

PEDAGOGISCH DOSSIER

AARDRIJKSKUNDE, FYSICA, CHEMIE, MENSWETENSCHAPPEN

METEOROLOGIE AAN DE POLEN

➔ ANTARCTICA, ARCTICA, WEER, KLIMAAT, METEOROLOGIE, ATMOSFEER, SATELLIET



THEORETISCH GEDEELTE

WAT IS METEOROLOGIE ?

DEFINITIE

Meteorologie is de studie van weersomstandigheden en de voorspelling van weersveranderingen op korte termijn (enkele dagen). Deze studie is nauw verbonden met de klimatologie, die handelt over gemiddelde weersomstandigheden over langere periodes (30 jaar) en meestal ook grotere gebieden. Het klimaat is dus een generalisatie, zowel in ruimte als in tijd, van het weer.

WAAROM METEOROLOGISCH ONDERZOEK AAN DE POLEN?

De polaire gebieden zijn ver van ons verwijderd, en kennen een streng en onherbergzaam klimaat. Toch is het belangrijk dat daar aan meteorologisch onderzoek wordt gedaan. De poolgebieden spelen immers een belangrijke rol in het klimaat op aarde. Bovendien zijn verschillende regio's op hoge breedtegraden momenteel extreem gevoelig aan de huidige klimaatveranderingen, waardoor zij als een soort waarschuwingssysteem fungeren voor klimaatveranderingen op globale schaal. Meteorologische data worden ook gebruikt om het weer te voorspellen in bewoonde gebieden (Arctica), en bij onderzoeksstations (Arctica en Antarctica), waar die voorspellingen nodig zijn voor de veiligheid en planning van onderzoekers, voor het vliegverkeer of de scheepvaart. Data over temperatuur, neerslag en chemische samenstelling van de atmosfeer zijn ook nuttig in combinatie met studies van sneeuw- en ijsoppervlaktes, omdat die gegevens ons iets leren over de interactie tussen sneeuw, ijs en de atmosfeer. Dit is zeer nuttig voor het interpreteren van fysische en chemische veranderingen die gemeten worden in ijsboorkernen, die gebruikt worden om vroegere klimaatvariaties te bestuderen (= paleoklimatologie; zie ook de online animatie 'klimaatarchieven' en het pedagogisch dossier 3 'Klimaatverandering: wat weten we?' op www.educapoles.org/nl).

HOE BEINVLOEDEN DE POLEN HET KLIMAAT EN WEERPATRONEN ELDERS OP AARDE?

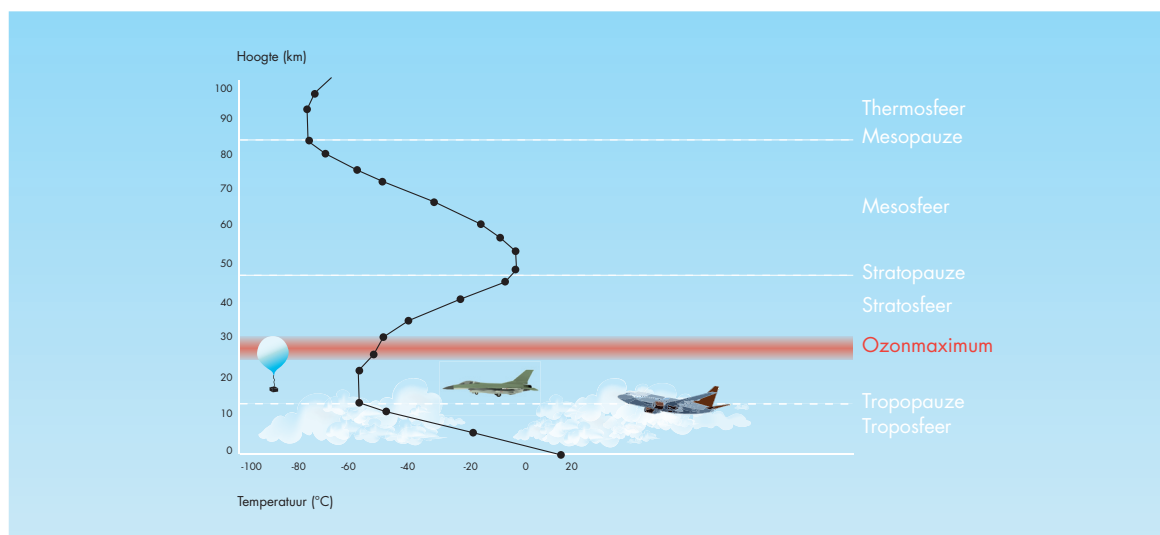
Polaire klimaatpatronen zijn sterk verbonden met regionale klimaatpatronen over de hele wereld. Om dit te begrijpen, is het nodig eerst iets meer te weten over de algemene structuur van de atmosfeer, en over de herverdeling van warmte d.m.v. mariene en atmosferische circulatiemechanismen.

STRUCTUUR VAN DE ATMOSFEER

De atmosfeer kennen wij als een 'laag lucht' die de aarde omgeeft. Deze laag is ongeveer 800 km dik en heeft geen scherpe bovengrens naar de ruimte toe. In de hoogte kan de atmosfeer in verschillende lagen worden onderverdeeld, o.a. naargelang de temperatuur (Figuur 1). In de onderste twee lagen, de troposfeer en de stratosfeer, doen zich de weer- en klimaatprocessen voor. De **troposfeer** is slechts 8 (aan de polen) tot 18 (aan de evenaar) km dik, maar bevat wel 75% van de gassen in de atmosfeer. In deze laag spelen zich ook de meeste weerpatronen af. De temperatuur in de troposfeer is het warmst aan het aardoppervlak, en daalt naar boven toe, tot aan de grens (tropopause) met de bovenliggende laag.

De **stratosfeer** bevindt zich tussen de tropopause (8-18 km) en de stratopause (c. 50 km). Deze laag bevat slechts c. 19% van alle gassen in de atmosfeer, en is dus veel ijler dan de troposfeer. In de stratosfeer zijn de bewegingen van de lucht minder turbulent, maar deze bewegingen hebben wél een invloed op de luchtverplaatsingen in de troposfeer, en vice versa. In tegenstelling tot in de troposfeer, stijgt de temperatuur in de stratosfeer met de hoogte, van c. -60°C tot c. +10°C tussen 8-18 en 50 km (Figuur 1).

De stratosfeer bevat de ozonlaag; een laag met hoge concentratie aan ozongas, die schadelijke UV stralen van de zon gedeeltelijk absorbeert. Deze ozonconcentratie is echter dunner aan de polen dan elders op aarde, en iedere lente verschijnt er zelfs een 'ozongat'¹ ter hoogte van Antarctica. Ook boven Arctica is er in de lente een tijdelijke vermindering van ozonconcentraties, maar die is minder sterk dan in Antarctica. Voor meer informatie: bekijk de flashanimatie 'Wat is de atmosfeer' op www.educapoles.org/nl.



➤ Figur 1: Vertikale struktur van de atmosfeer, ingedeeld op basis van de temperatuur.

OCEANISCHE EN ATMOSFERISCHE CIRCULATIEMECHANISMEN

Klimatologische en meteorologische fenomenen op aarde zijn in wezen het gevolg van de **herverdeling van warmte van de equator naar de poolgebieden toe**. Die herverdeling wordt veroorzaakt doordat de aarde relatief meer warmte-energie van de zon ontvangt in equatoriale gebieden dan aan de polen (zie de flashanimatie 'Waarom is het koud aan de polen' op www.educapoles.org/nl voor de factoren die daarin een rol spelen).

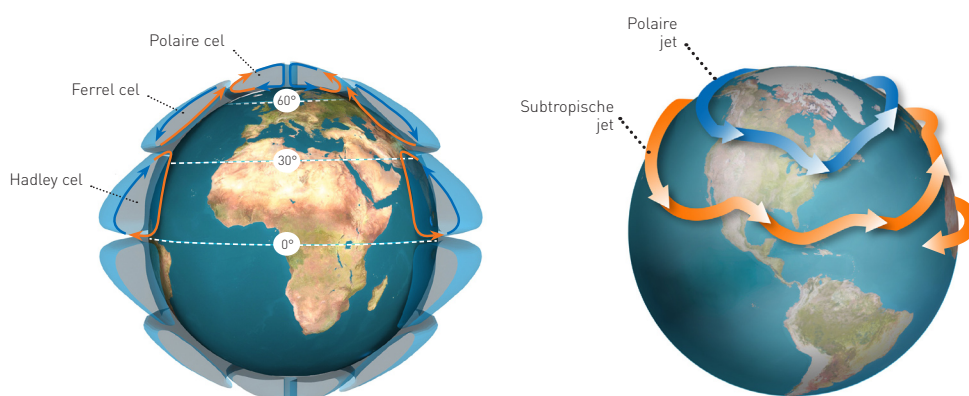
Er zijn twee mechanismen verantwoordelijk voor die herverdeling van warmte op aarde. De **thermohaliene circulatie** (THC) brengt warmte van de equator naar de poolgebieden via oceaanstromingen. Hierbij spelen vooral Antarctica en de Zuidelijke Oceaan, maar ook de Arctische Groenlandzee en Labradorzee, een belangrijke rol. Meer uitleg over de THC is beschikbaar in de online flashanimatie 'impact van de klimaatsverandering op de oceanen' op www.educapoles.org/nl.

Naast de THC is er ook een belangrijke gelijkaardige **circulatie in de atmosfeer**. Deze circulatie omvat het geheel van verticale en horizontale luchtverplaatsingen, die zich vooral in de troposfeer (en in mindere mate in de lage stratosfeer) afspelen. De herverdeling van warmte gebeurt hierbij aan een veel grotere snelheid dan deze in de oceaan.

Wanneer het aardoppervlak en de laagste luchtlagen aan de equator sterk verwarmd worden door de zon, gaat die warme lucht daar logischerwijs opstijgen. Tijdens het stijgen koelt de lucht af, gaat het vocht in de lucht condenseren, en ontstaan er wolken en neerslag. Wanneer die lucht de tropopause bereikt, verplaatst ze zich in poolwaartse richting, waar het kouder is. Daar daalt deze inmiddels afgekoelde droge lucht terug naar het aardoppervlak, om vervolgens opnieuw naar de equator toe te bewegen. Als gevolg hiervan worden equatoriale gebieden doorgaans gekenmerkt door lagedrukgebieden² terwijl o.a. de polaire gebieden een hoge **luchtdruk**

¹ Wetenschappers gebruiken het woord 'gat' als een metafoor voor het gebied waarin ozonconcentraties tot onder de waarde van 220 Dobson eenheden zakt (NASA).

kennen. Deze circulatie wordt algemeen de 'Hadley-cel' genoemd (naar George Hadley, 1685-1768). In werkelijkheid zijn de luchtverplaatsingen in de atmosfeer echter ingewikkelder: ten eerste wordt de droge, koude lucht die aan het aardoppervlak naar de equator toe beweegt, door de **Coriolis-kracht** naar het westen afgebogen, en poolwaarts bewegende lucht naar het oosten. Op die manier ontstaan de oosten- en westenwinden die we kennen. Ten tweede zijn er, in de plaats van één cel met stijgende en dalende lucht, eigenlijk in iedere hemisfeer drie soortgelijke cellen te vinden, waarvan de middelste (de 'Ferrell cel') grotendeels aangedreven wordt door de luchtbewegingen in de andere twee cellen ('Hadley cel' en 'Polaire cel') (Figuur 2).



➡ Figuur 2: De algemene luchtcirculatie: links: de circulatiecellen, rechts: de positie van de straalstromen in het noordelijk halfrond.

Op de grens tussen deze cellen, komen op grote hoogte telkens 'jet streams' of straalstromen voor. Dit zijn sterke luchtstromingen, die als 'rivieren' van west naar oost waaien en de aarde omcirkelen (althans wat betreft de Polaire en Subtropische jets³; Figuur 2). Men spreekt van een straalstroom als de winden aan meer dan 100 km/h waaien, maar een sterke straalstroom kan in zijn kern tot meer dan 400 km/h bereiken. De straalstroom kan van positie verschuiven en van sterkte en/of golfpatroon variëren, wat een sterke invloed heeft op het weer in de lagere troposfeer, en vice versa.

De Polaire straalstromen komen op een hoogte van ongeveer 10 km voor. Ter hoogte van deze stromen komt in de lage troposfeer het **polair front** voor, waar warme en koudere lucht uit zuid en noord samen komen, en waar veel stormen (cyclonen) ontstaan. In het zuidelijk halfrond, waar op c. 50°S weinig of geen land aanwezig is, heeft die west-oost beweging vrij spel en vormt die een sterke westenwindgordel, die grotendeels het klimaat in Antarctica bepaalt.

INVLOED VAN POLAIRE KLIMAATVERANDERINGEN OP HET KLIMAAT ELDERS

Wanneer (delen van) de poolgebieden warmer worden, zal dit een invloed hebben op de sterkte van de luchtcirculatiecellen, en dus op de sterkte en positie van de winden, neerslag en temperatuur in andere gebieden op aarde. Ook kan een dergelijke opwarming een invloed uitoefenen op de thermohaliene circulatie. Men weet dat in het verleden deze circulatie reeds sterk vertraagd werd door het massaal afsmelten van gletsjerijs in Noord-Amerika en Groenland, waardoor er een grote hoeveelheid zoetwater in de noordelijke Atlantische Oceaan terecht kwam, die het zinken van het koude water (en dus de gehele THC) vertraagde. Dit verminderde het warmtetransport van de equator naar de breedtes en poolgebieden, wat een snelle regionale afkoeling veroorzaakte in Europa.

² De luchtdruk is laag in deze gebieden omdat de lucht daar stijgt en dus een kracht uitoefent die tegengesteld is aan de aantrekkingskracht van de aarde

³ De Equatoriale straalstroom beweegt van west naar oost, en ontwikkelt zich enkel gedurende de noordelijke zomer, tussen Azië en Afrika

HET WEER EN KLIMAAT AAN DE POLEN

ALGEMENE WEERSOMSTANDIGHEDEN IN ARCTICA EN ANTARCTICA

Het poolklimaat kenmerkt zich door extreme koude. Door de hoge breedtegraden van deze gebieden, zijn de dagen zeer kort tot onbestaand in de winter, terwijl ze zeer lang zijn in de zomer (tot 24 uur, gedurende 3 maanden op de hoogste breedtegraden; men noemt dit middernachtzon). Hoewel beide poolgebieden een ruw klimaat kennen, zijn er toch belangrijke verschillen, voornamelijk doordat het Arctisch gebied bestaat uit een door land omgeven zee, en Antarctica een door zee omgeven stuk land is.

ARCTICA

Doordat het Noordpoolgebied direct omgeven wordt door grote stukken land, is het klimatologisch minder geïsoleerd van gebieden op lagere breedtegraden. Hierdoor is er meer warmte-uitwisseling mogelijk (bv. via de Golfstroom), en kent de Arctische regio een relatief milder klimaat dan Antarctica. Volgens de [klimaatclassificatie van Köppen](#) kunnen er in het Noordpoolgebied twee polaire klimaattypes onderscheiden worden: het **toendraklimaat**, waarbij de temperatuur van de warmste maand tussen 0 en 10°C ligt, en het **ijsklimaat**, dat steeds temperaturen onder 0°C kent. Het ijsklimaat komt vooral voor in centraal-Groenland (gemiddelde temperatuur -33°C) en in delen van Noord-Canada en Rusland, terwijl het toendraklimaat voorkomt op lagere breedtegraden en/of langs kusten en eilanden (de gemiddelde temperatuur langs de Groenlandse kust is bv. slechts -7°C). In toendraklimaten is de neerslag hoger dan in ijsklimaten en kunnen de winters stormachtig zijn. De weinige neerslag die valt onder continentale ijsklimaten komt vooral in de zomer voor.

ANTARCTICA

Antarctica is, in tegenstelling tot Arctica, een landmassa, die klimatologisch sterker geïsoleerd is van de lagere breedtegraden door de westenwinden die het continent omcirkelen op c. 50° zuiderbreedte. Hierdoor heerst er in het merendeel van Antarctica enkel een ijsklimaat. In centraal Antarctica valt er slechts 2 tot 5 mm neerslag (sneeuw) per jaar. Dit gebied noemt men dan ook 'polar desert'. Op bijna heel het continent is de jaarlijkse gemiddelde temperatuur lager dan -25°C. De laagste temperatuur die ooit werd gemeten op aarde, is -89,2°C aan het Russische station Vostok (21 juli 1983). Enkel aan de kusten van het Antarctisch Schiereiland, dat zich iets meer noordwaards uitstrekt, heeft de oceaan een invloed op het klimaat en is de temperatuur iets milder. Ook in de sub-Antarctische eilanden heerst een toendraklimaat.

Voor meer informatie verwijzen we naar de online flashanimatie 'Waarom is het koud aan de polen?' op de website Educapoles: www.educapoles.org/nl.

ENKELE TYPISCHE 'POLAIRE' METEOROLOGISCHE FENOMENEN

Zowel Groenland als Antarctica worden gekenmerkt door het voorkomen van **katabatische winden**. Dit zijn erg krachtige, ijzige winden die van het binnenland naar de kust waaien, langs de hellingen van de ijskap naar beneden. Deze winden kunnen, wanneer ze bijna de kust bereiken, snelheden van 300 km/h halen. Hierdoor is de gevoelstemperatuur veel lager dan de gemeten temperatuur. Het voorkomen van deze winden is moeilijk voorspelbaar, en maakt het gevaarlijk voor wetenschappers en ontdekkingsreizigers. Kijk op de website www.educapoles.org/nl naar de flashanimatie over katabatische winden.

'**Blizzards**' zijn fenomenen waarbij slechts weinig sneeuw valt, maar waarbij sneeuw van het ijsoppervlak wordt opgenomen en wordt voortgestuwd door de wind. Dit kan zodanig sterk zijn dat het gezichtsvermogen beperkt wordt tot minder dan een meter!

'Whiteouts': is een fenomeen waarbij de lucht uniform grijs of wit is, en er daardoor bijna geen schaduwen of contrasten tussen (met sneeuw bedekte) objecten te zien is. Dit veroorzaakt een verlies van dieptezicht en kan heel gevaarlijk zijn.

'Polar lows' zijn intense cyclonen die hoofdzakelijk in de winter ontstaan boven de oceaan, poolwaarts van het polair front. Hun omvang is kleiner dan 1000 km, maar hun intensiteit gaat gepaard met grote windsnelheden (groter dan 15-18 m/s) en hevige neerslag. Na hun ontstaan verschuiven ze verder in poolwaartse richting, waar ze na een levensduur van slechts één tot enkele dagen terug verdwijnen. Deze stormen zijn moeilijk te voorspellen, en daarom ook gevaarlijk. Ten gevolge van de huidige klimaatveranderingen slagen Polar Lows in Arctica er steeds vaker in om door te dringen tot hogere breedtegraden.

METEOROLOGISCH ONDERZOEK AAN DE POLEN

WAT?

Ook al wonen er weinig mensen in de poolregio's, toch is het belangrijk dat er aan meteorologisch onderzoek wordt gedaan. Bij de eerste metingen in polaire gebieden, in het begin van de 20e eeuw, gebeurden meteorologische observaties voornamelijk in bemande stations en vanop schepen, maar tegenwoordig worden steeds meer gegevens verkregen d.m.v. automatische weerstations en satellietbeelden. Er bestaan nu, zowel in Arctica als Antarctica, **netwerken** van meetpunten en gegevensbronnen, die via een 'Global Telecommunications System' (GTS) met analysecentra verbonden worden. Dit wordt gecoördineerd door de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO). Naast meteorologische basismetingen zoals temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid, windsnelheid en windrichting, worden ook meer specifieke metingen gedaan, zoals de concentraties van bepaalde gasen of van bv. ijskristallen in de lucht.

HOE?

1. SATELLIETEN

Er zijn twee soorten (weer)satellieten, afhankelijk van de baan om de aarde die ze volgen. Een eerste groep, waartoe ook de Europese Meteosat (1-7) satellieten behoren, zijn **geostationaire satellieten**. Zij bevinden zich op 36 000 km hoogte, en bewegen aan een snelheid van één omwenteling per dag, in dezelfde richting als het draaien van de aarde. Gezien vanop een vast punt op aarde lijken deze satellieten op een vaste positie te blijven hangen. Zij maken dus steeds opnamen van hetzelfde gebied op aarde. Omdat deze satellieten ter hoogte van de evenaar gepositioneerd zijn, geven zij geen duidelijk beeld van de poolgebieden. **Polaire satellieten**, zoals de Amerikaanse NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) satellieten (bv. NOAA-TIROS) en de Europese MetOp, zijn hierbij een goede aanvulling: ze cirkelen immers om de aarde in een 'polaire baan', die bijna loodrecht op de draaias van de aarde staat. Zij bevinden zich op c. 700-900 km hoogte, wat betekent dat ze beelden maken van kleinere oppervlaktes op aarde, maar met meer detail, dan geostationaire satellieten. Ze maken beelden van het aardoppervlak, en meten gegevens die gelijkaardig zijn aan die van weerballon-radiosondes (zie verder). Een groot voordeel van satellietbeelden is dat ze ook gebieden beslaan die zeer moeilijk toegankelijk zijn voor de mens, en dat zij tevens verticale profielen doorheen de atmosfeer kunnen maken.

2. WEERBALLONNEN

Momenteel worden er twee maal per dag tegelijkertijd weerballonnen opgelaten op meer dan 800 plaatsen op aarde, waarvan er sinds 1957 een 16-tal in en rond Antarctica gesitueerd zijn. Een weerballon is een grote, latex (soms chloropreen) ballon, gevuld met waterstof (soms helium), waaraan een radiosonde bevestigd is. Die sonde bevat meetinstrumenten die iedere seconde, terwijl de ballon stijgt, de atmosferische druk, temperatuur en luchtvochtigheid meten en doorsturen naar grondstations. Sommige radiosondes meten ook andere factoren, zoals bv. de ozonconcentratie. Een **GPS** monitort de positie van de ballon, en levert op die manier gegevens over windsnelheden en -richtingen op verschillende hoogtes. Een weerballon kan tot 35 km hoog gaan, en tot 200 km ver weg drijven van de plaats van oorsprong. Op grotere hoogtes (50-1500 km) worden raketsondes gebruikt om de atmosfeer te bestuderen.

3. AUTOMATISCHE WEERSTATIONS

Automatische weerstations (AWS) zijn instrumenten die autonoom tal van meteorologische basismetingen doen (temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid, windsnelheid en -richting). Die metingen worden onmiddellijk via satellietverbinding doorgestuurd naar wetenschappelijke instituten. AWS worden tegenwoordig meestal aangedreven door zonne- of windenergie, waardoor ze lang autonoom kunnen werken. Het grote voordeel van AWS is dat ze kunnen geïnstalleerd worden op plaatsen waar geen mogelijkheden zijn om mensen te herbergen. Net als weersatellieten worden AWS steeds belangrijker in polair meteorologisch onderzoek.

De **International Polar Foundation** erkent het belang van meteorologische metingen in Antarctica, en heeft in februari 2009 een AWS geplaatst aan de Prinses Elisabeth basis in Antarctica (PEA). Het AWS meet basisgegevens voor meteorologie, **albedo**, temperatuurprofielen doorheen het sneeuwoppervlak (tot 1 meter diep), en de hoogte van het sneeuwoppervlak. Verder komt er ook een meetapparaat (ceilometer) dat de hoogte van de wolken en de aanwezigheid van aerosolen in de atmosfeer meet. Een 'infrarood radiatie pyrometer' (IRP) zal de temperatuur aan de basis van het wolkendek meten. Verder zullen ook een 'microgolf-radiometer' en een 'microregen-radar' bepalen hoeveel waterdamp, ijs of sneeuw er in bepaalde lagen van de atmosfeer aanwezig is.

4. MODELLERING

Een numeriek klimaatmodel is een computerprogramma dat wiskundige vergelijkingen oplost. Die vergelijkingen geven de evolutie van verschillende componenten (zoals de aanwezigheid van bepaalde gassen in de atmosfeer, of de invloed van zee-ijs of vegetatie) van het klimaat voor.

Modellen worden ontwikkeld om het klimaat of het weer beter te begrijpen, of om het te voorspellen in een bepaalde regio. Klimatologische en meteorologische gegevens worden gebruikt om de modellen te ontwikkelen en te testen of toetsen aan de werkelijkheid.

Er zijn eenvoudige modellen, die slechts één of enkele componenten simuleren, en complexe modellen, die meerdere componenten én hun interacties simuleren. Modellen simuleren het weer/klimaat steeds voor een bepaald studiegebied (= het 'domein'), dat ingedeeld wordt in kleine vierkanten (= het 'grid' van het model). Hoe fijner het grid, hoe hoger de resolutie, en hoe meer (computer)geheugen en tijd er nodig is om het model te laten lopen. Bij de keuze van een model wordt er dus altijd een afweging gemaakt tussen de gewenste precisie en de kost van het berekenen. Ook het domein kan sterk verschillen: er zijn bv. **globale modellen**, die de hele aarde omvatten, en **regionale modellen**, die een kleiner gebied beslaan maar die een grotere resolutie toelaten. Zij kunnen complexe fenomenen simuleren en worden gebruikt voor zowel klimatologische als meteorologische fenomenen, terwijl globale modellen enkel worden gebruikt voor het simuleren van klimatologische fenomenen.

WOORDENLIJST:

Albedo: maat voor hoe sterk een object of oppervlak licht reflecteert. Albedo wordt berekend als het quotiënt van de hoeveelheid gereflecteerd licht ten opzichte van de hoeveelheid invallend licht (bv. afkomstig van de zon), en kan dus in % uitgedrukt.

Coriolis-kracht: Kracht, in horizontale richting, veroorzaakt door de draaiing van de aarde. Een wind- of waterstroming in het noordelijk (zuidelijk) halfrond zal door deze kracht naar rechts (links) afbuigen. De kracht is sterker naarmate men verder poolwaarts gaat. Door deze kracht waaien de winden rond hoge- en lagedrukgebieden steeds in spiraalvorm i.p.v. rechtuit.

Dobson eenheid: Een basiseenheid in het ozon-onderzoek. Deze komt overeen met de dikte van de laag ozon, indien alle ozon in een verticale luchtkolom van 10 x 5 graden (ter hoogte van de aardoppervlakte) zou geïmpregeerd worden tot bij een temperatuur van 0°C en een druk van 1 atmosfeer.

GPS: Global Positioning System: systeem, gebaseerd op satellietcommunicatie, dat bepaalt wat de exacte positie (coördinaten) van het GPS-toestel is op aarde.

Köppen klimaatclassificatie: Indeling van alle klimaten op aarde in een classificatiesysteem, oorspronkelijk ontworpen door Wladimir Köppen in 1918. Deze

classificatie is deels gebaseerd op het al dan niet voorkomen van bepaalde planten in bepaalde regio's, aangezien de verspreiding van planten sterk afhankelijk is van de plaatselijke temperatuur en vochtigheid.

Luchtdruk: Aantrekkingskracht van de aarde uitgeoefend op de luchtmassa in de atmosfeer. Deze kracht is gericht naar het centrum van de aarde toe, en staat dus loodrecht op het aardoppervlak. In wezen is dit dus het 'gewicht' van de damkring. Luchtdruk wordt uitgedrukt in bar (b), atmosfeer (atm) of (hecto) Pascal (hPa), waarbij 1013 hPa = 1,013 b = 1 atm.

Netwerken: In Antarctica bestaan momenteel twee netwerken, bestaande uit 99 weerstations (automatische en bemande): het 'Antarctic Basic Synoptic Network' en 'Antarctic Basic Climatological Network'. Deze netwerken worden gecoördineerd door de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO Executive Council Working Group).

Polair front: Zone tussen de polaire cel en de Ferrel cel (zie Figuur 2), waar koude en warme lucht naar elkaar toe stromen en elkaar 'tegenkomen'. De koudere lucht, die denser en dus zwaarder is dan warme, komt door de zwaartekracht onder de warme luchtmassa terecht. Door de interactie tussen deze luchtmassa's ontstaan stormen en lagedrukgebieden.

HULPMIDDELEN:

Ontdek de pedagogische dossiers 'Klimaatverandering (1/2): Wat weten we?', 'Klimaatverandering (2/2): gevolgen in de wereld en in de poolgebieden', 'Poolwetenschappen', en 'De Polen' op www.educapoles.org/nl. Op dezelfde website vindt u tal van flash-animaties die verband houden met deze onderwerpen.

Andere interessante websites:

Automatische weerstations in Antarctica: http://www.nvbm.nl/Meteorologica/archief/2000/sep/0003_Vijf_Reijmer.pdf

Blog van drie Belgische wetenschappers in Antarctica: <http://www.naardezuidpool.ugent.be/detail/75.html>

Blog van Alexander Mangold, Belgisch meteoroloog in Antarctica: <http://belatmos.blogspot.com/>

Koninklijk Meteorologisch Instituut: <http://www.meteo.be/meteo/view/nl/65239-Home.html>

Köppen klimaatclassificaties (NL): <http://sites.google.com/site/johannsmeteouitleg/klimaat-classificatie-koeppen>

Ozongat: <http://www.knmi.nl/cms/content/23317/ozongat>

Prinses Elisabeth Station: <http://www.antarcticstation.org>

Real-time weerberichten voor Arctica (Engelstalige website):

<http://portal.inter-map.com/#mapID=26&groupID=1&z=1.0&up=524.8&left=0.0>

Weersatellieten: <http://www.weerclubgouda.nl/overhetweer/weerkaarten/satelliet.html>

Weersatelliet MetOp: http://www.knmi.nl/cms/content/27691/europese_weersatelliet_metop_

PRAKTISCH GEDEELTE

DE UITDAGINGEN VAN HET LEERPROCES

De onderdelen van een weerstation leren kennen.

Het onderscheid leren kennen tussen meteorologie en klimatologie.

De verschillende meteorologische variabelen beter leren kennen.

Het weer en het klimaat van onze streken vergelijken met die in Antarctica.

DE ACTIVITEITEN VAN DIT DOSSIER

1) DE WEERSTATIONS VAN ANTARCTICA EN BELGIË ZIJN GEWISSELD?!

Doelgroep	<12 jaar	Duur	50 minuten
Doel	Nadenken over het verschil in klimaat in Antarctica en België, en leren hoe je je onderzoek daaraan aanpast.		

Verdeel je klas in twee groepen leerlingen. Meng de figuren van pagina 4 door elkaar, en geef aan elke groep de helft van de figuren. De leerlingen selecteren zelf de meteorologische instrumenten waarvan zij denken dat die het best gebruikt worden in een Belgisch weerstation en in een Antarctisch weerstation. Voor ieder instrument bespreken ze waarom het beter wel/niet in België of Antarctica gebruikt wordt (bv. een houten thermometerhut is niet duurzaam genoeg om de hevige temperatuurschommelingen en winden in Antarctica te doorstaan). Laat de leerlingen discussiëren over de noden en risico's die komen kijken bij het meten van meteorologische gegevens in Antarctica (bv. tot welke vriestemperatuur kunnen kwikthermometers meten?, Hoe kan je op een duurzame manier electriciteit voorzien aan een Automatisch Weerstation in Antarctica?).

Oplossing voor de opdracht in de leerlingenfiche:

Wat?	Waar?	Wat meet het?
1. Pluviometer	Brussel	Regen
2. Weerhut	Brussel	Bescherming van thermometers tegen zon en regen
3. Anemometer	Brussel & Antarctica	Windsterkte en windrichting
4. Kwikthermometer	Brussel	Temperatuur ¹
5. Hoogtemeter	Antarctica	Hoogte van het sneeuwoppervlak
6. Weerballon	Brussel & Antarctica	Luchtdruk, vochtigheid, temperatuur, hoogte, windsterkte, windrichting

¹ Opmerking: sommige thermometers kunnen van -40 tot +40°C meten, maar in Antarctica kan het kouder worden, en zijn digitale metingen beter, want die kunnen automatisch bewaard en doorgestuurd worden via satellietverbinding.

2) MAAK JE EIGEN WEERKAARTEN

Doelgroep	12-15 jaar	Duur	50 minuten
Doel	Gegevens over het weer verwerken en voorstellen op een kaart. Het weer in Antarctica vergelijken met het weer in eigen land.		

De leerlingen maken een weerkaart op voor Antarctica en voor Europa, voor een bepaalde (voor hen onbekende) dag. Op pagina 5 staat een tabel met weervoorspellingen voor die bepaalde dag. Een kaart van Europa en van Antarctica is beschikbaar in Bijlagen 1 en 2. De leerlingen moeten gebruik maken van symbolen die ze op weerkaarten terugvinden op het internet, of zij kunnen zelf symbolen uitvinden. Eens de kaarten klaar zijn, kunnen de leerlingen de belangrijkste verschillen tussen het weer in Antarctica en het weer bij hen thuis bespreken. Het is belangrijk dat u de leerlingen wijst op het feit dat ze beide klimaten beter niet met elkaar vergelijken op basis van gegevens van één dag (meteorologie), maar beter op basis van gegevens die een gemiddelde zijn van c. 30 jaar (klimatologie). Zo is in deze oefening bv. de wind zeer zwak op een bepaalde dag, terwijl deze gemakkelijk tot 70 m/s kan halen op andere dagen. Omdat beide klimaten echter zodanig sterk verschillend zijn, kunnen we in deze oefening toch al redelijk wat afleiden uit de gegevens van één dag.

Laat de leerlingen ook raden voor welke datum deze voorspellingen gemaakt zijn. (Antwoord: de voorspellingen werden op 17 juni gemaakt en voorspellen het weer op 18 juni. Terwijl het bij ons dan bijna zomer is, is het winter in Antarctica, vandaar het extreme temperatuursverschil).

3) STEL JE EIGEN WEERBERICHT OP

Doelgroep	15-18 jaar	Duur	120 minuten thuis, daarna 2 x 20 minuten in klas
Doel	Vertrouwd geraken met weervoorspellingen en observaties, en het verschil tussen beide leren kennen		

Tijdens dit groepswork leren de leerlingen de wereld van onze weersvoorspellers beter kennen. Deze activiteit gebeurt in vier stappen.

STAP 1:

Deel je klas in groepen in, en geef iedere groep de naam van één van de volgende steden: Ukkel, Saint-Hubert, Middelkerke, Melle, Florennes. Geef hen de links die beschreven staan in de leerlingenfiche, en laat hen de stappen die daar beschreven staan doorlopen. De leerlingen krijgen een blad papier dat ingedeeld is in vier kolommen. De eerste kolom bevat de stad die ze bestuderen, de drie andere dienen om hun voorspellingen neer te schrijven die ze net berekend hebben (zie leerlingenfiche). Je kan deze oefening ook uitbreiden door hen voorspellingen te laten maken over een langere periode (bv. 5-7 dagen). Opmerking: in de leerlingenfiche kan de laatste opdracht (in verband met fronten en luchtmassa's) van deze stap eventueel overgeslagen worden.

STAP 2:

Daarna (max. 1 dag later) brengt u alle informatie samen om zo de weersvoorspellingen van alle steden tegelijk te verkrijgen. (Deze stap kan u ook eventueel overslaan indien u de oefening korter wil maken).

STAP 3:

Elke groep zoekt de observaties (niet verwarren met voorspellingen!) op uit zijn eigen stad, voor de dagen waarvoor in stappen 1 en 2 voorspellingen zijn gemaakt. Die observaties worden neergeschreven in een formaat dat analoog is aan dat van de voorspellingen.

STAP 4:

Vergelijk de voorspellingen met de observaties: merk op dat de weersvoorspellingen voor de laatste dag van de voorspelde periode minder betrouwbaar zijn dan die voor de eerste dag (dit verschil is duidelijker wanneer de voorspellingen zijn gemaakt voor een langere periode). Dit is niet te wijten aan het gebruikte klimaatmodel, maar wel aan de moeilijkheid om het weer op lange termijn te voorspellen, omdat er zodanig veel verschillende invloeden en mechanismen een rol spelen in het weer en klimaat, dat de berekeningen op termijn alle kanten uit kunnen gaan.

Opmerking: U kunt deze oefening uitdagend maken door ze ook toe te passen op locaties in Antarctica. U kunt eventueel de coördinaten gebruiken die opgegeven staan in Oefening 2 in dit Pedagogisch Dossier.

ANDERE IDEEËN VOOR ACTIVITEITEN

- Activiteit 1 uit dit dossier kan gemakkelijk **uitgebreid** worden zodat ze beter geschikt is voor **oudere studenten (15-18 jaar)**. Op <http://amrc.ssec.wisc.edu/aws.html> vindt u meer informatie over Automatische Weerstations in Antarctica, en de instrumenten die zij bevatten. Laat de leerlingen discussiëren over de noden en risico's bij het meten van meteorologische gegevens in Antarctica (bv. tot welke vriestemperatuur kunnen kwikthermometers meten?, Hoe kan je op een duurzame manier electriciteit voorzien aan een Automatisch Weerstation in Antarctica?). Stel hen ook de vraag of ze alle weerstations op dezelfde hoogte boven het ijsoppervlak zouden plaatsen, of er een verschillende constructietechniek nodig is voor sneeuw-accumulatie en netto ablatie zones, en laat hen bespreken waar (bv. kust versus binnenland) ze het best weerstations kunnen plaatsen in Antarctica (en waarom daar) om een goed beeld te krijgen over het weer (en het klimaat) op het witte continent. Laat hen bepalen hoeveel weerstations zij zouden plaatsen, en laat hen informatie hierover opzoeken op het internet. Zij kunnen de kaart uit activiteit 2 gebruiken om aan te duiden waar zij weerstations zouden plaatsen.
- Er is **nóg een activiteit** beschikbaar die handelt over het **verschil tussen het weer en het klimaat**. Zie het pedagogisch dossier n° 3: 'Klimaatverandering (1/2): wat weten we?' op http://www.educapoles.org/nl/education_material/teaching_dossier_detail/cze_3_klimaatverandering_wat_weten_we/

HELP, DE WEERSTATIONS VAN ANTARCTICA EN BELGIË ZIJN GEWISSELD?!

Deze voorwerpen dienen om het weer te meten. Help jij mee zoeken welke voorwerpen (instrumenten) beter in Antarctica zouden gebruikt worden, en welke beter in Brussel blijven? Waarvoor dienen deze voorwerpen, en waarom denk je dat ze beter wel (of niet) in Antarctica zouden werken?

Kies uit de onderstaande lijst de juiste naam bij het juiste voorwerp:
weerhut, pluviometer, kwikthermometer, weerballon, anemoemter, hoogtemeter

Schrijf voor ieder instrument op of het eerder in Brussel en/of in Antarctica gebruikt zal worden. Weet je ook waarvoor ieder instrument dient?

Instrument	Naam	Brussel / Antarctica?	Waarvoor dient het?
			
			
			
			
			

MAAK JE EIGEN WEERKAARTEN

1. Duid, met behulp van een atlas, de verschillende plaatsnamen die worden weergegeven in de tabel hieronder aan op een kaart.
2. Maak je eigen weerkaarten op door de gegevens uit de tabel over te brengen. Je kan uiteraard je eigen symbolen bedenken of die van het KMI (www.meteo.be) gebruiken, bijvoorbeeld.
3. Vergelijk de weerberichten: wat zijn de belangrijkste verschillen?
4. Schiftingsvraag: voor welke dag werden deze weersvoorspellingen gemaakt? Diegene die het dichtst bij de juiste datum zit, heeft gewonnen!

Europa	Breedtegraad	Lengtegraad	T° (C°)	Neerslag (mm/dag)	Windsnelheid (m/s)	Wind Chill Index ²	Bewolking %
Brussel	50° 54' N	4° 32' E	13,6	0,0	3,755412	12,5051	94,3
Genève	46° 12' N	6° 9' E	12,3	2,6	1,388988	12,3643	97,3
Londen	51° 30' N	0° 7' W	13,3	7,8	3,806856	12,1180	98,2
Nice	43° 42' N	7° 16' E	17,7	1,4	5,195844	17,1672	44,1
Groningen	53° 13' N	6° 34' E	11,6	0,0	6,018948	9,2540	98,0
Rome	41° 54' N	12° 30' E	19,7	0,0	3,138084	20,1179	9,8
Athene	37° 58' N	23° 43' E	23,3	2,2	2,983752	24,4845	48,0
Madrid	40° 26' N	3° 41' W	20,4	2,0	1,646208	21,4364	68,0
Oslo	59° 55' N	10° 44' E	10,4	2,5	4,835736	8,1378	97,2
Antarctica	Breedtegraad	Lengtegraad	T° (C°)	Neerslag (mm/dag)	Windsnelheid (m/s)	Wind Chill Index	Bewolking %
PEA	71° 57' S	68° 7' W	-37,3	0,0	5,144400	-51,7922	0,5
DomeC	75° 06' S	123° 20' E	-58,2	0,0	4,218408	-76,2835	100,0
Rothera	67° 34' S	23° 20' E	-19,1	0,0	2,366424	-25,4386	0,0

Bron: Voorspelling op basis van een computermodel: <http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php>

2 De 'Wind Chill Index' geeft de temperatuur weer die door toedoen van de wind bereikt wordt (de index heeft geen eenheden)

STEL JE EIGEN WEERBERICHT OP

STAP 1:

In kleinere groepjes maken de leerlingen een weerbericht op voor de drie volgende dagen voor een stad uit hun land. Hiervoor beschikken ze over de volgende hulpmiddelen:

- a. De meteogrammen geproduceerd door een weermodel (nl. het 'Global Forecast System (GFS) model': zie <http://ready.arl.noaa.gov/READYcmets.php>). Volg de onderstaande aanwijzingen:
 - Geef de geografische coördinaten van jouw stad in, naast **Latitude** (= breedtegraad) en naast **Longitude** (= lengtegraad). Pas op, dit moet in decimale graden gebeuren, voor Brussel is dit bv. 50.90 (latitude) en 4.53 (longitude). Klik vervolgens op **Continue**.
 - Naast **METEOGRAM**, kies **GFS Model 0-180h, 3hrly, global** en klik op **GO**
 - Klik op **NEXT**
 - Naast **Forecast duration from starting time**, kies **72 hours**
 - Naast **Fields to plot**, kies **Choose from below**
 - Laat de optie naast **Plot text below wind flags** staan op '**Speed only**'
 - Naast **Field 1**, kies **Temperature - 2 meters AGL (SFC)**³
 - Naast **Field 2**, kies **Accumulated precipitation (SFC)**
 - Naast **Field 3**, kies **Wind speed (SFC\3D)**
 - Naast **Field 4**, kies **Total cloud cover (SFC)**
 - Laat verder alle opties staan zoals ze standaard ingegeven zijn
 - Tik (onderaan de pagina) de code in die in het blauwe vak gegeven wordt, en klik op **Get Meteogram**
 - Proficiat! Je hebt nu een weersvoorspelling gemaakt! Bekijk de grafieken. Op de X-as staat de tijd weergegeven (gaande van 0 tot 72 uur). De eerste grafiek stelt de totale wolkenbedekking voor, in procent. De figuur daaronder stelt de windsnelheid (let op: in knopen! Reken deze om naar km/h). De grafiek daaronder geeft de neerslag weer (in mm per 3 h), en in de onderste grafiek wordt de temperatuur (in °C) weergegeven door de rode lijn.
- b. De website van het KMI (<http://www.meteo.be/meteo/view/nl/123492-Weermodel.html>) verschaft je nauwkeurigere voorspellingskaarten voor België, die gebaseerd zijn op een model ('ALARO') dat door het KMI wordt gebruikt, en dat voorspellingen tot 36 uur op voorhand kan berekenen. Vergelijk deze kaarten met de voorspellingen die je a.h.v. het GFS-model had berekend.
- c. Op basis van de bovenstaande voorspellingen worden doorgaans weerkaarten gemaakt (voor de drie volgende dagen). Op die kaarten staan fronten, hoge- en lagedrukgebieden etc. Lees de informatie op de website van het KMI (<http://www.meteo.be/meteo/view/nl/123489-Weerkaarten.html>). Bespreek de kaarten: zijn er hoge of lagedrukgebieden aanwezig? Zie je frontlijnen?

STAP 2:

Bespreking van de resultaten in de klas: zijn er verschillen tussen het voorspelde weer in verschillende steden? Zal het overal even droog/nat of warm/koud zijn? In welke richting bewegen de storingen zich?

STAP 3:

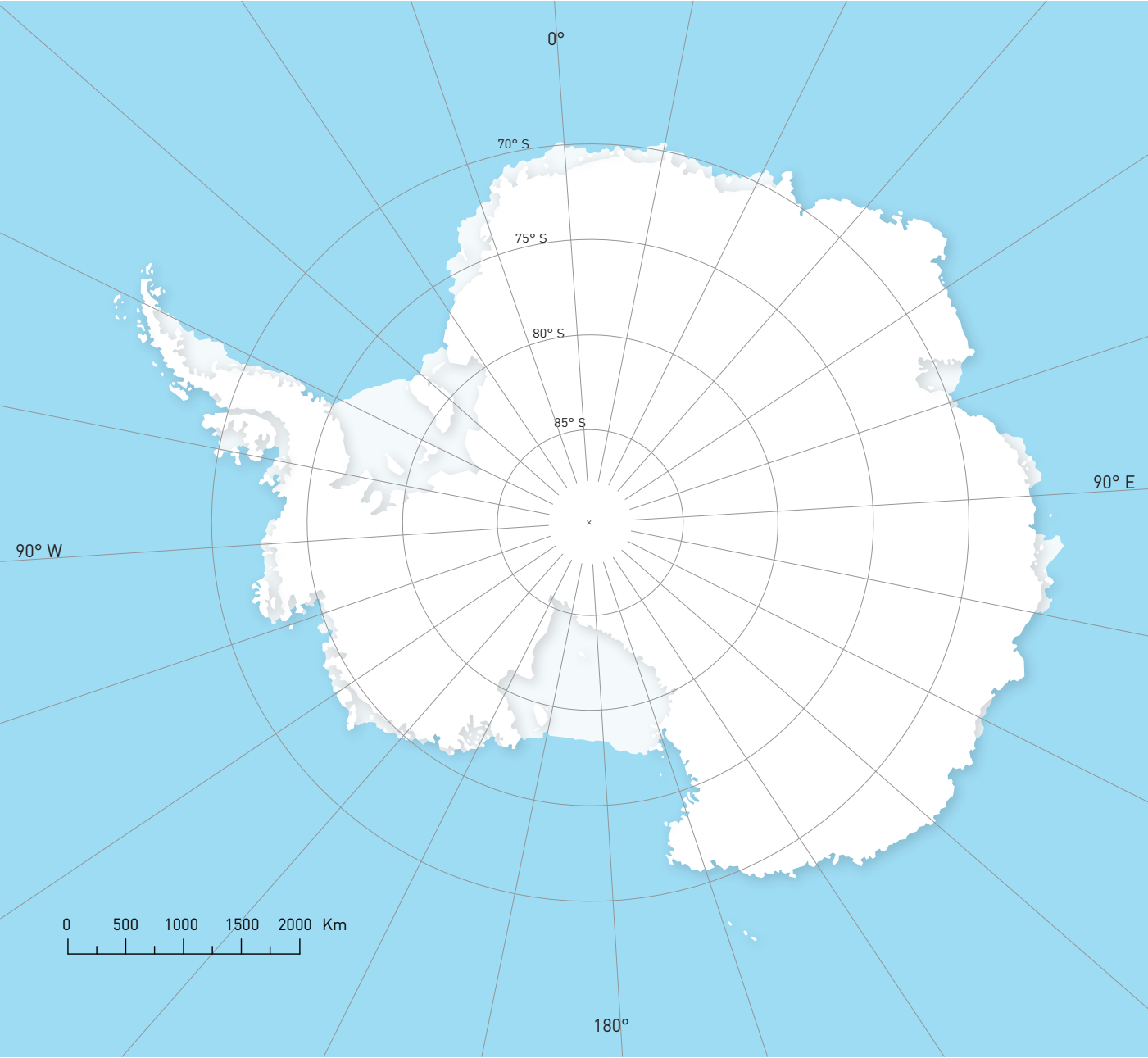
Noteer alle observaties voor de stad die voor jou van belang is voor de hele duur van je voorspelling.

STAP 4:

Beeoordeel in de klas de kwaliteit van de voorspellingen.

³ SFC= 'Surface' SFC duidt aan dat het gaat over fenomenen die aan de aardoppervlakte waargenomen zijn.

BIJLAGE 1



BIJLAGE 2

