatlas van Nederland Waterland, Noordhoff uitgevers Groningen, 2010

Les 4: Poolexpedities

14. International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO), versie 3.0, 2012 (Jakobsson et al., Geophysical Research Letters, 39, 2012)
15. Data van Arctic RIMS (Regional Integrated hydrological Monitoring System for the pan-Arctic land mass) <http://rims.unh.edu>
16. Figuur afkomstig uit: Kanevskiy, Shur, Fortier, Jorgenson and Stephani (2011) Cryostratigraphy of late Pleistocene syngenetic permafrost (yedoma) in northern Alaska, Itkillik River exposure, Quaternary Research 75, 584-596.