1 Het klimaatsysteem

De hoofdvraag in dit hoofdstuk is:

Wat is de wisselwerking tussen de atmosfeer, de oceanen en het land bij de totstandkoming van klimaten?

1.1 De atmosfeer: een omhulsel van gas

Deelvragen

1 Wat is het verschil tussen weer en klimaat?

2 Wat is de samenstelling en opbouw van de atmosfeer?

3 Waarom zijn er variaties in de stralingsbalans?

Weer en klimaat

► De toestand van de dampkring op een bepaald moment en voor een klein gebied, noem je het weer.

Het klimaat is de gemiddelde toestand van het weer over een lange periode en voor een groot gebied.

► Het systeem aarde bestaat uit vier sferen: de atmosfeer, de hydrosfeer, de lithosfeer en de biosfeer.

Samenstelling en opbouw van de atmosfeer

► Meer dan 80% van de gassen die de dampkring vormen, tref je aan in de onderste 10 kilometer.

● Samenstelling van de atmosfeer: stikstof (78,01%), zuurstof (20,95%), kleine hoeveelheden waterdamp en koolstofdioxide.

► De atmosfeer is opgebouwd uit vier lagen, gescheiden door pauzes.

● De onderste laag is de troposfeer (9-12 kilometer dik). Hierin daalt de temperatuur met toenemende hoogte. Dit heet de temperatuurgradiënt.

● De laag hierboven heet de stratosfeer. Hierin zit veel ozongas (O3) dat de schadelijke ultraviolette straling uit het zonlicht filtert.

● De twee buitenste lagen zijn de mesosfeer en de thermosfeer.

Stralingsbalans

► Er is een evenwicht tussen de hoeveelheid straling die de aarde bereikt en de hoeveelheid straling die de atmosfeer weer verlaat. Dit heet de energiebalans of stralingsbalans.

● Albedo is de weerkaatsing van het zonlicht door wolken.

● De kortgolvige zonnestraling die het aardoppervlak bereikt, wordt omgezet in warmte en door de aarde als langgolvige straling teruggekaatst. Door het broeikaseffect wordt de warmte die de aarde uitstraalt als langgolvige straling teruggekaatst.

Variaties in de stralingsbalans

► De hoeveelheid straling die een bepaald gebied op aarde ontvangt, hangt af van: de breedteligging, het albedo en de gesteldheid van het aardoppervlak.

● Door de bolling van de aarde vallen op lage breedte de zonnestralen loodrecht in. Hierdoor is de hoeveelheid straling per oppervlakte-eenheid groter dan op hoge breedte. Doordat deze zonnestralen ook een kortere weg door de dampkring afleggen, wordt er minder energie door de lucht opgenomen.

● De weerkaatsing van het zonlicht, het albedo, verschilt van gebied tot gebied.

● Water wordt langzamer warm en koud dan land. Dit heeft vier oorzaken:

- het zonlicht kan dieper in het water doordringen dan in het land

- doordat water in beweging is, wordt de warmte beter verdeeld dan op het land

- het kost meer energie om water een graad in temperatuur te laten stijgen dan land

- bij verdamping van water gaat energie uit het water naar de dampkring.

1.2 Warmtetransport door de wind

Deelvragen

4 Wat is de verklaring voor het globale windsysteem?

5 Waarom zijn er variaties op het globale windsysteem?

Luchtdrukverschillen

► Door lucht en water vindt er transport van warmte plaats van de evenaar naar de polen.

► Door verschil in luchtdruk gaat lucht stromen van een hogedrukgebied naar een lagedrukgebied. Wind is niets anders dan stromende lucht van plaatsen waar er te veel van is naar plaatsten waar er te weinig van is.

Het corioliseffect

► Door de draaiing van de aarde wordt de corioliskracht veroorzaakt.

● De lucht die aan het aardoppervlak van de Noordpool naar de evenaar stroomt, ontmoet op ongeveer 60° N.B. de naar het noorden stromende lucht die vanaf 30° N.B. komt. De lucht botst en stijgt.

► Door deze circulaties zijn er zeven gordels van hoge en lage luchtdruk met het bijhorende windsysteem. De wind op het aardoppervlak krijgt door de corioliskracht een afwijking.

Wet van Buys Ballot: als je met je rug naar de wind staat, krijgt op het noordelijk halfrond de wind een afwijking naar rechts en op het zuidelijk halfrond een afwijking naar links.

Passaat: droge wind die het hele jaar uit oostelijke richting van de subtropische hogedrukgebieden naar de evenaar waait.

Afwijkingen van het globale windsysteem

► Door de schuine stand van de aardas en verschillen tussen land en zee treden er afwijkingen op.

● De zone van lage luchtdruk rond de evenaar, de intertropische convergentiezone (ITCZ), verschuift met de loodrechte zonnestand mee. Daardoor verschuift het windsysteem rond de evenaar in juli naar het noorden en in januari naar het zuiden.

● Doordat de verschillen in temperatuur tussen zomer en winter boven de continenten het grootst zijn, is de verschuiving daar het sterkst. Door deze verschuiving waaien er in sommige gebieden rond de evenaar winden die na een halfjaar 180° draaien: moessons.

1.3 Rivieren in de oceanen

Deelvragen

6 Wat is de invloed van zeestromen op het klimaat?

7 Wat zijn El Niño en La Niña?

Zeestromen

► De overheersende winden zijn de reden voor het ontstaan van de zeestromen. Deze zorgen voor een herverdeling van zonne-energie over de aarde. Ook zeestromen krijgen door de corioliskracht een afwijking.

● Op het noordelijk halfrond draait het circulatiepatroon met de wijzers van de klok mee, op het zuidelijk halfrond tegen de wijzers van de klok in.

 Uitzondering: de Westenwinddrift ten noorden van Antarctica. Dit is de enige zeestroom die ongehinderd van west naar oost rond de aarde stroomt.

► Er zijn twee soorten zeestromen: warme en koude zeestromen. De warme zeestromen brengen warm water naar de polen en koude zeestromen zorgen ervoor dat koud water naar lagere breedtes stroomt.

 Warm en koud betekent dat de watertemperatuur hoger of lager is dan je op een bepaalde breedtegraad zou mogen verwachten.

Thermohaline circulatie

► Door de Golfstroom heeft Noordwest-Europa een zachter klimaat dan de geografische breedte zou doen verwachten.

Door de daling van de temperatuur en de grote hoeveelheid zout, zinkt het water van de Golfstroom voor de kust van IJsland naar de oceaanbodem. Deze stroming langs de bodem van de oceaan wordt de Noord-Atlantische Diep Water Stroming genoemd.

● Omdat er bij Groenland steeds weer nieuw water naar beneden zinkt, wordt het diepe water op andere plekken in de oceanen opnieuw omhoog gestuwd. Deze oceaanstroming heet de thermohaline circulatie. Dit thermohaline circulatiesysteem werkt als een geweldige diepwaterpomp die warm water uit de tropische streken naar het noorden stuwt en dan weer retour laat gaan via de diepte van de oceanen.

Het Kerstkind

► Aangedreven door passaten neemt de Zuid-Equatoriale Stroom veel warm water mee naar Indonesië en het noordoosten van Australië. Hier veel neerslag doordat het warme zeewater opstijgt. Aan de andere kant van de Grote Oceaan, bij de Zuid-Amerikaanse westkust, blaast de aflandige passaatwind het oppervlaktewater van de kust weg. Dit wordt aangevuld door koel water dat uit de diepte van de oceaan opwelt. Dat water is rijk aan plankton, dat weer veel vis aantrekt.

► Rond de jaarwisseling is er gedurende twee tot drie maanden een onderbreking in dit windpatroon. Doordat er geen koud water meer kan opwellen, wordt de hoeveelheid plankton minder en verdwijnen de vissen. De vissers in dat gebied noemen het verschijnsel El Niño.

● Elke twee tot zeven jaar komt een krachtige El Niño voor. De gevolgen hiervan zijn mondiaal. Bijvoorbeeld: extreme droogte in Australië, Zuidoost-Azië en Zuid-Afrika, verhoogde orkaanactiviteit, overstromingen in het zuiden van de Verenigde Staten en warmere winters in Canada.

La Niña

► Bij La Niña zijn de klimaatomstandigheden precies het tegenovergestelde van El Niño: sterkere passaten waardoor grote hoeveelheden oceaanwater westwaarts gestuwd worden en de zeespiegel stijgt bij Indonesië en de Filipijnen.

1.4 Het klimaat als systeem

Deelvraag

8 Waarom treden er klimaatveranderingen op?

Samenspel

► De totstandkoming van een klimaat is een samenspel tussen lucht, water, ijs, land en vegetatie.

Voorwaarden

► Er zijn drie grote factoren die aanzet kunnen geven tot een verandering van het klimaat.

● Allereerst moet er aan een aantal randvoorwaarden worden voldaan voordat er een verandering kan optreden. Dit worden de conditionele factoren genoemd.

● Factoren die bijdragen aan de gebeurtenis, maar geen randvoorwaarden zijn, noem je sturende mechanismen.

● De derde externe factor is de variatie in de hoeveelheid zonne-energie die de aarde ontvangt.

Versterking of verzwakking?

► Door terugkoppelingsmechanismen wordt het proces van klimaatverandering beïnvloed.

● Bij een positieve terugkoppeling wordt het proces versterkt.

● Bij een negatieve terugkoppeling wordt het proces verzwakt.

2 Klimaatverandering is niets nieuws!

De hoofdvraag in dit hoofdstuk is:

Wat zijn de oorzaken van enkele grote klimaatveranderingen die de aarde heeft gekend?

2.1 Woestijnaarde

Deelvragen

1 Wat is het verband tussen de woestijnaarde uit het Perm en de platentektoniek?

2 Waarom heeft Nederland de aardgasvoorraden en het zout te danken aan de woestijnaarde?

Perm

► Door fossielen- en gesteenteonderzoek en een reconstructie van de platentektonische bewegingen is er veel informatie over het klimaat in het Perm (300 miljoen jaar tot 250 miljoen jaar geleden). Continentverschuiving en de daarmee gepaard gaande zeespiegelbewegingen zijn bepalend geweest voor het klimaat.

Alfred Wegener

► Volgens Alfred Wegener hadden alle continenten in het verre verleden aan elkaar vastgezeten – het oercontinent Pangea. Door het later uiteenvallen van Pangea waren volgens hem de huidige continenten en oceanen gevormd.

Wegener kon niet verklaren waarom Pangea was opengebroken en waarom de continenten bewogen.

Platentektoniek

► Halverwege de vorige eeuw werd duidelijk dat in de oceanen onderzeese gebergtegordels liggen. De oceaanbodem was veel jonger dan het gesteente van de continenten.

► Hoe verder weg van de onderzeese gebergteketens het gesteente werd gevonden, hoe ouder het bleek te zijn.

Door seafloor spreading wordt nieuw gesteente gevormd dat zich horizontaal verplaatst.

► De aardkorst bestaat uit allemaal delen die bij de midoceanische ruggen uit elkaar drijven. De oceaanbodem beweegt horizontaal en neemt de continenten mee. Er zijn ook plekken op aarde waar de platen met elkaar botsen en waar de ene plaat onder de andere duikt en wordt vernietigd.

► De beweging van de platen wordt aangedreven door de inwendige warmte van de aarde. Er zijn kringlopen van gesteente, de convectiestromen.

Supercontinent

► In het Perm was er Pangea, ontstaan door botsing van platen. Dit supercontinent strekte zich uit van pool tot pool. In deze tijd kende een groot deel van de wereld een continentaal klimaat, omdat veel land ver van de oceaan lag. Het was erg droog en het grootste deel van de aarde was woestijngebied.

► Er was veel water opgeslagen in een ijskap. Hierdoor stond de zeespiegel relatief laag  meer gesteenten blootgesteld aan verwering en erosie  afbraakmateriaal namen de rivieren mee naar de oceanen  flora en fauna in de oceanen meer voedingsstoffen  sterke plantengroei leidde tot onttrekking van veel CO2  laag CO2-gehalte is vermindering van het broeikaseffect, dus afkoeling  groei ijskappen en daling zeespiegel.

● De zandlagen in de woestijn hebben een kenmerkende rode kleur, die is ontstaan door de ijzerdeeltjes in het zand.

Zout in Nederland

► Gedurende het Perm lag het huidige Nederland ter hoogte van de huidige Sahara. Het maakte deel uit van een grote woestijn die zich van Engeland tot Polen uitstrekte en die was omgeven door gebergtes. Aan het einde van het Perm overstroomde dit gebied. Toen de zee zich had teruggetrokken, verdampte het water door het droge klimaat. Het gevolg was dat zoutkristallen zich op de bodem afzetten.

Steenkool en aardgas in Nederland

► In het Carboon lag het huidige Nederland ter hoogte van de evenaar: moerasachtig, tropisch gebied. Planten die doodgingen kwamen in het zuurstofarme water van de moerassen terecht en vormden dikke veenlagen. Door het inkolingsproces ontstaat uit veen uiteindelijk steenkool.

De dikke zoutlagen uit het Perm vormden een dekgesteente waardoor de uit de plantenresten ontsnappende gassen werden tegengehouden. De zandlagen uit het Perm dienden als reservoirgesteente.

2.2 Broeikasaarde

Deelvragen

3 Waarom was er tijdens het krijt sprake van een broeikasaarde?

4 Waardoor kwam er een abrupt einde aan de broeikasaarde?

Scheuren

► Na het Perm scheurde Pangea door het omkeren van de convectiestromen open. Door het omkeren van de richting van de convectiestromen scheurde de afdeklaag en raakten de continenten op drift.

● Na het openbreken van Pangea dreven de continenten versneld uit elkaar.

Zeespiegel

► Door al deze plaatbewegingen ontstond een groot oppervlak aan nieuwe oceaanbodem. De zeespiegel in die tijd stond 200 tot 300 meter hoger dan nu. De verklaring hiervoor heeft te maken met de dikte van de oceanische korst. In het algemeen kun je stellen dat de oceanische korst dunner is, naarmate je verder weg bent van de midoceanische ruggen. Verder weg is de warmte minder en krimpt het gesteente. In deze tijd, waarin de platen snel uit elkaar dreven, werd er veel nieuwe oceanische korst gevormd. Hierdoor was er weinig krimp en waren de oceanen ondiep. Al het smeltwater van de ijskappen verdween ook in de oceanen. Als gevolg van de warmte zette ook het zeewater uit.

Koolzuurgas

► Er was een zeer hoog CO2-gehalte in de atmosfeer. Het snel uiteendrijven van de platen was hiervoor verantwoordelijk. Bij vulkaanuitbarstingen komen namelijk grote hoeveelheden vulkanische gassen in de atmosfeer.

► Waar is al dat koolzuurgas gebleven? Het antwoord hierop vind je in de koolstofcyclus. De CO2 in de lucht verbindt zich met waterdruppels en vormt koolzuur. Dit zwakke zuur valt samen met de neerslag op de gesteenten op aarde. Het natrium (Na), het kalium (K) en het calcium (Ca) waar de mineralen van deze gesteentes uit bestaan, lossen op en vormen klei. Deze klei wordt door de rivieren en het grondwater samen met het koolzuur naar de zee gebracht. Hier maken allerlei beestjes er kalkskeletten van. Uiteindelijk worden er dikke kalklagen gevormd.

‘The past is the key to the present’

► Bij het actualiteitsprincipe wordt aangenomen dat processen in het verleden op dezelfde manier zijn verlopen als tegenwoordig.

Dinokiller?

► Op de grens tussen het Krijt en het Tertiair was er een abrupte klimaatverandering. De oorzaak is waarschijnlijk een geweldige meteorietinslag.

● Bij onderzoek zijn sedimenten gevonden met een relatief hoog gehalte aan iridium, dit mineraal is in meteorieten veel aanwezig. In Yucatan (Mexico) is een inslagkrater gevonden die uit die tijd stamt.

● Meer aanwijzingen voor de theorie:

- er zijn mineralen gevonden die normaal gesproken op aarde niet voorkomen

- koolstof in sedimenten door de branden die na de klap over de gehele wereld moeten hebben gewoed

- de geweldige hoeveelheden stikstofoxiden gingen een chemische reactie aan met de ozon in de atmosfeer. Daardoor werd de ozonlaag dunner en kwam er veel meer ultraviolette straling van de zon binnen

- veel fijn stof in de atmosfeer dat het zonlicht blokkeerde met als gevolg een afkoeling die een paar jaar geduurd kan hebben

- verstoring van de fotosynthese waardoor voedselketens werden vernietigd.

2.3 IJstijdaarde

Deelvraag

5 Wat zijn de sturende mechanismen achter de ijstijden in het pleistoceen?

IJstijden en warmere periodes

► Kenmerkend voor het Kwartair is een afwisseling van glacialen en interglacialen. Deze variatie is toe te schrijven aan een complex samenspel van meerdere factoren die zich afspelen op verschillende tijdschalen.

● De ligging van de continenten en het verschuiven hiervan als gevolg van platentektoniek is meestal de belangrijkste factor. Eén van de voorwaarden voor een ijstijd is dat er veel land in de omgeving van de polen ligt.

● Kleine veranderingen in de baan van de aarde om de zon en in de stand van de aardas spelen ook een rol. Hierdoor verandert de verdeling van de zonnestraling over de aarde.

Milankovitch

► Milankovitch heeft onderzoek gedaan naar veranderingen in de baan van de aarde om de zon en in de stand van de aardas.

● excentriciteit: de ellipsvormige baan van de aarde om de zon wisselt om de 100.000 tot 400.000 jaar.

● scheefstelling: de hoek van de aardas ten opzichte van de baan van de aarde om de zon varieert.

● precessie: de schommeling van de aardas.

► Veranderingen in deze drie grootheden veroorzaken variaties in de hoeveelheid instraling die de aarde ontvangt. Een klein verschil kan ervoor zorgen dat de gemiddelde mondiale temperatuur stijgt of daalt met 5° C.

► Aan de hand van figuur 2.19 kun je verklaren dat een ijstijd kan ontstaan door kleine veranderingen in de stand van de aardas.

Andere factoren

► Er treden ook nog allerlei positieve en negatieve terugkoppelingsmechanismen op.

● Het huidige patroon van zeestromen was totaal anders. Er werd dus geen warmte naar onze breedtegraad vervoerd.

● Ook vulkanische activiteit heeft invloed op de temperatuur. Stofdeeltjes blijven een paar jaar in de dampkring en reflecteren het zonlicht. Het aardoppervlak wordt daardoor koeler.

2.4 Reconstructie van klimaten uit het verleden

Deelvraag

6 Hoe worden klimaatveranderingen uit het verleden gereconstrueerd?

Vroeger

► De paleoklimatologie is de wetenschap die inzicht probeert te krijgen in de vroegere klimaten op aarde en de mechanismen die veranderingen hebben veroorzaakt.

► Om klimaten uit het verleden te reconstrueren, wordt vaak gewerkt met proxy-indicatoren. Deze indicatoren zeggen indirect iets over het klimaat in het verleden.

● Door te kijken naar de isotopen van bepaalde elementen in sedimenten en fossielen kan de afwisseling van warmere en koudere perioden worden vastgesteld. Isotopen zijn atomen met dezelfde chemische eigenschappen, maar met verschillende atoomgewichten. Vaak wordt gewerkt met de 16O-18O verhouding.

● De 14C-methode wordt gebruikt om de ouderdom van organisch materiaal te bepalen. De methode is gebaseerd op het gegeven dat het gehalte aan de radioactieve koolstofisotoop ongeveer constant is in de lucht, maar door radioactief verval afneemt in dood materiaal.

● De geomorfologie legt zich toe op de beschrijving en de verklaring van de vormen in het landschap, zoals rivierdalen, berghellingen en kusten. Ook de geomorfologie heeft aanwijzingen opgeleverd voor vroegere klimaten.

● Twee van de meest gebruikte technieken voor het bepalen van het klimaat tijdens het holoceen zijn de pollenanalyse (palynologie) en het onderzoeken van de jaarringen van bomen (dendrochronologie).

● Bij het onderzoek naar het klimaat van de laatste paar duizend jaar kun je historische bronnen gebruiken.