

Secondary
11-14



onderwijsmiddelenpakket

EEN DOORVAART OPENT

Arctisch zee-ijs en klimaatverandering

docentenhandleiding
en werkbladen voor studenten



Overzicht	pagina 3
Samenvatting van de activiteiten	pagina 5
Climate from Space	pagina 7
Zee-ijs en klimaat: achtergrondinformatie	pagina 8
Activiteit 1: HOE SNEL SMELT HET ZEE-IJS?	pagina 10
Activiteit 2: OCEAANTEMPERATUUR EN IJSMELTSNELHEID	pagina 13
Activiteit 3: DE NOORDWESTELIJKE DOORVAART	pagina 17
Leerlingen werkblad 1	pagina 21
Leerlingen werkblad 2	pagina 24
Leerlingen werkblad 3	pagina 27
Informatieblad 1	pagina 30
Informatieblad 2	pagina 33
Informatieblad 3	pagina 36
Links	pagina 37
Bijlage: WIST JE DAT?	pagina 38

Lespakket in het kader van het klimaatveranderingsinitiatief – EEN DOORVAART
OPENT <https://climate.esa.int/nl/educate/>

Activiteit concepten ontwikkeld door de Universiteit Twente (NL) en
het Nationaal Centrum voor Aardobservatie (VK)

Het klimaatbureau van ESA verwelkomt feedback en commentaar
<https://climate.esa.int/nl/helpdesk/>

Geproduceerd door het ESA-klimaatbureau
Copyright © Europese Ruimtevaartorganisatie 2020

EEN DOORVAART OPENT: Overzicht

Noordpoolzee-ijs en klimaatverandering

Korte feiten

Vakken: Aardrijkskunde, Aardwetenschappen, Natuurkunde, Scheikunde

Leeftijdsgroep: 11–14 jaar

Type: lezen, wiskundige modellering, gegevensanalyse; discussie

Complexiteit: gemiddeld tot hoog

Benodigde lestijd: 4 uur

Kosten: Laag (0–20 euro)

Locatie: binnen

Inclusief het gebruik van: Internet, spreadsheet software

Trefwoorden: zee-ijs, klimaatverandering, Arctische versterking, latente warmte, albedo, satelliet

Korte beschrijving

In deze reeks activiteiten zullen de leerlingen ontdekken welke belangrijke rol het Arctische zee-ijs speelt in het klimaatsysteem van de aarde in de context van de Noordwestelijke Doorvaart.

De eerste activiteit is een wiskundig onderzoek naar de smeltsnelheid van zee-ijs om te illustreren wat bedoeld wordt met Arctische versterking.

Een praktisch onderzoek biedt de gelegenheid om te bespreken hoe modellen in de wetenschap worden gebruikt en na te denken over de moeilijkheden om de effecten van klimaatverandering te meten en te voorspellen.

De leerlingen gebruiken vervolgens de Climate from Space web applicatie om seizoensgebonden en langetermijntrends in de omvang van het zee-ijs en de temperatuur van het zeeoppervlak te onderzoeken.

Beoogde leerresultaten

Na het doorlopen van deze activiteiten kunnen de leerlingen:

Uitleggen hoe het verschil in albedo van ijs en oceaan leidt tot Arctische versterking en de invloed hiervan op klimaatverandering.

Een wiskundig model gebruiken om het effect van verschillende omstandigheden op het smelten van zee-ijs te onderzoeken.

Een experimenteel model relateren aan de werkelijke wereld en het model evalueren.

Beelden analyseren om gegevens over het smelten van ijs te verkrijgen.

De uitdagingen bespreken van het verzamelen van gegevens voor het beschrijven en voorspellen van de effecten van klimaatverandering.

De Climate from Space web applicatie gebruiken om de veranderingen in het Noordpoolgebied te onderzoeken.

Veranderingen in het seizoenspatroon van de omvang van het zee-ijs relateren aan veranderingen in de temperatuur van het zeeoppervlak.

Oorzaken voor veranderingen op verschillende tijdschalen voorstellen.

Samenvatting van de activiteiten

	Titel	Beschrijving	Resultaat	Vereiste kennis	Tijd
1	Hoe snel smelt het zee-ijs?	Inleidend verhaal gevolgd door een wiskundig onderzoek naar de smeltsnelheid.	Uitleggen hoe het verschil in albedo van ijs en oceaan leidt tot Arctische versterking en de invloed hiervan op klimaatverandering. Gebruik een wiskundig model om het effect van verschillende omstandigheden op het smelten van zee-ijs te onderzoeken.	De leerlingen moeten vertrouwd zijn met het principe van behoud van energie	1 uur
2	Temperatuur van de oceanen en smeltsnelheid van het ijs	Praktische activiteit waarbij met een smartphone een model wordt gemaakt van het gebruik van een satelliet om de omvang van het zee-ijs te volgen.	Relateer een experimenteel model aan de echte wereld en het model evalueren. Beelden analyseren om gegevens te verkrijgen over het smelten van ijs. De uitdagingen bespreken van het verzamelen van gegevens om de effecten van klimaatverandering te beschrijven en te voorspellen.	Geen	2 uur
3	De Noordwestelijke Doorvaart	Onderzoek van langetermijngegevens over zeeijs en de temperatuur van het zeeoppervlak in het Noordpoolgebied.	Gebruik de Climate from Space web applicatie om de veranderingen in het Noordpoolgebied te onderzoeken. Relateer veranderingen in het seizoenspatroon van het zee-ijs aan veranderingen in de temperatuur van het zeeoppervlak. Redenen aandragen voor veranderingen op verschillende tijdschalen.	Geen	1 uur

De opgegeven tijden gelden voor de belangrijkste oefeningen, uitgaande van volledige IT toegang en/of dat herhalende berekeningen en grafieken door de klas worden verspreid. De tijd voor het delen van de resultaten is meegerekend, maar niet de tijd voor de presentatie van de resultaten, want die varieert naar gelang van de grootte van de klas en de groepen. Alternatieve benaderingen kunnen meer tijd in beslag nemen.

Praktische aantekeningen voor leraren

Het **materiaal** dat nodig is voor elke activiteit staat aan het begin van het desbetreffende hoofdstuk, samen met aantekeningen over de voorbereiding die nodig kan zijn naast het kopiëren van werkbladen en informatiebladen.

De **werkbladen** zijn ontworpen voor eenmalig gebruik en kunnen in zwart-wit worden gekopieerd.

Informatiebladen kunnen grotere afbeeldingen bevatten die u in uw presentaties in de klas kunt invoegen, extra informatie voor de leerlingen, of gegevens waarmee zij kunnen werken. Deze hulpmiddelen kunnen het best in kleur worden afgedrukt of gekopieerd, maar kunnen worden hergebruikt.

Eventuele aanvullende **spreadsheets, datasets of documenten** die voor de activiteit nodig zijn, kunnen worden gedownload door de links naar dit pakket te volgen vanaf <https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>

Ideeën voor **uitbreiding** en suggesties voor **differentiatie** zijn op geschikte plaatsen in de beschrijving van elke activiteit opgenomen.

Ter ondersteuning van de **beoordeling** zijn werkbladantwoorden en voorbeeldresultaten voor praktische activiteiten bijgevoegd. Mogelijkheden om lokale criteria te gebruiken voor de beoordeling van kernvaardigheden zoals communicatie of gegevensverwerking zijn aangegeven in het relevante deel van de beschrijving van de activiteit.

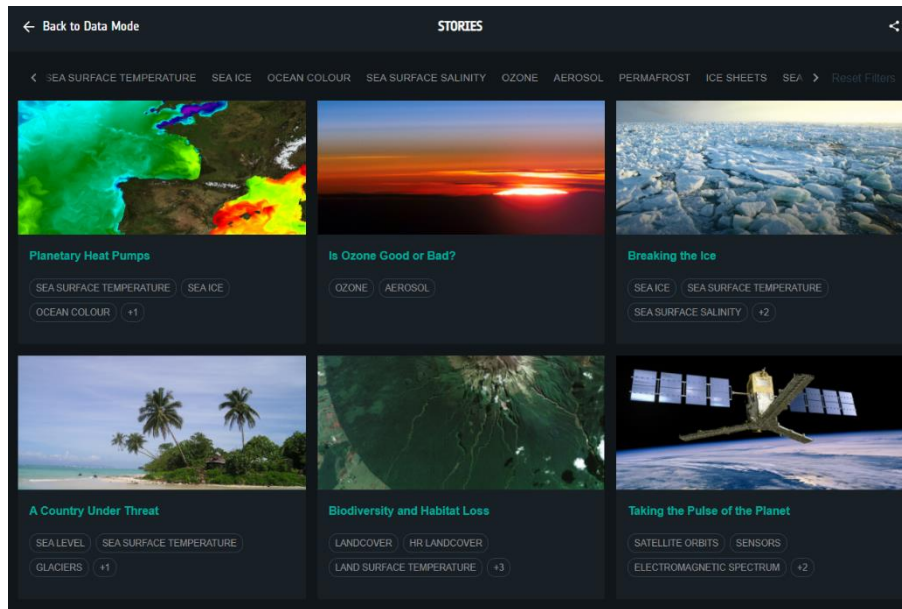
Gezondheid en veiligheid

Bij alle activiteiten zijn wij ervan uitgegaan dat u uw gebruikelijke procedures zult blijven volgen met betrekking tot het gebruik van gemeenschappelijke apparatuur (met inbegrip van elektrische apparaten zoals computers), beweging binnen de leeromgeving, struikelen en morsen, eerste hulp, enzovoort. Aangezien de noodzaak van deze procedures universeel is, maar de details van de tenuitvoerlegging ervan aanzienlijk verschillen, hebben wij ze niet telkens opgesomd. In plaats daarvan hebben we de gevaren belicht die specifiek zijn voor een bepaalde praktische activiteit, zodat u uw risicobeoordeling mede daarop kunt baseren.

Bij sommige van deze activiteiten wordt gebruik gemaakt van de Climate from Space web applicatie. Het is mogelijk om van hieruit naar andere delen van de ESA Climate Change Initiative-site en vandaar naar externe websites te navigeren. Als u de pagina's die de leerlingen kunnen bekijken niet kunt - of wilt - beperken, herinner hen dan aan de lokale veiligheidsregels voor internet

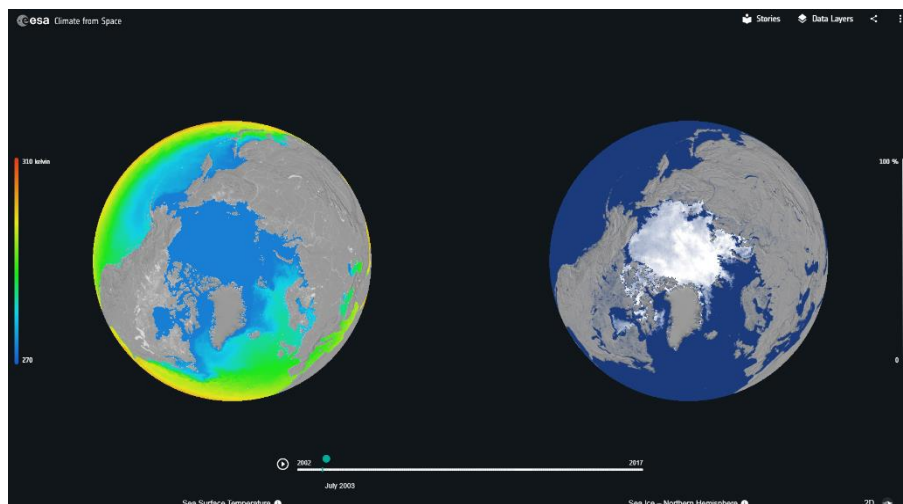
Climate from Space

ESA-satellieten spelen een belangrijke rol bij het monitoren van de klimaatverandering. Climate from Space (cfs.climate.esa.int) is een online-informatiebron die aan de hand van geïllustreerde verhalen een overzicht geeft van de manieren waarop onze planeet verandert en het werk van ESA-wetenschappers.



Figuur 1: Verhalen in Climate from Space (Bron: ESA CCI)

Het ESA klimaatveranderingsinitiatief produceert betrouwbare wereldwijde registraties van een aantal belangrijke aspecten van het klimaat die bekend staan als essentiële klimaatvariabelen (EKV's). Met de Climate from Space web applicatie kunt u meer te weten komen over de gevolgen van klimaatverandering door deze gegevens zelf te onderzoeken.



Figuur 2: Onderzoek van de temperatuur van het zeeoppervlak en de omvang van het zee-ijs in de "Climate from Space" web applicatie (Bron: ESA CCI)

Zee-ijs en klimaat: achtergrondinformatie

De cryosfeer in het klimaatsysteem

De term cryosfeer wordt gebruikt om alle gebieden op aarde aan te duiden waar water bevroren is - aan het oppervlak van de oceaan of op of onder het land. De cryosfeer is een van de vijf componenten van het klimaatsysteem (Figuur 3), en de toestand ervan is een van de dingen die het mondiale klimaat bepalen.

Water speelt een centrale rol in de cryosfeer en beïnvloedt het klimaat op verschillende manieren wanneer het verandert van vloeibaar (water) in vast (ijs) of vice versa. Bevriezing geeft warmte af aan de omgeving en dooi absorbeert warmte uit de omgeving.

De aangroei van zee-ijs vertraagt elke winter de afkoeling van het Noordpoolgebied, en het smelten van zee-ijs is verantwoordelijk voor een geleidelijke stijging van de temperatuur naarmate de zomer vordert. Zee-ijs is dus een klimaatregelaar.



Figuur 3: Componenten van het klimaatsysteem (Bron: ESA)

Arctische versterking



Figuur 4: Kleurcontrast tussen zee-ijs en open oceaan (Bron: ESA)

De kleur van zee-ijs contrasteert sterk met die van de open oceaan, zoals blijkt uit de foto (Figuur 4) en dit heeft ook een invloed op het klimaat. Ijs en sneeuw hebben een hoog albedo (reflectiviteit) – zee-ijs kan tot 90% van het inkomende zonlicht weerkaatsen - dus slechts een klein deel van de energie van de zon die de aarde bereikt, is beschikbaar om oppervlakken die bedekt zijn met wit ijs of sneeuw te verwarmen. Het verdwijnen van zee-ijs betekent dat de aarde meer

energie van de zon absorbeert, waardoor de opwarming van de aarde versnelt en nog meer zee-ijs smelt. Dit positieve terugkoppelingsmechanisme wordt Arctische versterking genoemd. Zee-ijs houdt ook lucht vast, waardoor het een goede isolator is. Zoals een afdekking van een zwembad of een deken houdt het de zee eronder koeler dan het blootgestelde water en dit is een andere manier waarop het de opwarming van de Noordelijke IJszee vermindert.

Thermohaliene circulatie van de oceaan

Een andere, meer complexe rol van zee-ijis in het klimaatsysteem komt voort uit de rol die het speelt in de wereldwijde waterbeweging - de thermohaliene circulatie in de oceanen. Figuur 5 toont deze circulatie in de Atlantische Oceaan. Zout zeewater heeft een grotere dichtheid dan zoet water. Wanneer zeewater bevroert, blijft het zout achter in het niet bevroren water, waardoor de dichtheid verder toeneemt. Dit zoute water zinkt naar de oceaانبodem en drijft de grootschalige circulatie van koel Arctisch water in de richting van de tropen en warm water uit de tropen in de richting van het Arctische gebied.

Essentiële klimaatvariabelen

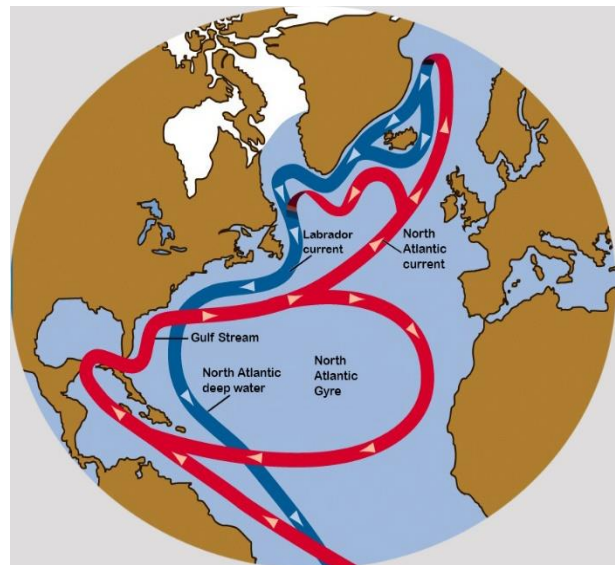
Wanneer over klimaatverandering wordt gesproken, hebben de meeste mensen het over het niveau van de opwarming van de aarde en zijn zij zich ervan bewust dat veel landen zich inspannen om deze onder 1,5 °C en ruim onder 2,0 °C te houden. Maar het beeld is niet zo eenduidig als deze ogenschijnlijk lage cijfers doen vermoeden.

Ten eerste verbergt het gemiddelde aanzienlijke regionale verschillen in de mate van opwarming en zal het Noordpoolgebied waarschijnlijk een bovengemiddelde temperatuurstijging laten zien.

Ten tweede gaat een focus op de temperatuur voorbij aan daarmee samenhangende veranderingen. De Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) somt 54 variabelen op die afhankelijk zijn van het klimaat op aarde en dit beschrijven. Deze fysische, chemische of biologische grootheden (of groepen van met elkaar verbonden variabelen) die op betrouwbare wijze kunnen worden gemeten, staan bekend als essentiële klimaatvariabelen (EKV's). Zee-ijis is één van deze grootheden vanwege de vele processen dat het klimaatsysteem beïnvloedt.

De Noordwestelijke Doorvaart

De Noordwestelijke Doorvaart is een scheepvaartroute tussen het vasteland van Canada en de Arctische eilanden, die de Atlantische Oceaan en de Stille Oceaan met elkaar verbindt. De route is korter dan de ijsvrije zuidelijke doorgangen, maar is zelden bevaarbaar geweest. De afname van het ijs op de Noordelijke IJzee als gevolg van de opwarming van de aarde kan de scheepvaart in staat stellen deze route regelmatig te gebruiken, maar het vrijmaken van de doorgang is een verontrustend signaal van veranderingen die niet alleen gevolgen hebben voor het Noordpoolgebied, maar voor het klimaatsysteem van de hele aarde.



Figuur 5: Oceanische thermohaliene circulatie in de Atlantische Oceaan. Rode lijnen geven warm water aan, blauwe lijnen koud water en de pijlpunten geven de richting van de stromingen aan. (Bron: ESA)

Activiteit 1: HOE SNEL SMELT HET ZEE-IJS?

Deze activiteit wordt ingeleid aan de hand van een korte geschiedenis van de Noordwestelijke Doorvaart om een context te bieden voor het onderzoeken van de rol van zee-ijs in het klimaatsysteem. Daarna worden de leerlingen door een berekening geleid waarbij gebruik wordt gemaakt van behoud van energie, het concept van albedo en smeltwarmte (waarbij de laatste twee worden uitgelegd) om een wiskundig model te ontwikkelen dat ze kunnen gebruiken om de Arctische versterking te onderzoeken.

Benodigheden

- Informatieblad 1 (3 pagina's)
- Leerlingen werkblad 1 (3 pagina's)
- Climate from Space web applicatie: 'Het ijs breken' verhaal (optioneel)
- Rekenmachine en/of toegang tot spreadsheet software
- Grafiekpapier

Oefening

1. Lees informatieblad 1 met de klas door of vraag de leerlingen het in groepjes te lezen. Zelfverzekerde lezers kunnen het informatieblad lezen als voorbereiding op de les, drie opvallende dingen noteren en minstens één vraag die ze willen stellen. Als u de tekst klassikaal leest of doorneemt, kunt u hem aanvullen met materiaal uit het Climate from Space verhaal "Het ijs breken". De meeste pagina's bevatten een reeks prachtige foto's van de regio. Meer toegespitste afbeeldingen om het lezen te ondersteunen zijn onder andere:
 - Slide 2 – een gravure van een vroege expeditie
 - Slide 3 – potentiële scheepvaartroutes op de pool en moderne schepen die door het zee-ijs varen
 - Slide 6 – Nuuk, de hoofdstad van Groenland
 - Slide 7 – een artistieke impressie van CryoSat 2, ESA's ijs satelliet missie.
2. Vraag de leerlingen werkblad 1.1 door te nemen. Dit laat zien hoe de snelheid van het smelten van zee-ijs op basis van basisprincipes kan worden bepaald door de leerlingen door de berekening voor twee verschillende scenario's te leiden. De berekening is samengevat in de volgende vergelijking:

$$m_i = \frac{3600P_{in}}{L_f} (1 - C\alpha_i + (1 - C)\alpha_w)$$

Grootheid	Symbol	Waarde	Eenheden
smeltsnelheid van het zee-ijs	m_i	te bepalen	kg m ⁻² uur ⁻¹
concentratie van zee-ijs	C	variabel	%
albedo van zee-ijs	α_i	0.85	–
albedo van open water	α_w	0.07	–
smeltwarmte van zee-ijs	L_f	3.3 x 10 ⁵	J kg ⁻¹
inkomende zonnestraling	P_{in}	variabel	W m ⁻²

3. Vraag de leerlingen deze methode te gebruiken om het effect van verschillende niveaus van inkomende zonnestraling en/of zee-ijsconcentratie op de smeltsnelheid te onderzoeken. Ze kunnen in groepjes geschikte waarden bepalen, of de waarden gebruiken die in de tabel op leerlingen werkblad 1.2 worden voorgesteld. Aangezien het onderzoek herhalende berekeningen heeft, kunnen de leerlingen de berekeningen in de groep verdelen of een spreadsheet opstellen om de berekeningen uit te voeren.
4. De vragen op leerlingen werkblad 1.2 bieden een structuur voor de bespreking van de onderzoeksresultaten.
Opmerking: De berekening houdt alleen rekening met de energie die door het zonlicht wordt geleverd en gaat ervan uit dat alle door het water geabsorbeerde energie aan het ijs wordt doorgegeven. U kunt de geldigheid van deze veronderstellingen bespreken en/of nagaan welk effect de wijziging ervan heeft op de resultaten.

Werkblad antwoorden en voorbeeldresultaten

Leerlingen werkblad 1.1

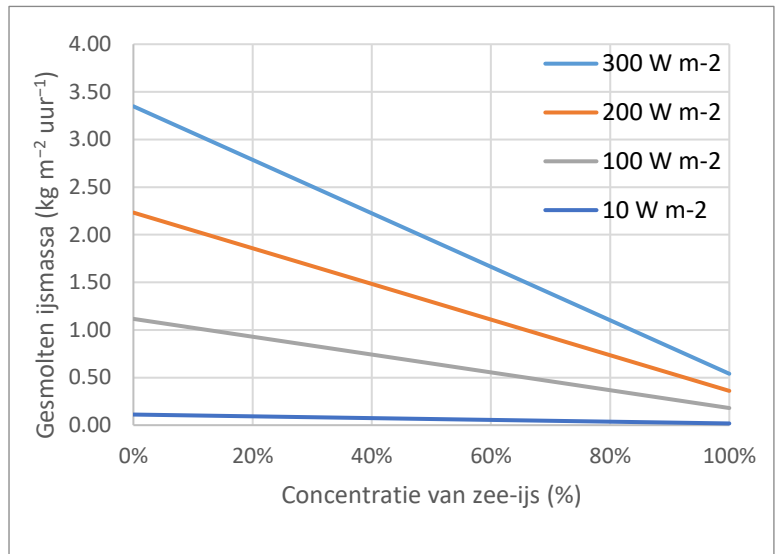
- | | | |
|--------------------------|--|----------------------------|
| 1. 1 080 000 J (1.08 MJ) | 5. a. (i) 0.7 or $\frac{7}{10}$ | (ii) 0.3 or $\frac{3}{10}$ |
| 2. 918 000 J | b. (i) 643 000 J | (ii) 22 700 J |
| 3. 162 000 J | c. 415 000 J | |
| 4. 0.491 kg | d. 1.26 kg m ⁻² uur ⁻¹ | |

Leerlingen werkblad 1.2

De resultaten op basis van de voorgestelde cijfers zijn weergegeven in onderstaande tabel en in Figuur 6.

Zonnestraling die het oppervlak bereikt / W m ⁻²	Smeltsnelheid / kg m ⁻² uur ⁻¹			
	Concentratie van zee-ijs			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	0.491	1.26	2.02	2.79
200	0.327	0.838	1.35	1.86
100	0.164	0.419	0.674	0.929
10	0.0164	0.0419	0.0674	0.0929

1. Juni
2. De smeltsnelheid neemt toe naarmate de concentratie afneemt.
3. Zie informatieblad 1. Kan een verwijzing bevatten naar: verminderde reflectiviteit of Arctische versterking en/of feedbackloop; verhoogde energieoverdracht tussen oceaan en atmosfeer; veranderende oceaancirculatie enz.



Figuur 6: Smeltsnelheid afgezet tegen zee-ijsconcentratie voor verschillende zonnestralingniveaus (Bron: ESA CCI)

Activiteit 2: OCEAANTEMPERATUUR EN IJSMELTSNELHEID

In deze activiteit onderzoeken leerlingen het effect van veranderende oceaantemperaturen op het smelten van ijs met behulp van een smartphone of tablet om een satelliet te modelleren die zee-ijs in de gaten houdt. De latere delen van de activiteit zijn open en bieden u de kans om de wetenschappelijke en wiskundige basisvaardigheden te beoordelen en de meer bekwame leerlingen uit te dagen om te bespreken wat hun onderzoek onthult over de moeilijkheden om betrouwbare klimaatgegevens te verzamelen om veranderingen te modelleren.

Benodigdheden

Elke groep heeft nodig:

- Een bekeerglas, klein dienblad of kom
- Drie of vier kralen of knopen van verschillende kleuren
- Speelklei om de stiften op hun plaats te houden
- Minstens drie ijsblokjes of blokken van vergelijkbare grootte van gekleurd water
- Bekerglas of kan
- Warm en koud water
- Een thermometer
- Smartphone of tablet met een camera
- Een stapel boeken of een blok van hout om de telefoon/tablet te steunen
- Een klok of timer (de klok van de klas is voldoende)
- Handdoeken voor natte handen en om eventueel gemorste vloeistof op te ruimen

De leerlingen hebben ook nodig:

- Een kopie van werkblad 2 (3 pagina's) voor elke leerling
- Toegang tot beeldverwerkingssoftware waarmee ze vertrouwd zijn
- Printer (optioneel)
- Acetaatplaten bedrukt met een raster (optioneel)
- Geruit papier (optioneel)
- Calqueerpapier (optioneel)

Opmerking: Als er niet meerdere apparaten beschikbaar zijn, kunnen de praktische onderdelen van deze activiteit als een demonstratie worden uitgevoerd. De output van de telefoon kan in real time op een scherm worden weergegeven of afbeeldingen kunnen worden getoond of afgedrukt voor latere analyse. (Zie ook Voorbeeldresultaten).

Vorbereiding

Het is een goed idee om dit practicum van tevoren uit te proberen om uit te vinden wat de beste hoogte en positie voor een telefoon is en/of hoe lang het duurt voordat het ijs dat u van plan bent te gebruiken in uw klas met water van verschillende temperaturen tot een merkbare mate smelt. Het gebruik van standaard ijsblokjes in

bekers met water geeft snelle resultaten, maar de kleine oppervlakten kunnen moeilijk te meten zijn. Zie de voorbeeldresultaten hieronder voor een indicatie van de te verwachten tijd.

Gezondheid en veiligheid

Zorg ervoor dat alle apparatuur stabiel staat en niet over de rand van de tafels uitsteekt.

Zorg ervoor dat er materiaal beschikbaar is om gemorste vloeistof op te ruimen.

Oefening

1. Het verhaal dat gebruikt werd om de vorige activiteit in te leiden vermeldde het gebruik van satellieten om de omvang van het zee-ijs te volgen. Vraag de leerlingen na te gaan hoe de opstelling beschreven op leerlingens werkblad 2 model staat voor deze activiteit.
De kom met water is de oceaan, het ijs stelt zee-ijs voor, de kralen zijn GPS referentiepunten (of dingen die op één plaats blijven en gemakkelijk vanuit de ruimte kunnen worden gezien zoals steden of landtongen), de camera is de sensor op de satelliet. Merk op dat de metingen worden verricht door aardobservatiesatellieten in een lage baan om de aarde. De satellieten passeren een gebied met regelmatige tussenpozen, zodat het van tijd tot tijd foto's maken een beter model is dan video-opnamen. (Stilstaande beelden zijn ook gemakkelijker te analyseren!)
2. In de vorige activiteit werd het effect van verschillende hoeveelheden zonlicht op de smeltsnelheid onderzocht. Maar wat gebeurt er als de temperatuur van de oceaan verandert? De leerlingen zullen ongetwijfeld veronderstellen dat warmer water de smeltsnelheid zal verhogen, maar hoe groot is het effect daarvan? Ze gaan dit model gebruiken om enkele van de moeilijkheden te onderzoeken waarmee wetenschappers te maken krijgen wanneer ze deze vraag proberen te beantwoorden.
3. Laat de leerlingen de gegevens verzamelen volgens de instructies op het werkblad. Ze hoeven geen exact gelijke intervallen te gebruiken of de tijden te noteren, aangezien ze deze gegevens uit het beeldbestand kunnen halen. Als er weinig tijd is, kunt u elke groep vragen één enkele reeks metingen te verrichten en verschillende temperaturen aan verschillende groepen toe te wijzen. De methode vraagt de leerlingen alleen begin- en eindmetingen van de temperatuur van het water te verrichten en deze te gebruiken om een gemiddelde te berekenen. Hierin zitten verschillende veronderstellingen verborgen die u misschien met meer bekwame leerlingen wilt bespreken en die kunnen leiden tot verder onderzoek met een temperatuursensor aangesloten op een datalogger. Met minder begaafde leerlingen daarentegen kunt u misschien volstaan met een beschrijving van de watertemperatuur en/of u concentreren op de tijd die het blok nodig heeft om te smelten in elk van de gevallen.

4. Op de tweede bladzijde van het werkblad wordt de leerlingen gevraagd te bespreken hoe je de oppervlakte van ijs meet. Aangezien het de bedoeling is vergelijkingen te maken, maakt het niet uit welke eenheden worden gebruikt, zolang ze maar telkens dezelfde zijn. Misschien wilt u de minder vaardige leerlingen materiaal (of zelfs technieken) laten zien om te kunnen gebruiken, of de meer bekwame leerlingen uitdagen door de oppervlakte in cm^2 te bepalen door preciezer metingen uit te voeren en hun afbeeldingen te schalen. (Als u van plan bent dit te doen, zou het goed zijn als de leerlingen bij minstens één foto een liniaal gebruiken).'

Mogelijke methoden omvatten, maar zijn niet beperkt tot:

- Druk plaatjes af en trek de omtrek van het ijsblok over op ruitjespapier (of knip het ijsblok uit en teken rond de uitsnede).
 - Gebruik een acetaatvel bedrukt met een raster als overlay op gedrukte afbeeldingen.
 - Het maken van een transparante rasterlaag in beeldbewerkingssoftware (bijvoorbeeld door ruitjespapier te scannen en vervolgens de achtergrond te verwijderen) en deze op de foto te leggen.
 - Gebruik een geschikt selectiegereedschap om het blok in beeldverwerkingssoftware te omlijnen en noteer de afmetingen van de omringende vorm om de oppervlakte te berekenen (als alternatief kan de software het aantal vierkante pixels in een ingesloten gebied weergeven).
5. Het werkblad vraagt de leerlingen de oppervlakten in een geschikte tabel te noteren, ze in een geschikte grafiek weer te geven en het getoonde patroon te beschrijven. Dit is dus een gelegenheid om de vaardigheden van de leerlingen om met gegevens om te gaan te toetsen aan de plaatselijke criteria, en om de nodige ondersteuning te geven, afhankelijk van de vaardigheden van elke groep. Leerlingen die moeite hebben met het verzamelen van resultaten of met het maken van foto's van gelijke grootte, zouden de voorbeeldresultaten op de informatiebladen 2.1 tot 2.3 kunnen analyseren.
 6. Discussievragen aan het einde van het werkblad vragen de leerlingen hun ervaring te relateren aan het reële scenario dat hun model voorstelt, na te gaan hoe het model het reële scenario vereenvoudigt en bijkomende factoren voor te stellen die de smeltsnelheid beïnvloeden. Ze kunnen ook nadenken over hoe ze het onderzoek kunnen aanpassen om nauwkeurige numerieke resultaten te krijgen. De discussie kan ertoe leiden dat de leerlingen hun eigen uitbreidingsactiviteiten voorstellen.

Voorbeeld resultaten

Op de informatiebladen 2.1 tot en met 2.3 staan de resultaten van zes monsters voor water bij drie verschillende temperaturen, en in de tabel staan nog andere resultaten. De gebruikte ijsschijven werden gemaakt door gekleurd water in een muffinplaat te

bevrozen en waren ongeveer 1 cm dik en 5-6 cm in doorsnee. De temperatuur van de omgeving bedroeg ongeveer 18°C. De schaal bevatte ongeveer 300 cm³ water en had een diameter van 21 cm, wat betekent dat de schaal van de foto's op de informatiebladen ongeveer 1:3 is.

Tijd / minuten	Gebied van ijs / cm ²			
	Heet (37.5°C)	Warm (24°C)	Koel (14°C)	Koud (6°C)
0	20	24	25	26
1	18	21		
2	12	16		
3	7	13		
4	2	9		
5		7	17	
6		4		25
7		2		
10			13	
13				24
17			6	
20				20
24			3	
26				17
28			1	
30				14
37				11
41				9

Werkblad antwoorden

Zoals eerder gezegd, zijn de vragen op het werkblad zeer open.

De notities hieronder geven daarom een indicatie van de ideeën die de leerlingen kunnen bedenken en informatie die u kunt gebruiken om de discussie te sturen.

Resultaten analyseren

De meest voor de hand liggende conclusie is dat het ijs sneller smelt bij warmere temperaturen, maar moedig de leerlingen aan hun resultaten nader te bekijken. Verandert de snelheid in de loop van de tijd? Kunnen ze de snelheid berekenen aan de hand van de gradiënt van de grafiek?

Discussie

1. De moeilijkheden kunnen in twee hoofdcategorieën worden ingedeeld: het bepalen van de rand van het ijsblok op de foto (vooral als het gemakkelijk is om verschillende randen te zien boven en onder de waterlijn) en resolutie van de methode die wordt gebruikt om de oppervlakte te berekenen (rastergrootte, welk deel van een vierkant kon worden geschat, mogelijkheid om de juiste oppervlakte te omsluiten, benaderingen van de vorm).
2. Het antwoord is afhankelijk van het vorige antwoord. Leerlingen kunnen verwijzen naar kleurverschillen - vuil ijs en grijze oceanen zijn misschien moeilijk te onderscheiden - of proberen een groot gebied te 'schetsen'.
3. De leerlingen kunnen denken aan bewolking, de grootte van het betrokken gebied, de versnippering van het ijs, enzovoort.
4. Het meeste ijs bevindt zich onder het wateroppervlak waar de temperatuur kan verschillen. Dit betekent dat we goede modellen nodig hebben van hoe de zee

temperatuur verandert met de diepte. Als de leerlingen voorzichtig zijn geweest en niet met hun apparatuur hebben geknoeid, kunnen ze zien dat het koude water van het smeltende ijs onder het warme water zit (zie latere afbeeldingen op informatieblad 2.1).

5. De leerlingen kunnen suggesties doen over bewolking, luchttemperatuur, wind, de fragmentatie van het ijs, hoe ruw de zee is, enzovoort.
6. De antwoorden zullen afhangen van de voorgestelde factoren.

Activiteit 3: DE NOORDWESTELIJKE DOORVAART

In deze activiteit gebruiken de leerlingen de Climate from Space web applicatie om satellietgegevens over de omvang van het zee-ijs en de temperatuur van het zeeoppervlak te onderzoeken en jaarlijkse en langetermijntrends in de Noordwestelijke Doorvaart en in het hele Noordpoolgebied te bestuderen. Deze activiteit kan worden gebruikt om hun inzicht in de belangrijkste klimaatprocessen in het Noordpoolgebied te versterken. U kunt het ook gebruiken aan het begin van een onderwerp over klimaatverandering of het Noordpoolgebied om de leerlingen hun bestaande kennis te laten delen en vragen te laten stellen om te onderzoeken.

Benodigheden

- Internettoegang
- Climate from Space web applicatie
- Leerlingen werkblad 3 (3 pagina's)
- Informatieblad 3 (optioneel)
- Gekleurde pennen of potloden

Oefening

1. Toon een kaart van de Noordwestelijke Doorvaart. U kunt informatieblad 3 afdrukken zodat de leerlingen het kunnen gebruiken, of de afbeelding extraheren voor gebruik in presentatiesoftware. Bespreek waarom mensen in de loop der eeuwen herhaaldelijk hebben geprobeerd de Noordwestelijke Doorvaart en andere poolroutes te vinden en/of te bevaren.
2. Vraag de leerlingen om de Climate from Space web applicatie te gebruiken om vragen 1 en 2 op leerlingenblad 3.1 in te vullen. De web applicatie spreekt voor zich, maar misschien wilt u de zee-ijs gegevenslaag laten zien en/of de bediening demonstreren.
3. Bespreek de resultaten met de klas en vraag waarom in vraag 2 niet wordt gevraagd of de gegevens *bewijzen* dat de aarde opwarmt. (Als de leerlingen activiteit 1 niet hebben voltooid, is het de moeite waard te wijzen op het verschil tussen langetermijnklimaatrends en natuurlijke variabiliteit). Dit zou ertoe kunnen leiden dat de leerlingen zelfstandig onderzoek gaan doen naar andere verschijnselen die bewijzen leveren voor een veranderend klimaat - van de levende ervaring van grootouders tot de frequentie en de ernst van bijvoorbeeld stormen, droogtes en hittegolven.
4. Geef de leerlingen de tijd om de gegevenslaag over de concentratie van zee-ijs te onderzoeken en te vergelijken met de gegevens over de temperatuur van het zeeoppervlak in de Climate from Space web applicatie. Merk op dat, hoewel de animatie ons niet het exacte gebied geeft dat op een bepaald moment door zee-ijs bedekt is, we kunnen zien hoe het verandert in de loop van een jaar en van het ene jaar op het andere.

5. Vraag de leerlingen de visualisatie te gebruiken om de vragen 3 tot 7 op de werkbladen 3.1 en 3.2 te beantwoorden. Ze kunnen individueel, met z'n tweeën of in kleine groepjes werken, afhankelijk van de IT-toegang en de capaciteiten van de klas.
6. Als de leerlingen individueel of in tweetallen hebben gewerkt, groepeer ze dan in kleine groepjes om de vragen op het einde van werkblad 3.2 te bespreken. Dit is een heel open activiteit, waarbij u de leerlingen kunt vragen de discussie op een bepaalde manier te structureren en/of verslag uit te brengen volgens een methode die past bij de klas en bij de plaats die de leerlingen innemen in uw onderwijsvolgorde. Bijvoorbeeld:
 - Als de leerlingen pas beginnen met het bestuderen van de klimaatverandering, kan elke groep een lijst maken van hun ideeën en aangeven hoe zeker ze zijn over elke bewering die ze doen. Ze kunnen ook vragen toevoegen die voortvloeien uit de gegevens om in toekomstige sessies te onderzoeken.
 - Als u dit tegen het einde van een cursus gebruikt, kunt u groepen of individuen vragen deze trends te relateren aan hun bestaande kennis over klimaatverandering in een werkstuk/poster die kan worden gebruikt om hun leerproces te beoordelen.

Werkblad antwoorden

Ijsvrije jaren

1.

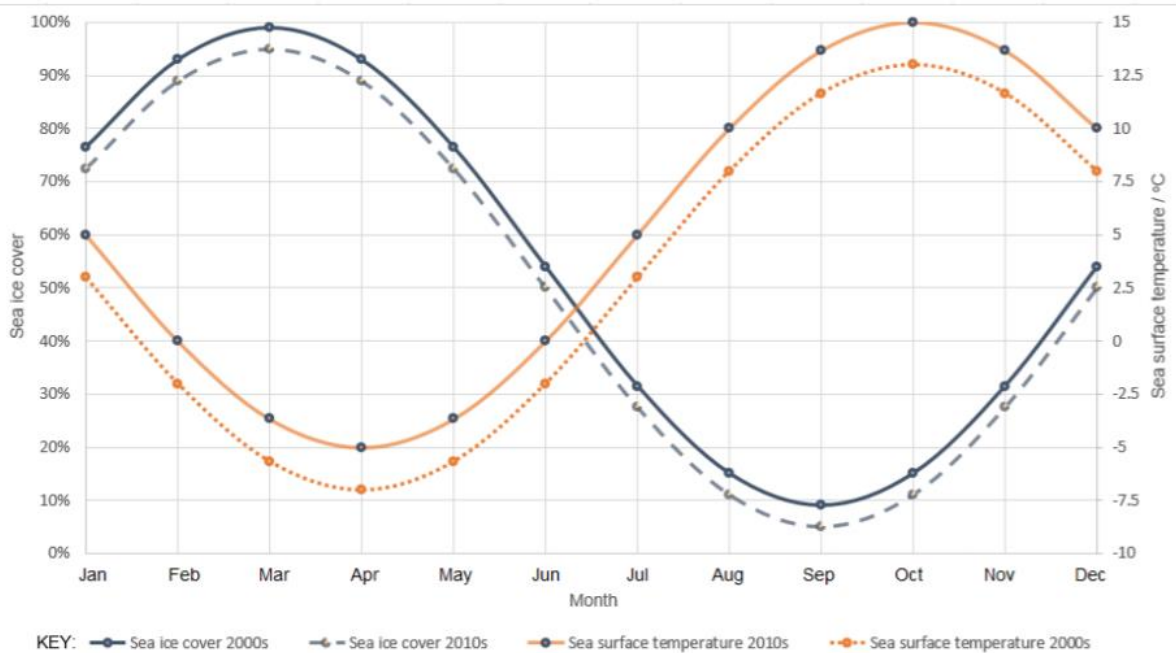
Jaar	Ijsvrij?	Jaar	Ijsvrij?
2002	Nee	2009	Nee
2003	Nee	2010	Ja
2004	Nee	2011	Ja
2005	Nee	2012	Ja
2006	Nee	2013	Nee
2007	Ja	2014	Nee
2008	Bijna	2015	Bijna

2. Drie van de vier jaren waarin de noordwestelijke doorvaart open was, waren in het laatste decennium. Deze gegevens ondersteunen dus het idee dat het klimaat op aarde aan het veranderen is. Er is echter nog steeds natuurlijke variabiliteit, zodat de gegevens op zichzelf niet bewijzen dat de wereld opwarmt.

Leerlingen werkblad 3.2

3. (a) maart/april (b) september/oktober
4. Een hogere temperatuur van het zeeoppervlak betekent minder ijs.
5. Zie Figuur 7 op de volgende bladzijde
6. Zie Figuur 7 op de volgende bladzijde

7. **Overeenkomsten tussen zee-ijs:** Maxima en minima komen op dezelfde momenten van het jaar voor - de jaarlijkse cyclus volgt hetzelfde patroon.
Verschillen tussen zee-ijs: de maximumomvang is gemiddeld kleiner; er is een kleiner gebied dat altijd bevroren is.
Overeenkomsten inzake de temperatuur van het zeeoppervlak: Maxima en minima komen op dezelfde momenten van het jaar voor - de jaarlijkse cyclus volgt hetzelfde patroon (maar het tegenovergestelde van dat van het zee-ijs).
Verschillen in de temperaturen van het zeeoppervlak: de maximum- en minimumtemperaturen zijn beide hoger. De leerlingen kunnen in hun antwoorden verwijzen naar specifieke gebieden, afhankelijk van hun geografische kennis.



Figuur 7: Seizoenscycli van de omvang van het zee-ijs en de temperatuur van het zeeoppervlak (Bron: ESA CCI)

Te bespreken

De antwoorden van de leerlingen op deze vragen zullen variëren naargelang het tijdstip waarop deze activiteit wordt gebruikt, hoe de discussie is gestructureerd, en de verwachte resultaten. De onderstaande aantekeningen gaan over een paar zaken die in de discussie vaak aan de orde komen.

8. a. In de loop van een jaar worden de maximum- en minimumomvang van het zee - ijs waargenomen wanneer de temperatuur respectievelijk begint te stijgen en te dalen: het noordpoolgebied moet opwarmen om ijs te laten smelten, en afkoelen om ijs te laten vormen. Je zou dit kunnen uitleggen als een kortetermijnvoorbeeld van het feit dat het ijs een "geheugen" heeft van het weer in het verleden - een eigenschap waarvan gebruik wordt gemaakt (via boorkernen) in studies op langere termijn.
- b. In de afgelopen drie decennia heeft de klimaatverandering de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer beïnvloed, maar veel van de overtollige energie is door de oceanen geabsorbeerd. Het Noordpoolgebied is hoofdzakelijk met zee-

ijs bedekt - in tegenstelling tot Antarctica, waar het meeste ijs zich in ijskappen of gletsjers op het land bevindt en alleen aan de randen van het continent in contact komt met de oceaan. Dit is een van de redenen waarom de veranderingen in het Noordpoolgebied sneller zijn gegaan.

9. Wetenschappers verwachten dat het tempo waarin zee-ijs verdwijnt, zal versnellen dankzij de versterking van het Noordpoolgebied (zie blz. 8).

Werkblad 1: HOE SNEL SMELT HET ZEE-IJS?

De **smeltwarmte** is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 kg van een vaste stof te smelten (zonder dat de temperatuur verandert). Voor zee-ijs is dat $330\,000\text{ J kg}^{-1}$. We kunnen dit samen met ideeën uit het informatieblad *Een Doorvaart Opent* gebruiken om na te gaan welke factoren van invloed zijn op hoe snel zee-ijs smelt.

Berekening van de smeltsnelheid

1. Op een heldere junidag bereikt ongeveer 300 W zonnestraling elke vierkante meter van het aardoppervlak in het Noordpoolgebied. Hoeveel energie is dit per uur? (HINT: onthoud, $1\text{ W} = 1\text{ J s}^{-1}$.)

2. Ongeveer 85% van de straling die op zee-ijs valt, wordt weerkaatst vanaf het aardoppervlak: we zeggen dat het een **albedo** van 0,85 heeft. Hoeveel energie weerkaatst een vierkante meter zee-ijs in een uur op een heldere junidag?

3. Hoeveel energie kan het ijs nog absorberen?

4. Welke massa ijs kan met deze hoeveelheid energie smelten? (HINT: gebruik de informatie over smeltwarmte bovenaan de bladzijde).

Dit is de smeltsnelheid (in $\text{kg m}^{-2}\text{ uur}^{-1}$) op een heldere junidag wanneer de zee-ijsconcentratie 100% is (het gehele oppervlak is bedekt met ijs).

5. Als de concentratie zee-ijs 70% is:

a. Welk deel van een vierkante meter is (i) ijs? _____ (ii) open oceaan? _____

b. Hoeveel van de zonne-energie die in een uur op elke vierkante meter valt, wordt nu weerkaatst door:

(i) het ijs in die vierkante meter? (HINT: je antwoord moet kleiner zijn dan je antwoord op vraag 2).

(ii) de oceaan in die vierkante meter, gegeven dat het albedo van de oceaan 0,07 is.

c. Hoeveel energie absorbeert de oceaan wanneer de concentratie zee-ijs 70% bedraagt?

d. Als al deze energie naar het ijs wordt overgebracht, wat is dan de nieuwe smeltsnelheid?

Onderzoek naar smeltsnelheden

Onderzoek hoe de smeltsnelheid verandert:

- als de hoeveelheid straling die het oppervlak bereikt verandert (door bewolking of een andere tijd van het jaar) en
- als de concentratie zee-ijs verandert.

Je kan je resultaten in een grafiek weergeven en/of samenvatten in een tabel zoals deze.

Zonnestraling die het oppervlak bereikt / $W m^{-2}$	Smeltsnelheid / $kg m^{-2} uur^{-1}$			
	Concentratie van zee-ijs			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	Antwoord op V4	Antwoord op V5d		
200				
100				
10				

Gebruik je resultaten en informatie uit *Een Doorvaart Opent* om deze vragen te beantwoorden:

1. 10, 100, 200 en 300 $W m^{-2}$ zijn typische zonnestravingsniveaus voor het Noordpoolgebied in respectievelijk maart, april, mei en juni.
In welke maand is de smeltsnelheid van het zee-ijs het grootst?

2. Beschrijf het verband tussen de smeltsnelheid van het zee-ijs per uur en de concentratie van het zee-ijs.

3. Leg in je eigen woorden uit waarom zee-ijs een vitale rol speelt in het klimaatsysteem.



Werkblad 2: OCEAANTEMPERATUUR EN IJSMELTSNELHEID



Gebruik van een tablet om smeltend ijs te monitoren. De bovenste foto is een zijaanzicht, de onderste een vogelvluchtperspectief. (Bron: ESA CCI)

Gezondheid en veiligheid

- Zorg ervoor dat je apparatuur niet over de rand van de tafel uitsteekt.
- Dweil gemorste vloeistof snel op.
- Proef niets. Houd je handen uit de buurt van je mond.

Wat je nodig hebt

- Kom
- Drie of vier kralen (verschillende kleuren)
- Wat speelklei
- Een stapel boeken
- Een smartphone of tablet met camera
- Een bekersglas of kan
- Ten minste drie ijsblokjes of blokken (in de vriezer bewaren tot het nodig is)
- Een thermometer
- Een klok of timer

Verzamelen van gegevens

1. Gebruik het speelklei om de kralen gelijkmatig rond de rand van de kom te plakken. Deze zullen dienen als referentiepunten als je de grootte van je foto's moet aanpassen.
2. Plaats de telefoon of tablet bovenop een stapel boeken, zodat de camera de hele kom kan bekijken (zie foto's).
3. Giet wat water in de kom en meet de temperatuur van het water.
4. Leg je blok ijs in het water, controleer de tijd en maak een foto.
5. Maak om de zoveel tijd een nieuwe foto (je leraar kan je hierover advies geven). Probeer de camera of de kom tussen de foto's niet te bewegen.

- Noteer de temperatuur van het water wanneer je de laatste foto hebt genomen.
- Herhaal de stappen 3 tot en met 6 ten minste twee keer; gebruik telkens water van een andere temperatuur.

Runnummer				
Initiële watertemperatuur / °C				
Uiteindelijke watertemperatuur / °C				
Gemiddelde watertemperatuur / °C				

Het analyseren van resultaten

- Bereken de gemiddelde temperatuur van het water voor elke run van het experiment.
- Controleer of alle foto's dezelfde schaal hebben door met beeldbewerkingssoftware de afstand tussen je referentiepunten of de grootte van een vierkant rond je kom te controleren. Als er foto's zijn die te groot of te klein zijn, pas ze dan aan de grootte van de andere aan.
- Je volgende taak is het meten van de oppervlakte van het ijs op elke foto. Bespreek de onderstaande vragen met je groep om je te helpen beslissen hoe je dit gaat doen.
 - Ga je metingen doen vanaf het scherm of vanaf geprinte kopieën?
 - Is de oppervlakte van het ijs op jullie afbeeldingen hetzelfde als de werkelijke oppervlakte van het ijs? Zo niet, is dit van belang? Als het belangrijk is, wat ga je er dan aan doen?
 - In welke eenheden ga je meten?
 - Welke stappen ga je nemen om je meting zo nauwkeurig mogelijk te maken?
- Gebruik de methode die je hebt gekozen om de oppervlakte van het ijs in elke foto te meten. Noteer je resultaten in een passende tabel en zet ze uit in een passende grafiek. Beschrijf het patroon dat uit je grafiek naar voren komt zo gedetailleerd als je kunt.

Discussie

Bespreek de onderstaande vragen met je groep.

1. Wat maakte het moeilijk om een nauwkeurige meting van de oppervlakte in dit model te krijgen?
2. Zouden wetenschappers die satellietgegevens gebruiken deze problemen ook ondervinden? Waarom?
3. Zijn er nog andere dingen die het moeilijker zouden kunnen maken om veranderingen in de oppervlakte van het zee-ijs in het echt te meten?
4. Satellieten die vanuit de ruimte de temperatuur van de oceaan meten, registreren de oppervlaktetemperatuur. Heeft dit invloed op hoe gemakkelijk het is om de temperatuur van de oceaan te koppelen aan hoe snel zee-ijs smelt? Waarom?
5. Welke andere factoren dan die je al hebt onderzocht (lichtintensiteit, oppervlakte van het zee-ijs en temperatuur van de oceaan) kunnen van invloed zijn op de snelheid waarmee zee-ijs smelt?
6. Welk effect verwacht je dat elke factor zal hebben? Waarom?

Als je kunt, onderzoek dan één van je ideeën. Je kunt een wiskundig of natuurkundig model maken of online onderzoek doen.

Werkblad 3: DE NOORWESTELIJKE DOORVAART

Open de Climate from Space web applicatie (cfs.climate.esa.int).

Klik op het symbool Gegevenslagen (rechtsboven) en kies dan Zee-ijs - Noordelijk halfrond.

Speel de animatie een paar keer af om te controleren of je begrijpt hoe de bedieningselementen op het scherm je helpen om beter te kijken naar bepaalde plaatsen of tijden.

Ijsvrije jaren

Laat de animatie langzaam lopen en concentreer je op het gebied op de kaart.

De rode lijn op de kaart markeert een potentiële scheepvaartroute die bekend staat als de Noordwestelijke Doorvaart.



1. Vul de tabel in met de jaren waarin de Noordwestelijke Doorvaart ijsvrij was, zodat schepen erdoor konden.
2. Leveren de gegevens in de tabel bewijzen voor klimaatverandering? Leg uit.

Jaar	Ijsvrij?	Jaar	Ijsvrij?
2002		2009	
2003		2010	
2004		2011	
2005		2012	
2006		2013	
2007		2014	
2008		2015	

Trends in het Noordpoolijs

Ga terug naar de Climate from Space web applicatie.

Klik op het symbool Gegevenslagen, scroll omlaag in de lijst naar Temperatuur van het zeeoppervlak en klik op VERGELIJK.

3. In welke maand van elk jaar heeft het Arctische zee-ijs:

a. Het grootste oppervlakte? _____

b. Het kleinste oppervlakte? _____

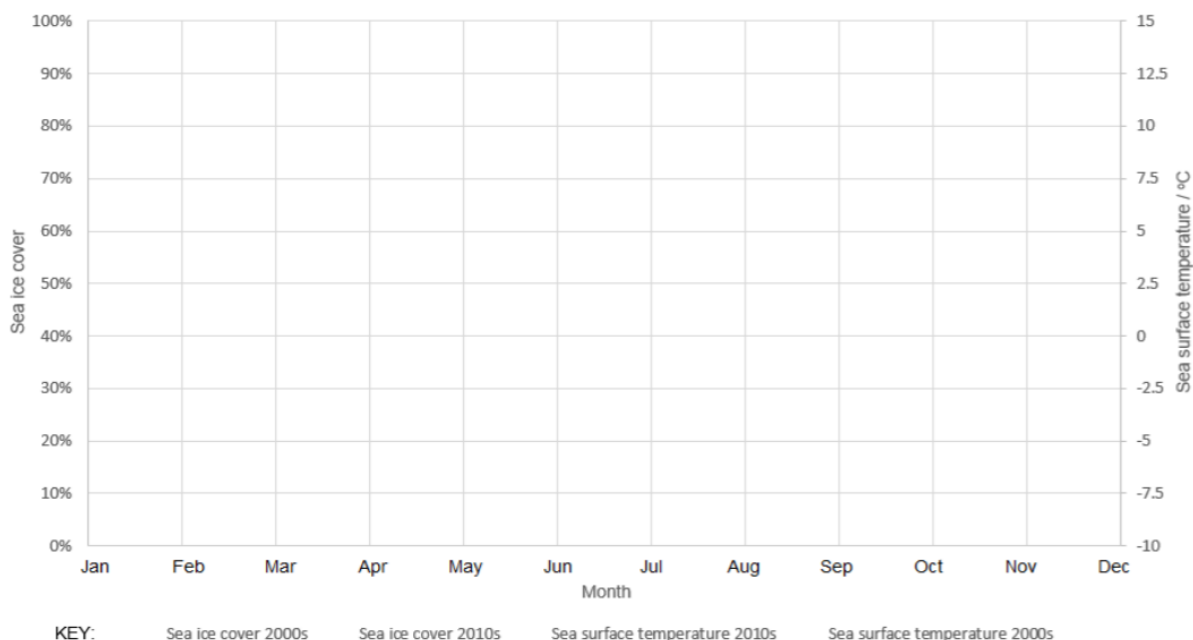
4. Hoe houdt de omvang van het zee-ijs verband met de temperatuur van het zeeoppervlak?

5. Speel wat langzamer door de jaren 2000 tot 2009. Op de assen hieronder:

a. Schets een lijn in blauw om aan te geven hoe het percentage van de oceaan dat bedekt is met zee-ijs verandert in een typisch jaar in dit decennium.

b. Schets een lijn in rood om aan te geven hoe de temperatuur van het zeeoppervlak verandert in een typisch jaar in dit decennium.

Je hoeft geen exacte waarden te vinden, toon gewoon het algemene patroon. Voor de temperatuur van het zeeoppervlak kan het nuttig zijn je te concentreren op een bepaald gebied.



6. Speel nu door de jaren van 2010 tot het einde van de visualisatie. Voeg lijnen toe aan de grafiek om aan te tonen hoe het percentage van de oceaan dat bedekt is met zee-ijs en de temperatuur van het zeeoppervlak in deze jaren veranderden. Gebruik twee verschillende kleuren en vergeet niet de informatie toe te voegen aan de sleutel. De lijnen mogen elkaar overlappen, als het patroon hetzelfde is voor alle of sommige delen van het jaar.

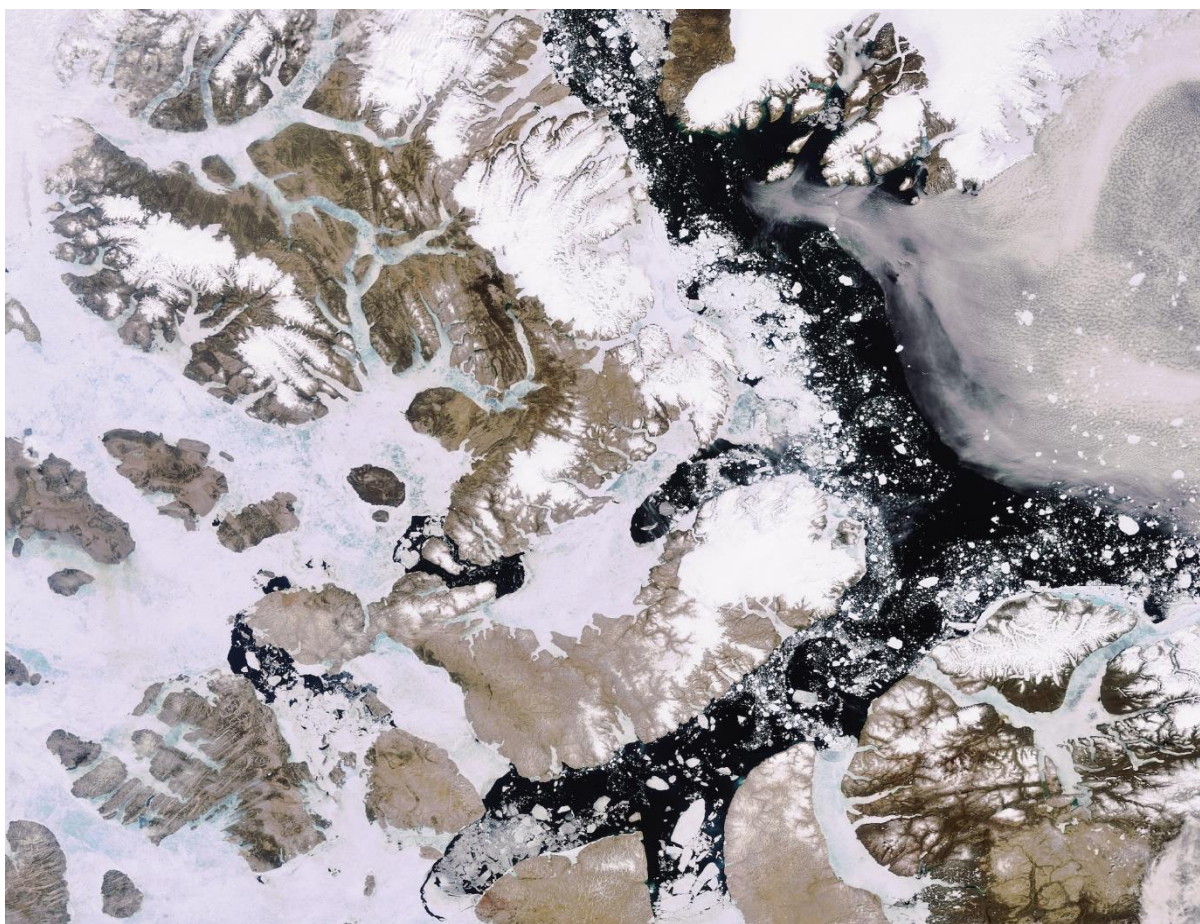
7. Beschrijf de overeenkomsten en verschillen in het patroon voor elk decennium.

Om te bespreken

8. Waardoor verandert de oppervlakte van het zee-ijs:
a) in de loop van een jaar? b) van decennium tot decennium?
9. Hoe zou het patroon in de komende tien jaar of decennia kunnen veranderen?
Leg je ideeën uit.

Informatieblad 1: EEN DOORVAART OPENT

Eeuwenlang hebben schepen die tussen Europa en Azië reisden, helemaal om het land en het ijs heen moeten varen dat de twee van elkaar scheidt. De zogenaamde Noordwestelijke Doorvaart tussen het vasteland van Canada en de Arctische eilanden zou een kortere zeeroute zijn, maar gedurende het grootste deel van de geschreven geschiedenis bleek deze ondoordringbaar, stevig opgesloten in de greep van een bevroren zee. Het ijs versloeg velen, inclusief de Royal Navy. De expeditie van Sir John Franklin in 1845 ging verloren. Achttien zoekploegen die in de daaropvolgende dertig jaar werden uitgezonden, slaagden er niet in enig spoor van hem, zijn twee schepen of de bemanning van 130 personen te vinden. In 1906 werd Roald Amundsen de eerste persoon die door de Noordwestelijke Doorvaart voer, na een reis van drie jaar in een kleine boot.



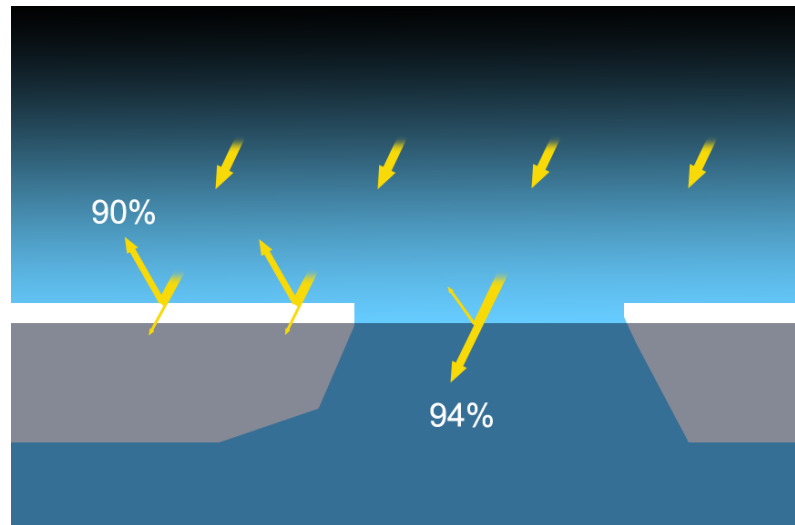
Een satellietbeeld van het zomerijs op de Noordpool. Het smalle kanaal tussen het vasteland van Canada en de Arctische eilanden is meestal onbegaanbaar. Op deze foto is Lancaster Sound (middenonder) open, maar blokkeert ijs nog steeds het Parrykanaal in het westen. (Bron: ESA)

In de eeuw die volgde, maakten nog slechts enkele schepen de reis - met behulp van ijsbrekers. Maar tegelijkertijd begon het Noordpoolijs te smelten. Satellietbeelden tonen aan dat de doorgang voor het eerst openging in 2007, tientallen jaren voordat de klimaatmodellen dat hadden voorspeld. Hoewel de opening van de Noordwestelijke Doorvaart de verscheping van goederen van Azië naar Europa sneller kan maken, is het een zeer zorgwekkende mijlpaal voor zowel het Noordpoolgebied als onze planeet in zijn geheel.

Arctische versterking

De route is geopend omdat de algehele temperatuur van de aarde stijgt. En de temperaturen in het noordpoolgebied stijgen twee tot drie keer sneller dan het wereldgemiddelde.

Waarom? Wit ijs weerkaatst veel zonlicht, net als de lichtgekleurde kleding die veel mensen in de zomer het liefst dragen. Als het zee-ijs smelt, komt het oceaankwater bloot te liggen. De donkere zee absorbeert het meeste zonlicht, zodat het water opwarmt. Warmer water smelt meer zee-ijs weg, waardoor meer oceaankwater bloot komt te liggen om zonlicht te absorberen en het smelten nog sneller gaat. Dit staat bekend als Arctische versterking en is een voorbeeld van een positieve feedbackloop.



Ijs reflecteert ongeveer 90% van de inkomende zonnestraling, terwijl open water ongeveer 94% absorbeert (Bron: ESA)

De laatste jaren is door het opwarmen van de zeeën het deel van de Noordelijke IJszee dat elke winter bevriest, kleiner geworden. De Arctische versterking versnelt deze verandering.

Het gebruik van de Noordwestelijke Doorvaart als scheepvaartroute kan de situatie verder verergeren. De uitlaatgassen van schepen zullen roet en chemische verontreinigende stoffen in de lucht boven de Noordpool brengen. Wanneer roet op het zee-ijs valt, zal het donkerder wordende oppervlak meer zonlicht absorberen en het smelten van het ijs in de zomer versnellen.

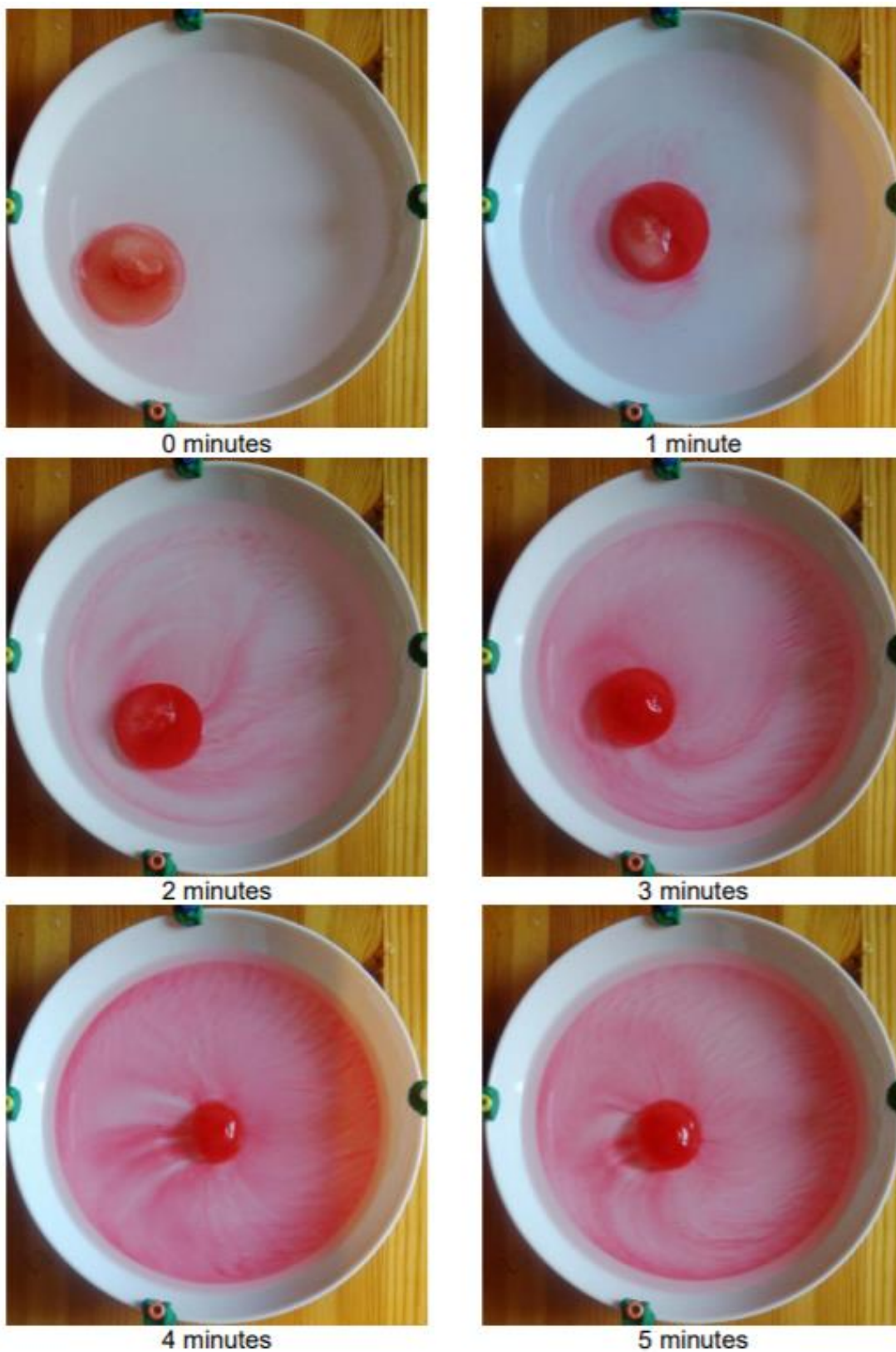
Zee-ijs en het klimaat

Zee-ijs houdt het water eronder warm op dezelfde manier als iglo's isolatie bieden om de Inuit warm te houden. Wanneer het zee-ijs smelt, wordt de isolerende laag verwijderd en wordt de warmte van de oceaan overgedragen aan de atmosfeer erboven. Het gesmolten ijs is zoet water dat de oceaan eromheen verdunt en de circulatiepatronen beïnvloedt die gedeeltelijk worden gestuurd door verschillen in de dichtheid van zeewater. (Zout zeewater is dichter dan zoet water.) Het effect van smeltend zee-ijs op de atmosfeer en de oceaan is dus complex.

Zee-ijs laat niet alleen zien hoe het klimaat op aarde verandert, maar speelt ook een belangrijke rol bij de regulering van dat klimaat. Dingen die dit doen, en die we betrouwbaar kunnen volgen, worden essentiële klimaatvariabelen (EKV's) genoemd. Een van de manieren waarop wetenschappers EKV's in de gaten houden is door gebruik te maken van satellieten. Radarinstrumenten op bepaalde satellieten kunnen

door de wolken heen kijken om de omvang en dikte van het zee-ijs te meten. Uit gegevens van deze instrumenten blijkt dat de ijsoppervlakte in het Noordpoolgebied in de afgelopen vier decennia met 40% is gekrompen.

Informatieblad 2.1: SMELTEND IJS – Warm water



(Source: ESA CCI)

Informatieblad 2.2: SMELTEND IJS – Koud water



0 minutes



5 minutes



10 minutes



17 minutes



24 minutes



28 minutes

(Source: ESA CCI)

Informatieblad 2.3: SMELTEND IJS – IJskoud water



0 minutes



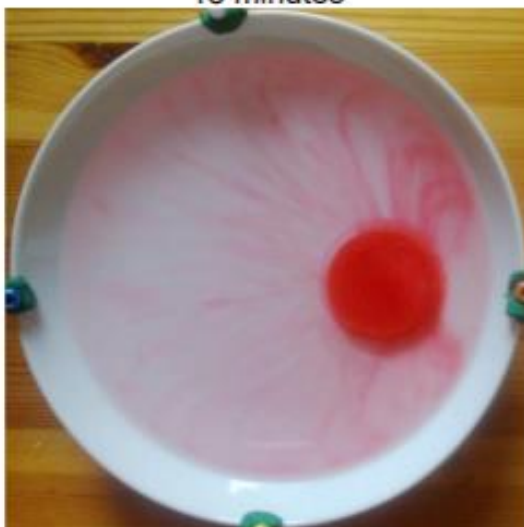
6 minutes



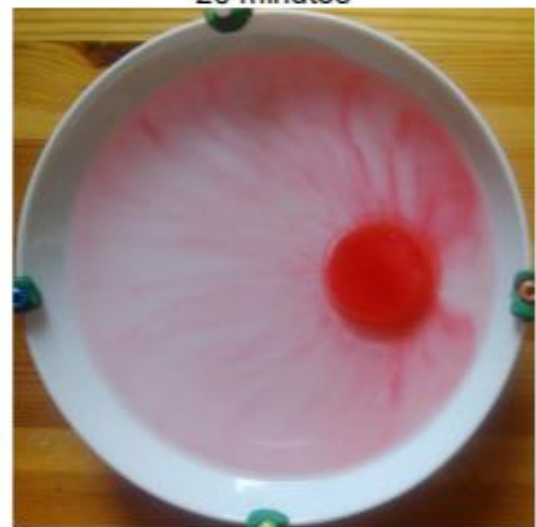
13 minutes



20 minutes



26 minutes



30 minutes

(Source: ESA CCI)

Informatieblad 3: DE NOORDWESTELIJKE DOORVAART



(Bron: Encyclopædia Britannica,

Links

ESA bronnen

Climate from Space web applicatie (online bron)

<https://cfs.climate.esa.int>

Klimaat voor scholen

<https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>

Onderwijzen met ruimte

http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

Zee-ijs vanuit de ruimte

[esa.int/Education/Teachers_Corner/Sea_ice_from_space -
_Investigating Arctic sea ice and its connection to climate TEACH WITH SPA
CE G04](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Sea_ice_from_space_-_Investigating_Arctic_sea_ice_and_its_connection_to_climate_TEACH_WITH_SPACE_G04)

ESA ruimte projecten

ESA-Klimaatbureau

<https://climate.esa.int/nl/>

Ruimte voor ons klimaat

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

ESA's Aardobservatiemissies

www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Earth Explorers

[http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programm
e/Earth_Explorers](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers)

Copernicus Sentinels

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Envisat

[esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat)

Extra informatie

Groenland en Antarctica verliezen zes keer sneller ijs dan verwacht

[esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Greenland_and_A
ntarctica_losing_ice_six_times_faster_than_expected](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Greenland_and_Antarctica_losing_ice_six_times_faster_than_expected)

Video's over de aarde vanuit de ruimte

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme

ESA Kids

https://www.esa.int/kids/learn/Earth/Climate_change/Climate_change

Bijlage: WIST JE DAT?

Een selectie van interessante feiten in verband met het onderwerp die u op verschillende manieren kunt gebruiken. U kunt er een les mee inleiden, de ideeën op kaartjes zetten om bij het werk van de leerlingen te voegen, een punt kiezen om een discussie op gang te brengen, de stellingen gebruiken in een waar/onwaar-quiz ...

- De Noordwestelijke Doorvaart is ongeveer 1900 km korter dan de route via het Panamakanaal.
- Vers vallende sneeuw kan een albedo tot 0.90 hebben. Dit wordt minder naarmate de sneeuw ouder wordt en in ijskristallen verandert.
- IJs blijft drijven omdat het minder dicht is dan water. Dit is ongewoon omdat de meeste vaste stoffen een grotere dichtheid hebben dan wanneer ze vloeibaar zijn.
- De concentratie van zee-ijs kan worden gemeten met satellietinstrumenten die microgolfstraling detecteren.
- Een vloot van microgolfsatellieten die de concentratie van zee-ijs kunnen meten, is al meer dan vier decennia operationeel.
- Veel aardobservatiesatellieten zijn in een zodanige baan om de aarde geplaatst dat zij niet direct boven de Noord- of Zuidpool metingen kunnen verrichten, hoewel zij wel overal elders op aarde kunnen "zien".