

AARDE & KLIMAAT – HAVO

Foton is een opgavenverzameling voor het nieuwe eindexamenprogramma natuurkunde.

Foton is gratis te downloaden via natuurkundeuitgelegd.nl/foton

Uitwerkingen van alle opgaven staan op natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen

Videolessen over de theorie zijn te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen

Theorie bij dit hoofdstuk strekt zich uit over alle centraal-examen onderwerpen. Er zijn dus geen aparte videolessen bij dit onderwerp. Bij elke opgave zit een inleiding die voldoende uitleg bevat om de opgave te kunnen maken.



“Aarde & Klimaat” is als **keuzeonderwerp** onderdeel van het HAVO schoolexamen.

Voor dit onderwerp is geen landelijke stofomschrijving. Precieze invulling kan van school tot school verschillen

1 Druk

In sommige situaties is niet de kracht die ergens op wordt uitgeoefend van belang maar de kracht per oppervlakte. Dit staat in de natuurkunde bekend als de *druk*. De druk als gevolg van een bepaalde kracht kan worden uitgerekend met onderstaande formule.

De bovenkant van een punaise heeft een oppervlak van $0,65 \text{ cm}^2$. De punt van een punaise heeft een oppervlak van $2,1 \text{ mm}^2$. Josh wil met de punaise een poster ophangen op zijn prikbord en duwt met een kracht van $1,5 \text{ N}$ op de bovenkant van een punaise. Deze kracht is niet voldoende om de punaise het prikbord in te duwen.

- Bereken de druk die Josh met zijn vinger op de punaise uitoefent.
- Bereken de druk die de punt van de punaise op het prikbord uitoefent.
- De minimale druk die nodig is om de punaise het prikbord in te duwen is $1,0 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Bereken de kracht die Josh op de punaise moet uitoefenen om de poster op te hangen.
- Met een scherpere punt zou de kracht die nodig is kleiner zijn. Leg uit waarom.

$$p = \frac{F}{A}$$

p = druk (Pa)
 N = kracht (N)
 A = oppervlak (m^2)

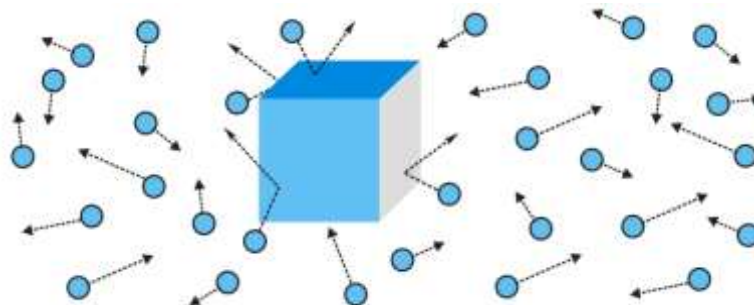


2 Gasdruk

Ook een gas kan een druk uitoefenen op een voorwerp. Dit komt omdat in een gas de moleculen met grote snelheid door elkaar bewegen. Zie afbeelding hieronder: Op het moment dat een molecuul tegen een voorwerp botst, oefent het eventjes een kracht uit. Het

resultaat van ontelbare botsinkjes is dat er voortdurende kracht wordt uitgeoefend op elk voorwerp waar het gas mee in aanraking komt. Omdat een gas altijd de gehele ruimte vult waarin het is opgesloten en de moleculen overal botsen wordt ook wel gesproken over de druk die 'in een gas heerst'.

- In een gas waar een druk van $6,6 \cdot 10^4$ Pa heerst bevindt zich een kubus van $5,0 \times 5,0 \times 5,0$ cm. Bereken de grootte van de kracht die op elk van de zijden van de kubus wordt uitgeoefend.
- Leg uit waarom de resulterende kracht op de kubus 0 N is.
- Ook in de lucht heerst een bepaalde druk. De gemiddelde druk van de lucht om ons heen wordt de *standaarddruk* genoemd. De standaarddruk is te vinden in BINAS tabel 7. Bereken de kracht die de lucht uitoefent op een raam van 75 cm bij 1,0 m .
- Laat zien dat de kracht uit de vorige vraag groter is dan het gewicht van een olifant (zie BINAS tabel 6)
- Leg uit waarom we in het dagelijks leven niks merken van de gigantische druk die de lucht op ons uitoefent.
- Het instrument wat weerkundigen gebruiken voor het meten van de luchtdruk is de barometer. In de weerkunde werd vroeger als eenheid voor druk niet de Pascal (Pa) maar de millibar gebruikt en veel barometers geven de druk nog in millibar weer. Tegenwoordig wordt de eenheid hectopascal (hPa) gebruikt. Laat aan de hand van BINAS zien dat een hectopascal en een millibar eigenlijk hetzelfde zijn.



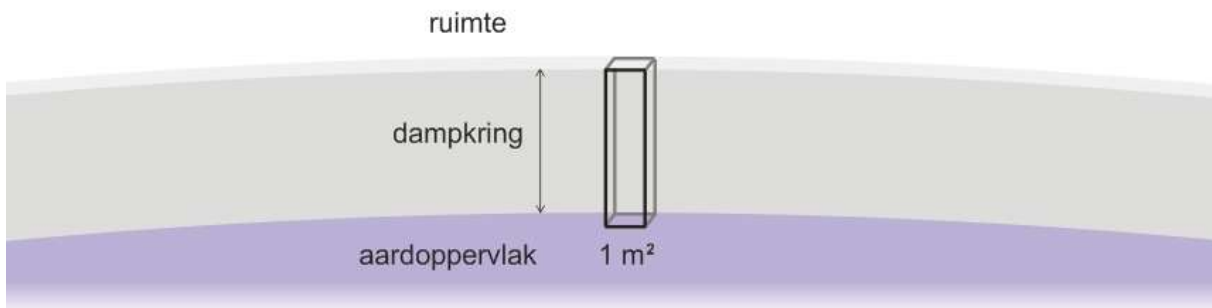
3 Luchtkolom

De luchtdruk op het aardoppervlak is gemiddeld $1,0325 \cdot 10^5$ Pa (de standaarddruk, zie BINAS tabel 7). Een verklaring voor het ontstaan van deze luchtdruk is dat ook lucht massa heeft en dat de bovenste luchtlagen op ons drukken. In de afbeelding hieronder staat schematisch weergegeven hoe er boven elke vierkante meter aardoppervlak een denkbeeldige kolom lucht rust. Deze afbeelding is niet op schaal.

- Bereken de massa van de luchtkolom als je uitgaat van een hoogte van de dampkring van 50 km. Gebruik hiervoor de dichtheid van lucht uit BINAS tabel 12. Je mag hierbij aannemen dat de dichtheid constant is.
- Bereken de kracht waarmee de massa lucht uit de vorige vraag op de vierkante meter aardoppervlak drukt. Je mag er hierbij vanuit gaan dat de zwaartekrachtsversnelling g

constant is.

- c De druk die de luchtmasa uit de vorige vraag uitoefent op het aardoppervlak is meer dan meer dan 6 keer zo groot als de werkelijk luchtdruk op aarde. Laat dit zien met een berekening. Bereken hiervoor eerst de zwaartekracht die er op de luchtmasa werkt.
- d Kennelijk hebben we de hoogte van de dampkring veel te groot ingeschat. Bereken de hoogte die de dampkring zou moeten hebben om op de goede druk uit te komen.
- e In werkelijkheid is de dampkring veel hoger dan het antwoord op de vorige vraag en zelfs hoger dan de 50 km waar we in vraag a vanuit zijn gegaan.. Hieronder staan twee mogelijke verklaringen voor de afwijking . Beredeneer voor elk of dit inderdaad een verklaring kan zijn voor de afwijking.
 - De zwaartekrachtsversnelling g neemt in af met toenemende hoogte
 - De dichtheid van de lucht neemt af met toenemende hoogte



4 Dampkring

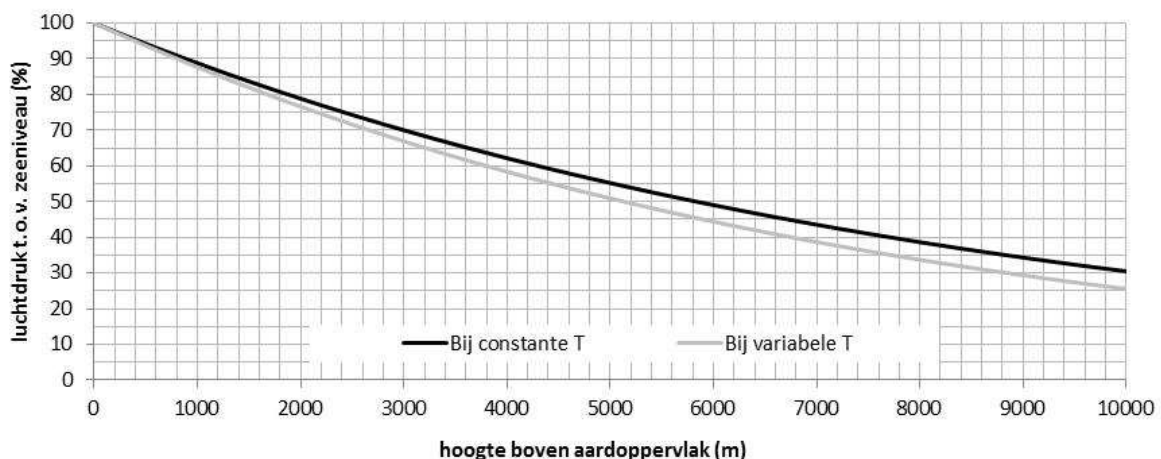
De laag gas om de aarde heen is wordt de *dampkring* of *atmosfeer* genoemd. De dampkring is opgebouwd uit verschillende lagen. In BINAS tabel 30 F staat hoe de atmosfeer is opgebouwd.

- a De onderste laag tot een hoogte van ongeveer 10 km is de laag waarin alles gebeurt wat met het weer te maken plaatsvindt (wolken, wind, neerslag). Hoe wordt de onderste 10 km van de atmosfeer genoemd?
- b De laag tussen de 10 en de 40 km wordt de stratosfeer genoemd. Het verschil tussen de stratosfeer en de laag hieronder heeft te maken met de temperatuur. Wat is dit verschil?
- c Alles boven de 100 km wordt gemakshalve *de ruimte* genoemd. Vaak wordt gedacht dat er in de ruimte geen lucht is en dat satellieten geen luchtwrijving ondervinden. Satellieten kunnen op deze manier eeuwig in hun baan rond de aarde draaien. Laat aan de hand van de tabel zien dat dit niet zo is voor de satellieten die zich in een lage baan bevinden.
- d Rico en Celine zijn het niet eens over de dikte van de dampkring. Volgens Rico is de dampkring 100 km dik en is daarbuiten de ruimte. Volgens Celine is de ruimte de hoogte waarop satellieten om de aarde kunnen draaien zonder last te hebben van luchtwrijving. Wie heeft er gelijk?

5 Hoogtemeting

In de grafiek hieronder staat hoe de luchtdruk afneemt met de hoogte. De zwarte lijn geeft aan hoe de druk zou veranderen als de temperatuur op alle hoogtes constant zou zijn. In werkelijkheid is de temperatuur niet constant. Hoe de temperatuur precies afhangt van de hoogte kan van dag tot dag verschillen. De grijze lijn geeft de drukverandering als wél rekening met temperatuurvariatie wordt gehouden, uitgaande van het temperatuurverloop op een gemiddelde dag.

- Leg uit waarom de luchtdruk daalt naarmate je hoger komt.
- Een vuistregel onder bergbeklimmers is dat een afname van de luchtdruk van één hectoPascal overeenkomt met een stijging van 8 meter. Laat zien dat dit in overeenstemming is met de grafiek.
- Hoogtemeters in vliegtuigen werken ook op basis van de luchtdruk. Aan de hand van de gemeten druk wordt de hoogte bepaald en weergegeven in de cockpit. Helaas is de hoogte niet de enige factor die de luchtdruk bepaald. De luchtdruk op zeeniveau kan van dag tot dag en van plaats tot plaats variëren onder invloed van het weer. Een vliegtuig vertrekt van een vliegveld waar de luchtdruk op zeeniveau 1021 hPa bedraagt en stijgt naar een hoogte van 8,0 km. Bepaal met behulp van de grafiek de luchtdruk op deze hoogte.
- Het vliegtuig uit de vorige vraag vliegt op dezelfde hoogte een lagedrukgebied binnen. De druk op zeeniveau in dit gebied is 950 hPa. De hoogte die de hoogtemeter aangeeft klopt hierdoor niet meer. Bereken hoe groot de afwijking van de meter is ten opzichte van de werkelijke hoogte.

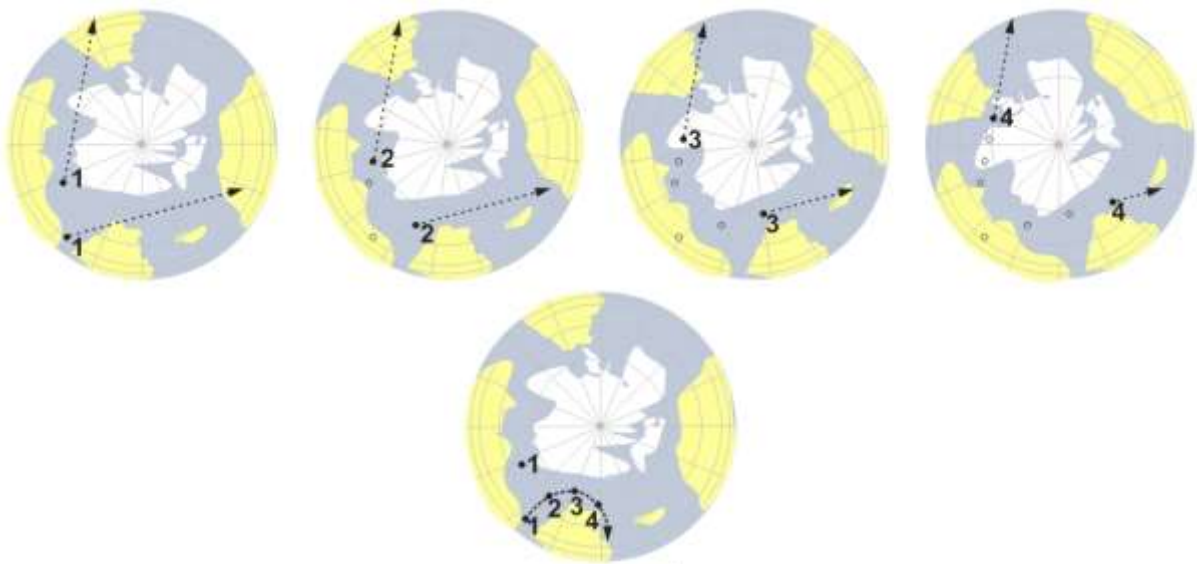


6 Corioliseffect

Wanneer een voorwerp zich boven het aardoppervlak over de aarde verplaatst treedt het zogenaamde *corioliseffect* op. Hieronder staat schematisch weergegeven wat er gebeurt. Je ziet telkens een bovenaanzicht van de aarde. We kijken dus recht op de noordpool. De onderste pijl geeft de beweging van een voorwerp weer. Het voorwerp beweegt zich met

een constante snelheid in een rechte lijn.

- Ga aan de hand van de bovenste vier kaartjes na dat het voorwerp zich inderdaad in een rechte lijn beweegt in de richting van de pijl.
- Gedurende de beweging van het voorwerp draait de aarde. In de vier opeenvolgende kaartjes is de aarde steeds 15° verder gedraaid. Wanneer we voor elk van de momenten weergegeven waar het voorwerp zich bevindt op de kaart vinden we de baan die in het onderste plaatje staat weergegeven. Ga na dat de posities van het voorwerp op de opeenvolgende momenten in de bovenste vier kaartjes overeenkomen met de posities die in het onderste kaartje staan weergegeven. Kijk hierbij naar de positie van het voorwerp ten opzichte van de kustlijn.
- De pijl linksboven geeft de beweging van een ander voorwerp aan. Teken op dezelfde manier de baan van dit voorwerp in het onderste kaartje.
- Op het noordelijk halfrond zorgt het corioliseffect altijd voor een afbuiging naar rechts, ongeacht de richting van de beweging. Ga dit na aan de hand van de afbeelding en je antwoord op vraag b.
- Op het zuidelijk halfrond is de richting van deze afwijking altijd naar links en dus tegengesteld aan die op het noordelijk halfrond. Leg uit waarom.
- Guus en Casper zijn het niet eens over de krachten die bij het corioliseffect een rol spelen. Volgens Guus moet er een externe kracht op het voorwerp werken om het af te buigen. Volgens Casper werkt er geen extra kracht die het voorwerp afbuigt. Het voorwerp beweegt zich namelijk vanuit de ruimte gezien keurig in een rechte lijn. Leg uit wie er volgens jou gelijk heeft.



7 Buys Ballot

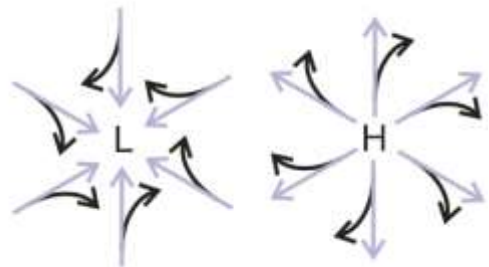
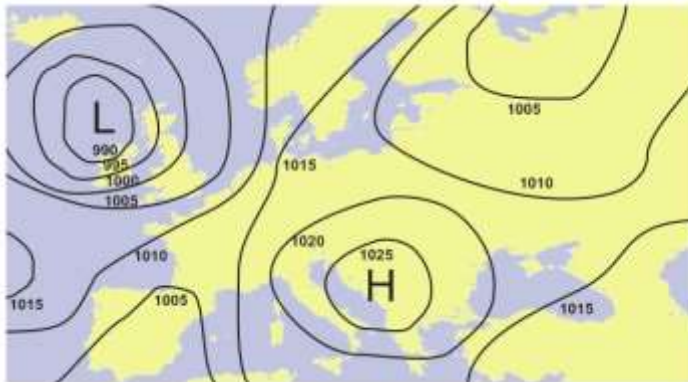
Bij het maken van weersvoorspellingen wordt gebruik gemaakt van kaarten waarop de luchtdruk is weergegeven. Op onderstaande kaart is de druk weergegeven met *isobaren*

(lijnen die aangeven waar de luchtdruk gelijk is). Bij elke isobaar staat de luchtdruk, uitgedrukt in millibar, weergegeven.

- Lees uit de kaart af hoe groot de luchtdruk in Nederland is.
- Wanneer er tussen twee plaatsen een drukverschil bestaat zal er wind waaien. In principe verplaatst lucht zich van hoge naar lage luchtdruk. Hoe groter het drukverschil hoe harder de wind. Op plaatsen waar de isobaren het dichtst bij elkaar lopen zal dus de wind het hardst waaien. Op welk gebied op de kaart zal de windsnelheid het hoogst zijn?
- Als je kijkt naar de ligging van het hoge en lagedruk gebied zou je verwachten dat in Nederland de wind uit de richting van het hogedrukgebied komt maar dit is niet wat er gebeurt. In de twee afbeeldingen staat dit schematisch uitgelegd. Als wind naar een lagedrukgebied toe waait zal deze op het noordelijke halfrond een afwijking naar rechts krijgen door de draaiing van de aarde (het zg. *corioliseffect*). Het zelfde gebeurt met de wind die wegwaait van een hogedruk gebied. Resultaat is dat de wind linksom om een lagedruk gebied zal cirkelen en rechtsom om een hogedrukgebied. Beredeneer wat het effect zal zijn op de windrichting in Nederland.
- In de 19^e eeuw is dit effect voor het eerst opgemerkt door de Nederlandse weerkundige Buys Ballot. Hij formuleerde voor het eerst wat nu bekend staat als de “wet van Buys-Ballot”:

Als je op het noordelijk halfrond met je gezicht in de wind staat, bevindt een hogedrukgebied zich links en een lagedrukgebied rechts

Ga aan na of deze wet klopt aan de hand van de windrichting in Nederland.



8 Waterdamp

Naast stikstof en zuurstof is een ander belangrijk bestandsdeel van lucht waterdamp. De hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer sterk kan variëren maar is wel gebonden aan een maximum. Bij een temperatuur van 20 °C kan een kubieke meter lucht maximaal $5,8 \cdot 10^{23}$ watermoleculen bevatten. We noemen dit een luchtvochtigheid van 100%.

- Laat met een berekening zien dat een luchtvochtigheid van 100% bij 20 °C overeenkomt met een massa van 17 g aan water per kubieke meter lucht.
- Bij een hogere temperatuur kan lucht meer waterdamp bevatten. Bij een temperatuur

van 25 °C kan lucht maximaal $7,8 \cdot 10^{23}$ watermoleculen bevatten. Bereken hoe groot de luchtvochtigheid wordt als de temperatuur van de hoeveelheid lucht uit de vorige vraag verhoogt wordt tot 25 °C.

- c Bij afkoeling gebeurt juist het omgekeerde: Bij een lagere temperatuur kan lucht minder waterdamp bevatten. Bij een temperatuur van 0 °C kan lucht nog maar een kwart van de hoeveelheid waterdamp bevatten die het bij 20 °C kan bevatten. Het 'teveel' aan water zal in dit geval condenseren tot vloeibaar water in de vorm minuscule druppeltjes. Bereken hoeveel mL vloeibaar water er ontstaat bij afkoeling van de hoeveelheid lucht uit de vorige vraag tot 0 °C.
- d Als het buiten erg koud is kun je elke keer als je uitademt een klein wolkje zien wat snel weer verdwijnt. Leg uit waarom dit wolkje ontstaat.
- e Op een zomerse dag is stijgt de luchtvochtigheid in de onderste luchtlaag tot boven de 80% door verdamping. Als deze warme lucht opstijgt koelt het op grotere hoogte snel af. Beredeneer wat er met de waterdamp in deze opstijgende lucht gebeurt.

9 Ozon

Hoog in de atmosfeer wordt doorlopend zuurstofgas (O_2) omgezet in ozon (O_3). Tegelijkertijd vindt het omgekeerde reactie plaats waarbij ozon wordt afgebroken tot zuurstof. Hieronder vindt je de vormingsreactie en afbraakreactie van ozon.

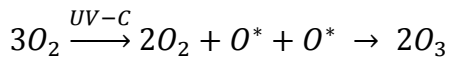
- a Leg uit waarom er uiteindelijk altijd een evenwicht ontstaan waarbij de hoeveelheid ozon constant blijft.
- b Beide reacties vinden alleen plaats onder invloed van UV-straling. UV-straling kan worden onderverdeeld in verschillende gebieden:
- UV-A straling is niet helemaal ongevaarlijk maar relatief de onschuldigste vorm. Dit is de soort straling die ervoor zorgt dat je bruin wordt in de zon.
 - UV-B is de straling die zorgt voor de afbraak van ozon naar zuurstof. UV-B is een stuk gevaarlijker is dan UV-A. Blootstelling aan moet zoveel mogelijk worden voorkomen.
 - UV-C is de straling die zorgt voor de vorming van ozon. Van de verschillende soorten UV-straling is dit de gevaarlijkste. Als deze straling het aardoppervlak zou bereiken zou leven op aarde niet mogelijk zijn.

Ga aan de hand van BINAS tabel 19B welk van de drie soorten UV-straling de kleinste golflengte heeft.

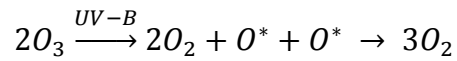
- c Leg uit waarom door de constante vorming en afbraak van ozon UV-B en UV-C uit het licht gefilterd worden dat uiteindelijk het aardoppervlak bereikt.
- d Vroeger werd in spuitbussen en koelkasten CFK's (chloor-fluorkoolwaterstoffen) gebruikt als drijfgas of koelvloeistof. Deze CFK's komen uiteindelijk in gasvorm in de atmosfeer en uiteindelijk ook in de stratosfeer terecht. CFK's hebben als eigenschap dat ze ozon afbreken. Inmiddels is het gebruik van CFK's verboden maar gevolg van decennia-lang gebruik van CFK's is dat de dikte van de ozonlaag in de stratosfeer merkbaar was

afgenomen. Leg uit welk gevaar dit oplevert voor het leven op aarde.

Vorming ozon



Afbraak ozon



10 Zonnestraling

De temperatuur op aarde wordt bepaald door twee factoren: De toevoer van energie in de vorm van zonnestraling en de afvoer van energie door de door de aarde zelf uitgestraalde warmtestraling. In de afbeelding hieronder staat de toevoer (links) en de afvoer (rechts) van energie schematisch weergegeven.

- Er zijn drie manieren van warmtetransport (stroming, geleiding en straling). Waarom hoeven we voor de aarde als geheel alleen rekening te houden met de straling en spelen de andere vormen van transport geen rol.
- De stralingsenergie die de aarde opvangt hangt samen met de intensiteit van de zon. Intensiteit betekent hoeveel Joule er per seconde op 1 m^2 valt. De intensiteit van de zon op aarde wordt ook wel de *zonneconstante* genoemd en bedraagt $1,368 \cdot 10^3 \text{ Wm}^{-2}$. Laat met een berekening zien dat er per seconde $1,744 \cdot 10^{17} \text{ J}$ aan stralingsenergie op de aarde valt. Ga er hierbij vanuit dat de straling die de aarde opvangt een oppervlak heeft ter grootte van een schijf met dezelfde straal als de aarde.
- De stralingsenergie die de aarde uitzendt hangt af van de temperatuur van de aarde en van het totale oppervlak van de aarde volgens onderstaande formule. In tegenstelling tot de straling die wordt opgevangen komt de uitgezonden straling vanaf alle plaatsen op het aardoppervlak uitgezonden. Voor het oppervlak moeten we dus het hele buitenoppervlak van de aarde nemen. Laat zien dat het buitenoppervlak (A) van het aardoppervlak $5,101 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ bedraagt.
- Als we aannemen dat de temperatuur op aarde (gemiddeld) constant is moet er warmte-evenwicht zijn. Dit betekent dat de door de aarde opgevangen energie uit vraag b gelijk moet zijn aan de door de aarde uitgezonden energie. Bereken op basis hiervan de gemiddelde temperatuur op aarde
- Met een aantal aspecten hebben we bij bovenstaande berekening van de gemiddelde temperatuur op aarde geen rekening. Beredeneer voor onderstaande aspecten of het leidt tot een hogere of lagere temperatuur op aarde.
 - Een deel van de zonnestraling wordt niet geabsorbeerd maar gereflecteerd
 - Een deel van de door het aardoppervlak uitgezonden straling wordt in de dampkring geabsorbeerd
 - De aarde draait om haar as. Steeds een ander gedeelte van de aarde zal opwarmen.

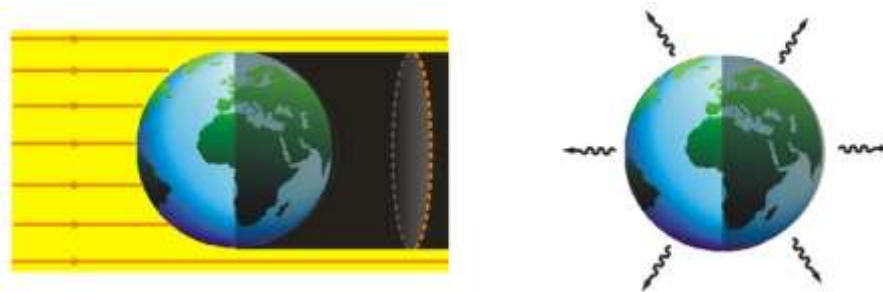
$$P_{uit} = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

P_{uit} = uitgestraald vermogen (W of Js^{-1})

$\sigma = 5,670373 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

A = oppervlak (m^2)

T = temperatuur (K)



11 Albedo

Slechts een deel van de zonnestraling die op de aarde valt wordt ook daadwerkelijk geabsorbeerd. Het deel van de opvallende zonnestraling straling dat niet geabsorbeerd maar gereflecteerd wordt, wordt het *albedo* genoemd. Een albedo van 0,35 betekent dat 35% van de straling wordt gereflecteerd en dat 65% van de straling wordt geabsorbeerd. Het albedo van de planeet aarde bedraagt gemiddeld 0,30.

- Het albedo van de aarde heeft een grote invloed op de temperatuur op aarde. Beredeneer of een hoger albedo tot een hogere of een lagere gemiddelde temperatuur op aarde leidt.
- Albedo geldt voor de aarde als geheel maar delen van het aardoppervlak kunnen van elkaar verschillen (zie onderstaande tabel). Beredeneer: Hoe donkerder een oppervlak hoe *groter/kleiner* het albedo.
- In de laatste ijstijd was de gemiddelde temperatuur lager dan nu en was een veel groter oppervlak van de aarde bedekt met sneeuw en ijs. Leg uit waarom het grotere oppervlak aan sneeuw en ijs niet alleen een gevolg maar ook een oorzaak van de verlaagde temperatuur kan zijn geweest.
- Vliegtuigen op grote hoogte laten strepen na hoog in de atmosfeer. Deze strepen bestaan niet uit uitlaatgassen maar uit minuscule waterdruppeltjes die door condensatie ontstaan. Leg uit of deze strepen het albedo en de gemiddelde temperatuur op aarde verhogen of juist verlagen.

	Albedo
Grasland	0,3
Bos	0,2
Bebouwde stedelijke omgeving	0,5
Water	0,4
Licht bewolking	0,3

Zware bewolking	0,5
Sneeuw	0,8

12 Broeikaseffect

Gebruik bij deze opgave BINAS tabel 30E

De aarde ontvangt niet alleen stralingsenergie van de zon maar zendt ook zelf straling uit. De uitgezonden straling wordt bepaald door de temperatuur van het aardoppervlak. De temperatuur op aarde varieert van gemiddeld $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ in de poolstreken tot $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ in woestijnen overdag. Ondanks deze grote temperatuurverschillen is de golflengte waarbij de meeste straling wordt uitgezonden vrij constant.

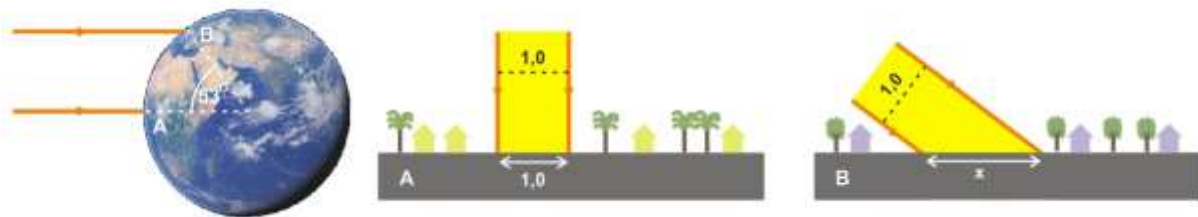
- Laat met een berekening zien dat de golflengte waarbij de meeste straling wordt uitgezonden rond de $10\text{ }\mu\text{m}$ ligt. Gebruik hierbij de wet van Wien (BINAS tabel 35-E1).
- Straling met een golflengte van $10\text{ }\mu\text{m}$ behoort tot het 'ver infrarood' en is voor ons onzichtbaar. Deze straling moet eerst door de aardatmosfeer heen voor het naar de ruimte kan ontsnappen. In BINAS tabel 30E staat hoe goed de atmosfeer de verschillende soorten straling doorlaat. Ga na hoe goed de straling door de atmosfeer heen komt.
- Bij een golflengten rond de $10\text{ }\mu\text{m}$ is de absorptie afhankelijk van de aanwezigheid van een aantal zogenaamde *broeikasgassen* (o.a. waterdamp, kooldioxide en methaan). Hoe meer er van deze gassen aanwezig is hoe meer de straling wordt geabsorbeerd. Dit wordt het *broeikaseffect* genoemd. Leg uit wat er met de temperatuur van de aarde gebeurt als de door aan het oppervlak uitgezonden straling in de atmosfeer geabsorbeerd wordt en niet wordt uitgestraald in de ruimte.
- Alle door de broeikasgassen geabsorbeerde straling wordt ook weer uitgezonden en een deel van de straling zal zo toch uiteindelijk toch de ruimte bereiken. Leg waarom maar een deel van de straling op deze manier aan de aarde kan ontsnappen.
- Door industrialisatie, intensieve veeteelt en met name het gebruik van fossiele brandstoffen is de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer de laatste honderd jaar gestegen van 0,028% tot 0,040%. Leg uit welke invloed dit heeft op het klimaat op aarde.

13 Stralingshoek

Hoeveel zonnestraling op een vierkante meter aardoppervlak valt hangt niet alleen af van de bewolking maar ook van de hoek waaronder zonlicht op het aardoppervlak valt. In de afbeelding hieronder staat voor een plaats op de evenaar (A) en voor Nederland (B) aangegeven hoe de zonnestraling invalt op het moment dat de zonnestraling loodrecht op de evenaar valt. Neem bij deze opgave aan dat Nederland zich op 53° noorderbreedte bevindt.

- Op de evenaar staat de zon recht boven je. De zon staat hier dus 90° boven de horizon. Ga aan de hand van de afbeelding na dat de zon in Nederland op 37° boven de horizon staat.

- b Omdat de straling op de evenaar loodrecht invalt wordt de straling verdeeld over een klein gebied. Een bundel met een diameter van 1,0 m valt op een stukje aardoppervlak dat ook een diameter van 1,0 m heeft (zie middelste afbeelding). In Nederland is dit anders. Hier wordt een lichtbundel verdeeld over een groter stukje aardoppervlak. Bereken hoeveel keer groter dit gebied is vergeleken met de lichtbundel zelf. Bereken hiervoor de lengte x in de rechter afbeelding.
- c De invallende zonnestraling heeft een intensiteit van $1368 \text{ Watt per m}^2$. Omdat een deel van de straling in de dampkring wordt geabsorbeerd is heeft de straling op de grond een vermogen van 960 W per m^2 aardoppervlak op de evenaar. Bereken het vermogen per m^2 aardoppervlak in Nederland.
- d Door de scheve stand van de aardas varieert de hoogte van de zon boven de horizon in Nederland met de seizoenen. In de zomer staat de zon maximaal 61° boven de horizon, in de winter $13,5^\circ$. Bereken hoeveel keer groter de intensiteit van het zonlicht is in de zomer vergeleken met de winter.
- e Bij plaatsing van zonnepanelen wordt geadviseerd ze niet horizontaal te leggen maar onder een hoek gericht op het zuiden. Wat is de hoek waaronder je zonnepanelen in Nederland het beste kunt leggen?

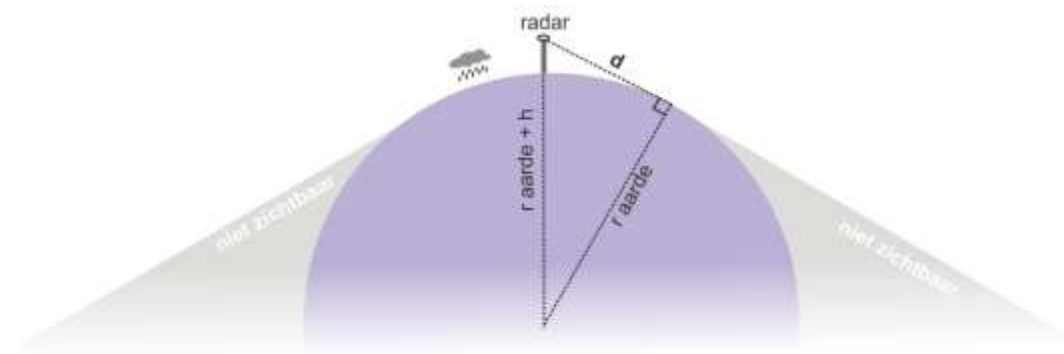


14 Buienradar

Met een radar kan op grote afstand neerslag gedetecteerd worden. Wanneer de door de radar uitgezonden radiostraling neerslag raakt (regendruppels, hagel of sneeuw) wordt de straling gedeeltelijk teruggekaatst. Deze weerkaatste straling worden door dezelfde antenne opgevangen waarmee hij ook is uitgezonden. Uit de vertraging tussen het moment van uitzenden en ontvangen van de reflectie kan de afstand tot de regenbui bepaald worden.

- a Op welke afstand is de regenbui als er een vertraging van $325 \mu\text{s}$ wordt gemeten? Ga er hierbij vanuit dat radiogolven zich net zoals licht en andere soorten elektromagnetische straling met de lichtsnelheid bewegen (zie BINAS tabel 7).
- b Als de straling een gebied met neerslag raakt wordt slechts een zeer klein deel van de straling teruggekaatst. De meeste straling passeert het neerslaggebied ongehinderd. Dit komt omdat de neerslagdeeltjes veel kleiner zijn dan de golflengte van de gebruikte straling. Bereken de golflengte van de radargolven en laat zien dat deze veel groter is dan de gemiddelde grote van een regendruppel. Zoek hiervoor eerst de frequentie van een weerradar op in BINAS tabel 19B (rechterkolom).

- c Radiostraling plant zich, net zoals licht, in een rechte lijn voort en de neerslagradar kan niet door de aarde heen kijken (zie afbeelding hieronder). Om neerslag in een zo groot mogelijk gebied te kunnen meten moet de radar hoog opgesteld staan. Laat met een berekening zien dat vanaf een toren met een hoogte van 80 m de horizon op een afstand van 32 km ligt. Gebruik hiervoor de stelling van Pythagoras (zie onderstaande afbeelding).
- d Vanaf de toren uit de vorige vraag wordt een reflectie opgevangen met een vertraging van $427 \mu\text{s}$. Laat met een berekening zien dat de reflectie afkomstig is van een regenbui die verder ligt dan de horizon.
- e De reden dat tóch een reflectie van een regenbui van 'achter de horizon' wordt ontvangen is dat de reflectie niet op het aardoppervlak plaatsvindt maar daarboven. Wat is de minimale hoogte van de regenbui.



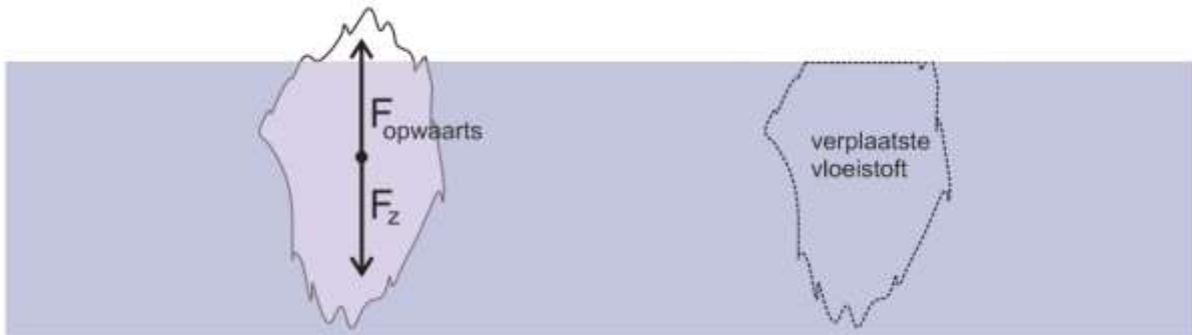
15 Ijsberg

Voorwerpen kunnen op het water drijven omdat er naast zwaartekracht ook een zogenaamde *opwaartse kracht* op de het voorwerp werkt. Bij drijvende voorwerpen compenseert deze opwaartse kracht de zwaartekracht waardoor de resulterende kracht 0 is. De grootte van de opwaartse kracht hangt af van het volume dat het voorwerp onder water inneemt.

- a Een ijsberg met een massa van 240 ton drijft in het water. Bereken het totale volume van de ijsberg. Gebruik hiervoor de dichtheid van ijs in BINAS tabel 10A.
- b Van de ijsberg steekt maar een klein deel boven het water uit en de rest van de ijsberg bevindt zich dus onder water. Het volume de ijsberg onder de waterspiegel is 91,87 % van het totale volume. Op de plaats waar de ijsberg zit kan zich geen water bevinden. De hoeveelheid vloeistof die door de ijsberg ingenomen wordt, wordt ook wel de *verplaatste vloeistof* genoemd. Bereken de massa van de verplaatste vloeistof. Gebruik hiervoor de dichtheid van water in BINAS tabel 11.
- c Volgens de wet van Archimedes geldt dat de opwaartse kracht is gelijk aan de zwaartekracht die werkt op de *verplaatste vloeistof*. Ga na dat de resulterende kracht op ijsberg 0 N is.
- d Aysha en Romy zijn het niet eens over wat er gebeurt als de ijsberg smelt. Volgens Aysha zal de waterspiegel stijgen omdat er veel smeltwater bijkomt in de zee. Volgens Romy zal

de waterspiegel gelijk blijven. Laat met een berekening zien wie er gelijk heeft.

- e In de praktijk heeft zeewater iets een grotere dichtheid dan het relatief zuivere water waaruit ijsbergen zijn ontstaan maar ook als we hier rekening mee houden zal de zeespiegel nauwelijks veranderen door het smelten van ijsbergen. Toch zijn er grote zorgen over het stijgen van de zeespiegel door het smelten van de ijskappen die op land liggen (o.a. op Groenland en op de zuidpool). Leg uit waarom het smelten van de op land liggende ijskappen wél een probleem is.



ANTWOORDEN VAN DE REKENOPGAVEN

Uitwerkingen en uitleg van alle opgaven zijn te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen

1 Druk

- a $2,3 \cdot 10^4$ Pa
- b $7,1 \cdot 10^5$ Pa
- c 2,1 N

2 Gasdruk

- a $1,7 \cdot 10^2$ N
- c 76 kN

3 Luchtkolom

- a $6,5 \cdot 10^4$ kg
- b $6,3 \cdot 10^5$ Pa
- d 8,1 km

5 Hoogtemeting

- c 0,6 km te hoog

7 Buys Ballot

- a 1010 hPa

8 Waterdamp

- b 74%
- c 13 mL

10 Zonnestraling

- d 278,6 K / 5,5 °C

13 Stralingshoek

- b 1,7 m
- c $5,8 \cdot 10^2$ W
- d 73% lager
- e 37^0

14 Buienradar

- a 48,7 km
- b 6,0 cm
- d 64 km
- e 80 m

15 Ijsberg

- a 262 m^3
- b 240 ton