



K2.1 Geofysica

- 1 a De binnen- en buitenkern zijn voornamelijk van ijzer en nikkel, terwijl de binnen- en buitenmantel samengesteld zijn uit silicaten.
- b De buitenkern is vloeibaar en de binnenkern is vast.
- c De straal is 6 371 km, dus de diameter is 12 742 km.
- d $12 \text{ km} / 6 371 \text{ km} = 0,0019 = 0,19 \%$.
- 2 Gegeven: De afstanden in afbeelding 2. De formule voor het volume van een bol is $\frac{4}{3}\pi R^3$.
- Gevraagd: De volumepercenten per aardlaag.
- Berekening: Bereken eerst het volume van de hele aarde:
 $\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot 6 371^3 = 1,083 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$.
- Bereken vervolgens voor iedere aardlaag de volumes van twee bollen. Namelijk eentje met de straal gelijk aan de bovenkant van de aardlaag en eentje met de straal gelijk aan de onderkant van de aardlaag. Trek beide volumes van elkaar af en deel dit door het totale volume van de aarde. Dan krijg je de antwoorden voor iedere aardlaag zoals in de tabel.
- Antwoord: Zie de tabel.

Met de afstanden uit de figuur K2.2 kom je op deze tabel:

	Straal buitenbol	straal binnenbol	volume	percentage
Aardkorst	6371	6336	$1,775 \cdot 10^{10}$	1,6
Asthenosfeer	6336	5671	$3,015 \cdot 10^{11}$	27,8
Binnenmantel	5671	3486	$5,865 \cdot 10^{11}$	54,1
Buitenkeren	3486	1216	$1,699 \cdot 10^{11}$	15,7
Binnenkeren	1216	0	$7,532 \cdot 10^9$	0,70

- 3 a De geladen draaiende vloeibare kern kun je zien als een elektrische stroom die ronddraait. Deze draaiende stroom werkt als een elektromagneet.
- b De vaste binnenkern versterkt het magnetisch veld als een ijzeren kern in een elektromagneet.
- c De magnetische veldlijnen gaan bij de Noordpool de aarde in. De elektrische stroom loopt dus van oost naar west. De negatieve lading draait de andere kant op, dus van west naar oost. Dat is dezelfde richting als de draairichting van de aarde.
- d Door de convectiestromen volgt de elektrische stroom een grillig patroon. De magnetische pool en noordpool (draaias) liggen dan niet op elkaar. In de afbeelding zie je dat de magnetische pool door de jaren heen van plek verandert.

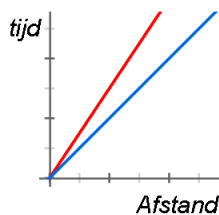




- 4 a Door het verval is er minder radioactief materiaal, dus ook minder straling en minder warmte.
b De halveringstijd van U-235 is veel kleiner, waardoor de stof sneller verval. Bij $t = 0$ is de warmte van K-40 $12 \cdot 10^{-12} \text{ W kg}^{-1}$. Die waarde is gehalveerd tot $6 \cdot 10^{-12} \text{ W kg}^{-1}$ na 1,3 miljard jaar. Dat klopt met vraag a.
c De warmteproductie is $6 \cdot 10^{-12} \text{ W kg}^{-1}$ en de massa van de aarde is $5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. De totale warmteproductie is dus $6 \cdot 10^{-12} \times 5,972 \cdot 10^{24} = 3,6 \cdot 10^{13} \text{ W}$
- 5 a Gegeven: De Sumatra-Andaman aardbeving vond plaats over een afstand van 1 300 km en scheurde 200 km.
De rigiditeit van de mantel ter plaatse is $3 \cdot 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$.
De platen bewogen 5 m ten opzichte van elkaar.
Gevraagd: Bereken de energie die vrijkwam tijdens deze aardbeving.
Berekening: Het oppervlak van de scheur is gelijk aan:
 $A = 2 \cdot 10^5 \times 1,3 \cdot 10^6 = 2,6 \cdot 10^{11} \text{ m}^2$.
Nu kun je het seismisch moment uitrekenen:
 $M_0 = \mu \cdot d \cdot A = 3 \cdot 10^{10} \times 5 \times 2,6 \cdot 10^{11} = 3,9 \cdot 10^{22} \text{ J}$.
Antwoord: De vrijgekomen energie is $E = 5 \cdot 10^{-3} \times 3,9 \cdot 10^{22} = 2 \cdot 10^{20} \text{ J}$.
- b Gegeven: De formule $M_R = \frac{2}{3} \cdot \log_{10}(M_0) - 6,05$ om energie om te zetten naar de schaal van Richter.
Gevraagd: Hoe groot was de aardbeving op de schaal van Richter?
Berekening: Vul de formule in:
 $M_R = \frac{2}{3} \cdot \log_{10}(M_0) - 6,05 = \frac{2}{3} \cdot \log_{10}(1,95 \cdot 10^{20}) - 6,05 = 7,48 = 7$.
Antwoord: De aardbeving was 7 op de schaal van Richter.
- c Een aardbeving met magnitude 7 op de schaal van Richter is zwaar, alleen sterke gebouwen blijven staan, tsunami's etc.
- 6 a De dichtheid in de aardmantel neemt met de diepte geleidelijk toe omdat de stof ingedrukt wordt door de enorme druk van bovenliggend materiaal.
b Dit is bij de overgang van aardmantel en de kern. De aardmantel bestaat uit lichtere stof (graniet en olivijn) dan ijzer en nikkel van de kern. Vandaar de sprong in de dichtheid.
c In het midden van de aarde ligt alle massa daarbuiten. De resulterende kracht ten gevolge van deze massa is dus naar buiten gericht in alle richtingen. Naarmate je van het centrum van de aarde afgaat, neemt de valversnelling toe.
d De waarde voor v_s is nul tussen 2 884 en 5 155 km. Dit is de vloeibare ijzerkern (de buitenkern). En de S-golven zijn transversale golven. Dus transversale golven gaan niet door vloeistoffen heen.
e Het putje veert weer omhoog zodat het lijkt of het er nooit geweest was. Dit komt door de elastische eigenschap van een visco-elastische eigenschap.
NB: De viskeuze eigenschap zorgt ervoor dat de stof van de aardmantel wel kan vloeien en dus convectiecellen kan vormen.
f Omdat de aardmantel elastische eigenschappen vertoont (tegelijkertijd met de viskeuze eigenschappen) kunnen transversale golven wel door de aardmantel reizen.



- 7 a Gegeven: De golfsnelheden voor P- en S-golven, namelijk v_p en v_s .
- Gevraagd: Leid de formule $s = \frac{v_p \cdot v_s}{v_p - v_s} \Delta t$ af.
- Berekening: De tijd die een P-golf van een aardbeving op een afstand s erover doet om het meetstation te bereiken is $t_p = s/v_p$. Voor een S-golf is dit $t_s = s/v_s$. Het tijdsverschil tussen de aankomst van een P-golf en een S-golf is dan
- $$\Delta t = t_s - t_p = \frac{s}{v_s} - \frac{s}{v_p} = s \cdot (v_p - v_s) / v_p \cdot v_s.$$
- Hieruit volgt de formule $s = \frac{v_p \cdot v_s}{v_p - v_s} \Delta t$.
- Antwoord: De formule om de afstand van een meetstation tot een aardbeving te bepalen is: $s = \frac{v_p \cdot v_s}{v_p - v_s} \Delta t$
- b $v_p = 8,1 \text{ km s}^{-1}$ en $v_s = 4,5 \text{ km s}^{-1}$.
- A $s = \frac{v_p \cdot v_s \cdot \Delta t}{v_p - v_s} = \frac{8,1 \times 4,5 \times 0,95}{8,1 - 4,5} = 9,6 \text{ km}$
- B $s = \frac{v_p \cdot v_s \cdot \Delta t}{v_p - v_s} = \frac{8,1 \times 4,5 \times 0,54}{8,1 - 4,5} = 5,5 \text{ km}$
- c Het epicentrum ligt op één van de twee snijpunten van de cirkels die je vanuit A en B met een straal van respectievelijk 9,6 en 5,5 km trekt. Een derde station moet bepalen op welk van deze twee snijpunten het epicentrum ligt.
- d De cirkels teken je over het oppervlakte van de aarde. De afstanden zijn gemeten tot het centrum van de aardbeving en als deze diep onder de grond zit is deze afstand groter dan de afstand tot het epicentrum bij het oppervlak. De drie cirkels aan het oppervlak zijn dus te groot waardoor ze niet door één punt snijden.
- 8 $4400 \text{ km} = 4,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ met een snelheid van $0,02 \text{ m y}^{-1}$ geeft een $t = 4,4 \cdot 10^6 / 0,02 = 2 \cdot 10^8 \text{ y}$.
- 9 a In afbeelding B blijkt het beginstukje tot ca 100 km diepte horizontaal te lopen. Het lijkt dus verantwoord.
- b Met v_p en v_s constant wordt de schets zo waarbij de lijn van de secundaire golf het steilst loopt, want dezelfde afstand in een langere tijd dus kleinere snelheid. De assen zijn omgekeerd ten opzicht van de bekende s, t -grafiek.



- c De snelheden v_p en v_s nemen toe met de diepte. Want een golf op 8 000 km afstand komt in een kortere tijd binnen vergeleken bij een rechte lijn vanaf het begin.
- d Men gebruikt dit soort grafieken om zonder te rekenen snel te kunnen bepalen wat de afstand is tot een aardbeving. In gedachte verschuift je het gemeten seismogram zó dat de aankomsten van de P- en S-golven precies passen tussen de twee grafieken voor de P- en S-golf. Dan lees je op de x-as de afstand af. Als je het seismogram in het diagram wilt tekenen, moet het wel op deze manier aangezien de tijdsas verticaal is.
- 10 a Vul de formule in: $s = \frac{v_p \cdot v_s \cdot \Delta t}{v_p - v_s}$
- Herkenbosch: $5,8 \text{ s} \triangleq 59,9 \text{ km}$ afstand
- Walferdange: $15,15 \text{ s} \triangleq 156 \text{ km}$ afstand
- Tamara: $57,6 \text{ s} \triangleq 595 \text{ km}$ afstand
- b Op het kruispunt van de drie cirkels ten oosten van Brussel ligt het epicentrum.



Schoolexamentraining

11 a Opmeten geeft: $i = 55^\circ$ en $r = 30^\circ$. Invullen geeft:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin r}{\sin i} = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\sin 30}{\sin 55} = 1,8 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- b De secundaire golven gaan niet door de vloeibare buitenkern en de getekende golven wel.
- c De hoek van breking is kleiner en dat komt doordat de golfsnelheid in de buitenkern kleiner is.
- d In de mantel verandert de golfsnelheid geleidelijk waardoor ook de breking geleidelijk plaats vindt.
- e Je hebt 3 meetpunten nodig om de plek van het epicentrum te bepalen.
- f Uit afbeelding I vind je de snelheid in de mantel $13,7 \text{ km s}^{-1}$ en in de buitenkern $8,2 \text{ km s}^{-1}$.
Invullen in de formule geeft:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \sin r = \frac{v_2}{v_1} \sin i = \frac{8,2}{13,7} \sin 50 = 0,459 \rightarrow r = 27^\circ$$



K2.2 De dynamische aarde

- 12 a Gegeven: De gravitatiewet van Newton en de formule voor de zwaartekracht.
Gevraagd: Schrijf de gravitatiewet om zodat je g kunt uitrekenen en zoek in je tabellenboek de waarde van G op.
Berekening: $F_g = G \frac{mM}{r^2}$ en $F_g = mg$. Dus $mg = G \frac{mM}{r^2}$. Deel door m geeft het antwoord.
Antwoord: $g = G \frac{M}{r^2}$ en de waarde voor $G = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.
- b Gegeven: De straal van de aarde bij de evenaar is 6 378 km en bij de polen is dit 6 357 km. En de formule van antwoord a.
Gevraagd: Bereken g voor beide situaties.
Berekening: In het tabellenboek staat de massa van de aarde, namelijk $M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.
$$g = G \frac{M}{r^2} = 6,67384 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{r^2} = 3,9856 \cdot 10^{14} / r^2$$

Vul de formule in voor de straal van de aarde bij de evenaar is 6 378 km en bij de polen is dit 6 357.
Antwoord: Bij de evenaar is $g_e = 9,798 \text{ m s}^{-2}$ en bij de polen is $g_p = 9,863 \text{ m s}^{-2}$.
- c In de paragraaf staat dat de valversnelling bij de evenaar gelijk is aan $9,780 \text{ m s}^{-2}$ en bij de polen gelijk is aan $9,832 \text{ m s}^{-2}$. Dit komt voornamelijk door lokale omstandigheden. De zuidpool bevindt zich op een hoogte van 2 835 m boven zeeniveau. De afstand tot het middelpunt van de aarde is dan gelijk aan $6 357 \text{ km} + 2,825 \text{ km} = 6 359,825 \text{ km}$. Dit levert een voor de hoogte gecorrigeerde versnelling van $g = 9,8534 \text{ m s}^{-2}$. Uit afbeelding A is af te lezen dat bergen en troggen zorgen voor een correctie in de orde van $0,0006 \text{ m s}^{-2}$. Een tweede punt is de draaiing van de aarde. Bij de evenaar is de draaicirkel het grootste, waardoor je daar de grootste snelheidsverandering hebt (richting) hierdoor is g een stukje kleiner. Zie de volgende vraag.
- 13 a $0,9973 \text{ dag} = 23 \text{ h } 56 \text{ min}$, Dat is minder dan 24 h. In een jaar draait de aarde 1 extra rondje om zijn as, omdat de aarde dan 1 rondje om de zon heeft afgelegd.
- b Gegeven: De straal van de aarde bij de evenaar is 6 378 km
Gevraagd: Bereken de snelheid op de evenaar als resultaat van de draaiing van de aarde.
Berekening: De omtrek bij de evenaar gelijk aan $2 \cdot \pi \cdot 6 378 \text{ km} = 40,07 \cdot 10^6 \text{ m}$.
Deze afstand wordt afgelegd in $23 \cdot 3600 + 56 \cdot 60 + 3 = 86 163 \text{ s}$.
Dus de snelheid op de evenaar vanwege de draaiing van de aarde is $40,07 \cdot 10^6 \text{ m} / 86 163 \text{ s} = 465 \text{ ms}^{-1}$
Antwoord: De draaisnelheid op de evenaar is 465 ms^{-1} .
- c Gegeven: De middelpuntzoekende kracht is $F_{mpz} = mv^2/R$. En antwoord b.
Gevraagd: Bereken de middelpuntzoekende kracht.
Berekening: Vul de gevonden snelheid bij opgave b. en de straal van de aarde bij de equator in de formule
$$F_{mpz} = \frac{mv^2}{R} = \frac{1 \times 465,1^2}{6378 \cdot 10^3} = 0,034 \text{ N}$$

Antwoord: middelpuntzoekende kracht op 1 kg bij de evenaar is 0,034 N.



- d Gegeven: Een persoon met een massa van 88 kg staat op de evenaar.
Gevraagd: Hoeveel lichter weegt hij vanwege de draaiing van de aarde?
Berekening: Met $F = ma$ kunnen we de afname van het gewicht berekenen, namelijk $F = 88 \cdot 0,034 = 3,0 \text{ N}$.
De valversnelling geeft aan dat 1 kg ongeveer 9,8 N is. Dus een persoon van 88 kg weegt $3,0/9,8 = 0,3 \text{ kg}$ lichter vanwege de middelpuntzoekende kracht.
Antwoord: Een persoon van 88 kg weegt op de evenaar 0,3 kg lichter.
- e Antwoord: Bij de evenaar was berekend een versnelling van $9,7978 \text{ m s}^{-2}$. Hiervan moet je dus 0,034 van aftrekken en dat levert $9,798 - 0,034 = 9,764 \text{ m s}^{-2}$. Deze waarde verschilt ook van de in de theorie genoemde waarde, dus dit is duidelijk niet de enige reden voor de afwijking.

14 a In het begin van de lente en het begin van de herfst.

- b Bij zonsondergang komt de volle maan op, want dan staat hij tegenover de zon.
- c De zon verlicht de helft van de aarde. In de winter staat het noorden van de aarde van de zon afgekeerd vanwege de gekantelde draaias van de aarde. Daarom draai je dan langer in het donker dan in het licht.

Draaias aarde



Zonlicht

Stel je huis draait 1 rondje in 1 dag en legt dan de baan af weergegeven met de blauwe cirkel in de afbeelding. Dan zie je meteen dat het grootste deel van de blauwe cirkel in het niet door de zon verlichte deel van de aarde valt.

De aardas staat in december in het verste punt. De zon komt dan tussen negen en half tien op.

- d In de zomer duurt de dag langer, dus is er meer tijd om de aarde op te warmen. En de inval van de zon per vierkante meter is minder schuin dan in de winter, dus valt er per vierkante meter oppervlak meer zonnestraling in.
- e In de gematigde zone.
- f De evenaar is altijd voor de helft van de tijd naar de zon gericht. Daar is de gemiddelde temperatuur dus hoger.

15 a Gegeven: De gravitatiewet van Newton uit opgave 12, de valversnelling van de maan en de afstand van de maan tot de aarde (zie je tabellenboek).

Gevraagd: Bereken de versnelling op 1 kg in de drie punten N, C en Z.

Berekening: Zoek op in je tabellenboek; de massa M van de maan, de afstand R van de maan tot de aarde en de straal van de aarde r_e op de evenaar.

$$M = 73,5 \cdot 10^{21} \text{ kg}, R = 384,4 \cdot 10^6 \text{ m} \text{ en } r_e = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}.$$

De zwaartekracht op 1 kg is $mg = G \cdot 1 \times M/r^2$, met $G = 6,67384 \cdot 10^{-11}$.

Voor punt N is $r = R + r_e = (384,4 + 6,4) \cdot 10^6 \text{ m} = 391 \cdot 10^6 \text{ m}$.

Hieruit volgt dat $F = 3,23 \cdot 10^{-5} \text{ N}$. Dus $g_{\text{maan}} = 3,23 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$

Voor punt C is $r = R = 384 \cdot 10^6 \text{ m}$. En $F = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ N}$.

Dus $g_{\text{maan}} = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$

Voor punt Z is $r = R - r_e = (384,4 - 6,4) \cdot 10^6 \text{ m} = 378 \cdot 10^6 \text{ m}$.

Hieruit volgt dat $F = 3,43 \cdot 10^{-5} \text{ N}$. Dus $g_{\text{maan}} = 3,43 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$

Antwoord: In N is $g_{\text{maan}} = 3,23 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$

In C is $g_{\text{maan}} = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$

In Z is $g_{\text{maan}} = 3,43 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$



- b De kracht van de maan in C voel je overal op aarde. De verschillen van deze kracht in C ten opzichte van N en Z zorgen voor een resulterende kracht in N en Z. Deze resulterende krachten zijn weliswaar klein, maar zorgen ervoor dat de grote hoeveelheid oceaanwater toch in beweging komt. De resulterende krachten bij N en Z zijn beide van het aardoppervlak naar de lucht gericht. Zie de afbeelding hieronder. Het verschil in versnelling bij N en Z ten opzichte van C is $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-2}$. Dit komt overeen met een resulterende kracht van $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ N}$. Dit is de zogenaamde getijdekracht die het waterniveau van de oceanen omhoogtrekt.



- c In 24 uur draait de aarde 1 ronde, dus 2 keer eb en twee keer vloed. Door het draaien van de maan rond de aarde is het moment van eb en vloed op een volgende dag steeds ongeveer een uur (49 min) later. Tijd tussen twee volle manen is 29,5 dag. $24 \text{ h} / 29,5 = 0,82 \text{ h} = 49 \text{ min}$.
- 16 a Alleen aan één kant schijnt de zon. En de opgevangen straling moet op een loodrecht oppervlak vallen. De formule is dan πr^2 met r de straal van de aarde.
Het product de zonneconstante en het loodrechte oppervlak:
 $1,37 \cdot 10^3 \times \pi \times (6,371 \cdot 10^6)^2 = 1,75 \cdot 10^{17} \text{ W}$
- b 38 % wordt teruggekaatst. Wat overblijft is $1,09 \cdot 10^{17} \text{ W}$.
- c De aarde straalt in alle richtingen straling uit. Je gebruikt dus de formule voor het oppervlak van een bol: $4\pi r^2$
 $A = 4\pi \times (6,371 \cdot 10^6)^2 = 5,10 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$
 $I = 1,09 \cdot 10^{17} / 5,10 \cdot 10^{14} = 214 \text{ W m}^{-2}$
 $I = \sigma T^4 \rightarrow 214 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times T^4 \rightarrow T^4 = \frac{214}{5,67 \cdot 10^{-8}} = 3,8 \cdot 10^9 \rightarrow T = 248 \text{ K}$
 $248 \text{ K} = -25 \text{ °C}$. Dit klopt met wat in de tekst staat.

Het verschil tussen de uitgerekende temperatuur van -25 °C en de gemeten gemiddelde temperatuur van de aarde van 15 °C komt door het effect van de dampkring. De dampkring werkt als een deken voor de aarde; het reflecteert een deel van de door de aarde uitgezonden infraroodstraling weer terug naar de aarde. Dit is het broeikaseffect.

- 17 a Op Mars is vrijwel alleen gesteente, geen wolken en veel minder ijs. En geen wateroppervlakte die zonlicht weerkaats.
- b Afstand tot de zon is $0,228 \cdot 10^{12} \text{ m}$ en de straal is $3,39 \cdot 10^6 \text{ m}$.
- c $\frac{z.c.Mars}{z.c.Aarde} = \frac{(baanstraal_{Aarde})^2}{(baanstraal_{Mars})^2} \rightarrow \frac{z.c.Mars}{1,37 \cdot 10^3} = \frac{(0,1496 \cdot 10^{12})^2}{(0,228 \cdot 10^{12})^2} = 0,431 \rightarrow z.c.Mars = 745 \text{ W m}^{-2}$
- d $P = 745 \times \pi r^2 = 745 \times \pi \times (3,39 \cdot 10^6)^2 = 2,69 \cdot 10^{16} \text{ W m}^{-2}$
- e $A = 4\pi \times (3,39 \cdot 10^6)^2 = 1,44 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$
 $I = 2,69 \cdot 10^{16} \times 0,83 / 1,44 \cdot 10^{14} = 155 \text{ W m}^{-2}$
 $I = \sigma T^4 \rightarrow 155 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times T^4 \rightarrow T^4 = \frac{155}{5,67 \cdot 10^{-8}} = 2,79 \cdot 10^9 \rightarrow T = 228 \text{ K}$
- In je tabellenboek staat de temperatuur van 300 K overdag. Door de geringe atmosfeer verschilt de dag en nacht temperatuur sterk, waardoor je deze lage waarde krijgt voor de gemiddelde temperatuur.
- f De atmosfeer heeft een zeer geringe druk, dus weinig gassen voor een broeikaseffect.



18 a De hoeveelheid straling die geabsorbeerd wordt is $161 + 78 = 239 \text{ W m}^{-2}$. Dit is $239/341 = 70\%$.

- b De terugkaatsing is afhankelijk van de bewolking. Op bewolkte dagen wordt er meer terug de ruimte in gekaatst dan op wolkenvrije dagen.
- c De zonne-energie die het aardoppervlak bereikt zal hoger zijn bij onbewolkt weer. Om de energiebalans gelijk te houden, zal er dan ook meer warmte-energie de aarde verlaten.
- d De hoeveelheid straling die de aarde ontvangt is: $161 + 333 = 494 \text{ W m}^{-2}$.
De hoeveelheid straling die de aarde uitzendt is: $17 + 80 + 396 = 493 \text{ W m}^{-2}$.
Dus de aarde absorbeert $494 - 493 = 1 \text{ W m}^{-2}$.
- e De zonneconstante is de hoeveelheid straling die op 1 m^2 valt van de doorsnede van de aarde. Zie figuur K2.10. Omdat het aardoppervlak een oppervlakte heeft die vier keer zo groot is als de doorsnede, valt er dus een kwart van 1360 W op een vierkante meter aarde. Immers de oppervlakte van de aarde is $4\pi r^2$ en de doorsnede bereken je met πr^2 .

19 a Een ingedrukte bol noemen we een ellipsoïde, zie afbeelding G.

- b Het oppervlak van het land is te grillig vanwege bergen en dalen. Ook verandert de vorm van het oppervlak doordat de aardschollen bewegen.
- c Als het water aan het oppervlak bij punt A in een sterkere zwaartekracht zit dan het water aan het oppervlak bij punt B, dan zal het water aan het oppervlak bij punt B naar punt A stromen totdat het water bij de punten A en B allebei een even sterke zwaartekracht ondervinden. Met andere woorden, aan het wateroppervlak is de zwaartekracht overal gelijk; het wateroppervlak toont je een zwaartekrachtspotentiaalvlak.
- d Eb en vloed, de golven op zee en dat continenten in de weg liggen voor het water om vrij te kunnen stromen zorgen ervoor dat het wateroppervlak van oceanen in de praktijk niet de geoïde volgen.

- e Gegeven: Afbeelding A, de geoïde en een bol met een straal van $6\,371 \text{ km}$. De gravitatiewet van Newton.
- Gevraagd: Bereken de maximale afwijking tussen de geoïde en een perfecte bol met een straal van $6\,371 \text{ km}$.
- Berekening: De gemiddelde straal van de aarde is ongeveer $6\,371 \text{ km}$. Met de gravitatiewet van Newton bereken je de valversnelling. De waarde voor $G = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ en de massa van de aarde is $M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, zie je tabellenboek. Vul de formule van Newton in:

$$g = G \frac{M}{r^2} = 6,67384 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{(6\,371 \cdot 10^3)^2} = 9,819 \text{ m s}^{-2}$$

In afbeelding A zie je dat de maximale afwijking van de valversnelling een orde van grootte heeft gelijk aan: $\delta g = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$ is.

Herschrijf de formule van Newton zodat je de straal kunt uitrekenen:

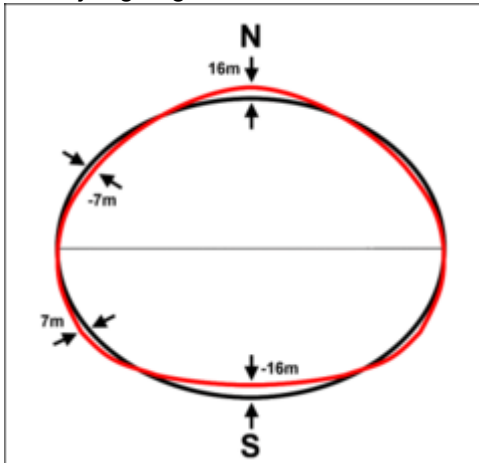
$$r = \sqrt{\frac{GM}{g}} = \sqrt{\frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{9,819 + \delta g}}$$

Met $\delta g = 0$ is de straal van de aarde gelijk aan $6\,371\,096 \text{ meter}$.
Met $\delta g = 0,6 \cdot 10^{-3}$ is de straal van de aarde gelijk aan $6\,370\,901 \text{ meter}$.
Met $\delta g = -0,6 \cdot 10^{-3}$ is de straal van de aarde gelijk aan $6\,371\,290 \text{ meter}$.

Antwoord: De afwijking van de geoïde ten opzichte van een perfecte bol met straal $6\,371\,096 \text{ meter}$ is dus van -195 m tot 195 m .



NB Als je de afwijking niet uitrekent ten opzichte van een perfecte bol, maar ten opzichte van een ellipsoïde (met de verschillen in straal van de aarde bij de evenaar en bij de polen) dan is de afwijking nog kleiner.



- 20 a Aan het einde van de maandag is de temperatuur het hoogst omdat dan de opwarming het langst geduurd heeft. Aan het einde van de maannacht is de temperatuur het laagst.
- b De maan heeft geen dampkring, dus ook geen wind en weer, die de temperatuurschommeling kan dempen. Bovendien speelt het lange etmaal t.o.v. de aarde een grote rol.

Schoolexamentraining

- 21 a $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (5,78 \cdot 10^3)^4 = 6,3 \cdot 10^7 \text{ Wm}^{-2}$
- b $I = (6,963 \cdot 10^8)^2 / (1,496 \cdot 10^{11})^2 \times 6,3 \cdot 10^7 = 1,373 \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$
Dit is vrijwel gelijk aan de zonneconstante.
- c Gebruik hier ook de kwadraten wet. Stel in de zomer is het 100%. In de winter wordt dat dan:
 $I_{\text{winter}} = (1,521 \cdot 10^{11})^2 / (1,471 \cdot 10^{11})^2 \times 100 = 106,9 \%$, dat is dus 6,9 % extra.
- d In de winter staat hier de zon lager waardoor het zonlicht schuiner invalt en er dus minder zonlicht per vierkante meter op het aardoppervlak valt. Bovendien zijn de dagen in de winter korter dus is er minder zonlicht.



K2.3 Atmosfeer en klimaat

22 a $p_1 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,75 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $V_1 = 250 \text{ mL}$ en $V_2 = 300 \text{ mL}$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow p_2 = p_1 V_1 / V_2 = 1,0 \cdot 10^5 \times 250/300 = 8,3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

b De luchtdruk in de cabine is $0,75 \times 1,0 \cdot 10^5 = 7,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$. De overdruk in het zakje is dus $8,3 \cdot 10^4 - 7,5 \cdot 10^4 = 8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

23 a Gegeven: De atmosfeer van de aarde is ongeveer 100 km dik. De straal van de aarde is 6 371 km.

Gevraagd: Bereken hoeveel procent van de straal van de aarde dit is.

Berekening: Delen geeft het antwoord: $100 / 6\,371 \times 100\% = 1,6 \%$

Antwoord: De atmosfeer heeft een dikte van 1,6 % vergeleken met de straal van de aarde.

b Een appel heeft een straal van ongeveer 5 cm. Met dezelfde verhouding als in antwoord a zou de schil dan een dikte moeten hebben van $0,016 \times 5 = 0,08 \text{ cm} = 0,8 \text{ mm}$. Dit klopt inderdaad wel.

24 a De luchtdruk drukt aan de buitenkant de zuignap tegen het raam. Omdat er geen lucht achter de zuignap zit blijft de nap aan het raam plakken.

b Gegeven: De zuignap heeft een diameter van 4,0 cm. De luchtdruk is 1010 mbar. De valversnelling is $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Gevraagd: Bereken de maximale massa die de zuignap kan dragen

Berekening: Reken eerst de druk om naar Pa: $p = 1\,010 \text{ mbar} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Het oppervlak van de zuignap is: $A = \pi r^2 = \pi 0,02^2 = 0,00126 \text{ m}^2$.

Merk op dat de straal de helft is van de diameter.

Invullen in de formule voor de luchtdruk:

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow F = pA = 101 \cdot 10^3 \cdot 1,26 \cdot 10^{-3} = 127 \text{ N}$$

De formule voor de zwaartekracht is: $F_z = m \cdot g$, met g de valversnelling.

Dan is de massa: $m = F_z / g = 127 / 9,81 = 13 \text{ kg}$

Antwoord: De maximale massa die de zuignap kan dragen is 13 kg.

25 a Bij de tropopauze zie je in figuur K3.12 een duidelijke knik in de grafiek voor de temperatuur. In de troposfeer neemt de temperatuur af met de hoogte. In de stratosfeer neemt de temperatuur weer toe.

Ook zie je dat de concentratie ozon flink verschilt tussen beide atmosfeerlagen. Met een sterke stijging van de concentratie rond de tropopauze.

b Bij de evenaar heb je te maken met de middelpuntzoekende kracht. Deze kracht 'slingert' de atmosfeer van de aarde af. Maar de zwaartekracht is gelukkig sterker. Toch is daardoor de totale kracht net iets minder aan de evenaar dan aan de polen. Daarbovenop is ook de zwaartekracht zelf bij de evenaar minder sterk dan bij de polen. Zie vragen uit de vorige paragraaf.

Beide effecten zorgen ervoor dat bij de evenaar er minder hard aan de atmosfeer wordt getrokken. Daardoor is de troposfeer bij de evenaar bijna twee keer zo dik als bij de polen.



- 26 a Radiogolven komen tot op een hoogte van 100 km voor lange radiogolven en tot een hoogte van 300 km voor korte radiogolven.
- b Radiogolven kunnen niet door een elektrisch geleidende laag heen. Dit effect ken je van de kooi van Faraday. Op een hoogte van tussen de 100 km en 300 km bevindt zich een meetbare concentratie van vrije elektronen. Deze laag gedraagt zich daarom als een elektrisch geleidende laag. Deze laag werkt als een kooi van Faraday om de hele aarde heen.
- c Een radiogolf die je horizontaal uitzendt zal vanwege de kromming van de aarde op een gegeven moment tegen de atmosfeer aanbotsen waar zich vrije elektronen bevinden. Vanuit het radiostation vindt de botsing plaats nabij de horizon. De radiogolf kaatst weer naar het aardoppervlak toe en kan dan ontvangen worden voorbij de horizon. Men spreekt dan wel van inversie.

De juiste omstandigheden betekenen dat er niet veel turbulentie is in deze laag en dat de concentratie vrije elektronen hoog genoeg is. Deze laag is opgedeeld in de D-, E-, F1- en F2-laag; namelijk voor ieder soort radiogolf.

- 27 a Gegeven: De bakstenen wegen 510 g. De zwaartekrachtsformule is $F_z = mg$ en de valversnelling $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Gevraagd: Bereken de kracht van de bovenste baksteen op de onderste baksteen.

Berekening: Vul de formule in: $F_z = mg = 0,510 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} = 5,00 \text{ N}$.

Antwoord: De bovenste baksteen oefent een kracht op de onderste baksteen uit van 5,00 N.

- b Gegeven: De bakstenen wegen 510 gr. De zwaartekrachtsformule is $F_z = mg$ en de valversnelling $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Gevraagd: Beker de kracht die de onderste baksteen op de grond uitoefent en op de tweede baksteen uitoefent.

Berekening: De onderste baksteen oefent een kracht op de grond uit van

$$F_z = 2 \cdot 0,510 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} = 10,0 \text{ N}$$

De kracht is het resultaat van het gewicht van beide bakstenen.

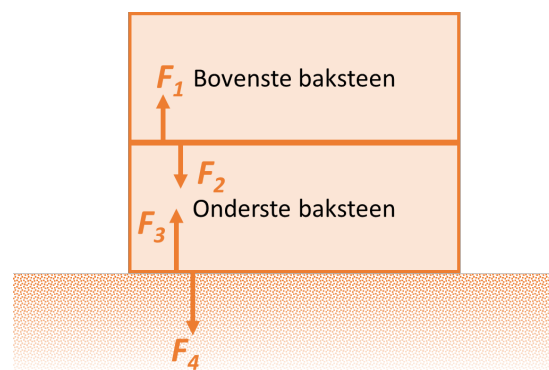
De onderste baksteen duwt met een kracht van 5 N de bovenste baksteen terug volgens de derde wet van Newton.

Antwoord: De onderste baksteen drukt met 10,0 N op de grond en drukt met 5,00 N naar de bovenste baksteen.

- c De krachten zijn als volgt. De kracht F_2 is de kracht waarmee de bovenste baksteen op de onderste baksteen drukt. De onderste baksteen drukt met een precies even grote kracht F_1 terug. De onderste baksteen drukt met een kracht F_4 op de bodem en de bodem drukt met een kracht F_3 terug.

Er geldt dat $F_1 = F_2$ en dat $F_3 = F_4$.

- d Dat $F_2 < F_3$ komt doordat de onderste baksteen zelf een massa heeft van 510 gr.





28 a De luchtdruk aan de onderkant is groter dan de luchtdruk aan de bovenkant.

b De massa van het laagje lucht is gelijk aan de dichtheid ρ keer het volume V .

Het volume is de oppervlakte A van het luchtlaagje in afbeelding J keer de hoogte Δh , dus $V = A\Delta h$. Dan is de massa dus: $m = \rho A\Delta h$.

De zwaartekracht dat op het laagje lucht werkt is: $F_z = mg = \rho A\Delta hg$.

c De luchtdruk duwt met kracht: $F = pA$, dus onder het laagje lucht is dit $F_o = p_o \cdot A$ en boven het laagje lucht is dit $F_b = p_b A$.

Het krachtenevenwicht is dus $F_b + F_z = F_o$. Oftewel, $p_b A + \rho A\Delta hg = p_o A$.

Het verschil in luchtdruk boven en onder het dunne laagje lucht is: $\Delta p = p_o - p_b = \rho\Delta hg$.

d Als Δh te groot is, kun je niet meer zeggen $m = \rho A\Delta h$, omdat ρ niet constant is.

e Gegeven: De dichtheid van lucht bij zeeniveau is 1 kg m^{-3} . Het hoogteverschil is 100 m.

Gevraagd: Bereken het luchtdrukverschil als je naar 100 m boven zeeniveau gaat.

Berekening: Vul de formule in: $\Delta p = \rho\Delta hg$.

$$\Delta p = 1 \text{ kg m}^{-3} \cdot 100 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} = 981 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ m}^{-2} = 981 \text{ N m}^{-2} = 981 \text{ Pa}.$$

Antwoord: De luchtdruk neemt iedere 100 meter hoogteverschil af met 981 Pa.

f Lucht is samen te drukken. Op zeeniveau drukt alle lucht die zich boven je bevindt op je. Hoe hoger je in de atmosfeer bent, des te minder lucht er boven je zit die op je drukt. Hoe minder druk er is, des te minder lucht tegengehouden wordt om ruimte in te nemen. Dus de dichtheid neemt af met afnemende druk. Daarom neemt de druk af met de hoogte.

29 a Een macht heeft geen eenheid, dus:

$$[R] \times [T] = [M] \times [g] \times [h] \rightarrow [R] = [M] \times [g] \times [h] / [T] = \text{kg mol}^{-1} \text{ m s}^{-2} \text{ m K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = \text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

b Gegeven: De barometrische hoogteformule. De druk in de cabine gelijk is aan de druk op 2 km hoogte boven zeeniveau. De luchtdruk op zeeniveau is 101 000 Pa (zie je tabellenboek).

Gevraagd: Bereken met de barometrische hoogteformule de druk in het vliegtuig.

Berekening: De temperatuur in de cabine is ongeveer 273 K. Vul de gegevens in:

$$p(2000) = p(0) \cdot e^{\frac{-Mgh}{RT}} = 101000 \cdot e^{-0,0342 \cdot \frac{2000}{273}} = 78600 \text{ Pa}$$

Antwoord: De luchtdruk in de cabine is ongeveer 79 kPa, oftewel 78% van de luchtdruk op zeeniveau.



- c Gegeven: De barometrische hoogteformule De druk in de cabine gelijk is aan de druk op 2 km hoogte boven zeeniveau. Het vliegtuig vliegt op 10 km hoogte. Gebruik afbeelding 13 voor de temperatuur op 10 km hoogte. De luchtdruk op zeeniveau van 101 000 Pa (zie je tabellenboek). Een raampje in het vliegtuig met een oppervlak van 0,15 m².
- Gevraagd: Bereken de kracht op een ruit van het vliegtuig met een oppervlakte 0,15 m².
- Berekening: In opgave a. hebben we uitgerekend dat de druk in de cabine gelijk is aan 78,6 kPa.
De temperatuur op 10 km hoogte is -50 °C, oftewel 273 - 50 = 223 K, dus:
$$p(10\,000) = 101\,000 \cdot e^{-0,0342 \frac{10\,000}{223}} = 21\,800 \text{ Pa}$$

Het drukverschil tussen de buitenlucht op 10 km hoogte en de cabine van het vliegtuig is dus 78,6 kPa – 21,8 kPa = 56,8 kPa.

Een Pascal is gelijk aan een Newton per vierkante meter. Dus vermenigvuldig het drukverschil met de oppervlakte van het ruitje:
 $56,8 \text{ Nm}^{-2} \cdot 0,15 \text{ m}^2 = 8,5 \text{ kN}$
- Antwoord: De kracht op een ruit van 0,15 m² in het vliegtuig is gelijk aan 8,5 kN.
- d De kracht werkt van binnen naar buiten omdat de luchtdruk in de cabine groter is dan de luchtdruk buiten. Dus de 8,5 kN drukt van binnenuit.
- 30 a De correlatie tussen alle gemeten grafieken is sterk. Dit betekent dat alle grafieken op elkaar lijken met betrekking tot het omhoog en naar beneden gaan van de lijnen; de vormen van de grafieken lijken op elkaar.
- b De dalen van de grafieken (pak bijvoorbeeld die van het zeeniveau) zitten grofweg op:
20, 130, 250, 340, 440, 540, 625 en 720 kj (kilojaar = keer 1 000 jaar).

De verschillen ertussen zijn: 110, 80, 90, 100, 100, 85 en 95 kj. De gemiddelde tijd tussen ijstijden is dus ongeveer 100 kj. De laatste was 20 kj geleden. We verwachten de volgende ijstijd dus over zo'n 80 000 jaar.
- 31 a Bij hogere temperatuur bewegen moleculen sneller waardoor het aantal botsingen met de wand toeneemt en elke botsing bovendien harder is.
- b Bij hoge druk wordt een deel van het volume ingenomen door de moleculen van het gas en door de kleinere onderlinge afstand mag je de aantrekkingskracht niet langer verwaarlozen.



- 32 a Als de hoeveelheid stof tussen twee toestanden niet verandert, dan geldt:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1)$$

Er geldt ook: $V = \frac{m}{\rho} \quad (2)$

Substitueren van de formule 2 in formule 1 levert: (m is constant)

$$\frac{p_1 \frac{m}{\rho_1}}{T_1} = \frac{p_2 \frac{m}{\rho_2}}{T_2} \rightarrow \frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2}$$

- b Gegeven: Vlak achter de schokgolf neemt de druk af met 16,4% en de dichtheid neemt af met 12,0%.

Gevraagd: Bereken de temperatuurafname.

Berekening: Herschrijf dit zo dat je de temperatuurafname kunt uitrekenen:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 \cdot \rho_1}{p_1 \cdot \rho_2} = \frac{\frac{p_2}{p_1}}{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \frac{(1 - 0,164)}{(1 - 0,120)} = 0,95$$

De temperatuurafname is $1 - 0,95 = 0,05$, ofwel 5%.

Antwoord: De temperatuurafname is 5%.

- c Als de lucht te vochtig is zijn er al wolken in de lucht. Als de lucht te droog is kan er geen waterdamp condenseren. Zie verder de volgende paragraaf.

- 33 Op 10 km hoogte is de druk $3 \cdot 10^4$ Pa en de temperatuur 223 K

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \rightarrow \frac{1,01 \times 2,0}{293} = \frac{0,3 \times V_2}{223} \rightarrow V_2 = 5 \text{ m}^3$$

- 34 a Je longen kunnen een druk van 250 bar niet aan.

b $p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow 250 \times 12 = 1 \times V_2 \rightarrow V_2 = 3000 \text{ L}$

Per minuut $15 \times 0,500 \text{ L} = 7,5 \text{ L}$

Aantal minuten is dus $3000 / 7,5 = 400 \text{ min} = 6 \text{ h en } 40 \text{ min}$

- c Op 10 m diepte ondervind je de combinatie van de luchtdruk en de waterdruk.

- d De druk is nu tweemaal zo groot en het volume dus tweemaal zo klein. Als je evenveel inademt doe je er dus slechts de helft van de tijd mee: 3 h en 20 min.

- e Als de temperatuur 10% is gezakt, wordt het volume ook 10% kleiner en ook de tijd 10 % kleiner: Dus $0,90 \times 200 = 180 \text{ min} = 3 \text{ h}$.



Schoolexamentraining

35 a Gegeven: De ventilator blaast de ballon op tot een volume van 520 m^3 . De ventilator heeft een diameter van $0,80 \text{ m}$. De lichtsnelheid is $5,0 \text{ m s}^{-1}$.

Gevraagd: Bereken hoeveel tijd de ventilator blaast.

Berekening: De ventilator heeft een doorsnede van $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,40^2 = 0,503 \text{ m}^2$.
Per seconde wordt $5,0 \cdot 0,503 = 2,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ lucht in de ballon geblazen.
Ervan uitgaande dat de lucht allemaal de ballon ingaat, duurt het opblazen $520 / 2,51 = 207 \text{ s} = 3,4 \text{ min}$

Antwoord: Het duurt 3 minuten en 27 seconden.

b Gegeven: De lucht in de ballon wordt verwarmd van 18°C tot 53°C . Het volume van de ballon bij 18°C is 520 m^3 . Er ontsnapt geen lucht uit de ballon, maar het volume neemt wel toe. De formule: $V/T = \text{constant}$.

Gevraagd: Bereken het volume van de heteluchtballon na het verwarmen van de lucht in de ballon.

Berekening: Gebruik de formule vóór het opwarmen: $V/T = 520 \text{ m}^3 / 291 \text{ K} = \text{constant}$.
Gebruik de formule ná het opwarmen: $V/T = V_{\text{opgewarmd}} / 326 \text{ K} = \text{constant}$.
Stel gelijk aan elkaar, want $V_1/T_1 = V_2/T_2$, en reken $V_{\text{opgewarmd}}$ uit:

$$V_{\text{opgewarmd}} / 326 \text{ K} = 520 \text{ m}^3 / 291 \text{ K} \text{ dus } V_{\text{opgewarmd}} = 583 \text{ m}^3.$$

Antwoord: Het volume van de opgewarmde luchtballon is 583 m^3 .

c $Q = cm\Delta T = 1,0 \cdot 10^3 \times 627 \times (53 - 18) = 2,2 \cdot 10^7 \text{ J}$

Verbrandingswarmte propaan is $93,8 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$. Er verbrandt dus $2,2 \cdot 10^7 / 93,8 \cdot 10^6 = 0,234 \text{ m}^3$ propaan. Dat is 234 dm^3 . De branders staan dus $234 / 53 = 4,4 \text{ min}$ aan.

d De druk in de ballon blijft gelijk door de open verbinding. De lucht in de ballon zet uit door het verhitten. Omdat het volume van de ballon gelijk blijft, ontsnapt er dus lucht uit de ballon en neemt de massa af.



K2.4 Het weer

36 a Gegeven: De luchtvochtigheid bij 19 °C is 25%.

Gevraagd: Bereken de dampdruk van het water.

Berekening: Bij 19 °C is de verzadigingsdruk 2 198 Pa.
Dan is 25% hiervan gelijk aan $2\,198 / 4 = 550$ Pa.

Antwoord: De dampdruk van het water is 550 Pa.

b Bij 4 °C is de verzadigingsdruk 814 Pa. Dit is meer dan 550 Pa. Het glas beslaat niet.

37 a Bij 12°C is de verzadigingsdruk dampdruk 1 403 Pa. De verzadigingsdruk bij 19 °C is 2 198 Pa.

b Gegeven: De antwoorden van opgave a.

Gevraagd: Bereken de relatieve vochtigheid van de lucht.

Berekening: Vul de formule in:

$$\text{relatieve vochtigheid} = \frac{\text{dampdruk water}}{\text{verzadigingsdruk water}} \times 100\%$$
$$\text{relatieve vochtigheid} = \frac{1\,403}{2\,198} \times 100\% = 63,83\%$$

Antwoord: De relatieve vochtigheid van de lucht is 64%

38 a De relatieve vochtigheid als het regent is 100%.

b In de zomer is de temperatuur binnen even groot als buiten en de relatieve luchtvochtigheid niet. In de winter wordt binnen gestookt. De temperatuur is binnen dus hoger dan buiten. De absolute luchtvochtigheid is binnen en buiten even groot, maar door de hogere temperatuur binnen is de relatieve vochtigheid binnen kleiner.

39 a De wind komt van links, want de wolken die bij de bergtop ontstaan worden naar rechts toe geblazen.

b De wolk ontstaat doordat vochtige lucht van links tegen de berg omhoog geduwd wordt. Hoger is de luchtdruk lager, de lucht zet dus uit. Bij dit uitzetten koelt de lucht af tot beneden het dauwpunt. De waterdamp in de lucht condenseert tot kleine druppeltjes. Zo ontstaan de wolken. De wind voert deze wolken verder mee naar rechts.

c De lucht daalt weer geleidelijk waarbij de temperatuur stijgt en de druppeltjes weer kunnen verdampen.

40 a $F = pA$

b $\Delta V = A\Delta h$ (volume van een cilinder is doorsnede keer lengte)

c $W = Fs = pA\Delta h = p\Delta V$

Deze formule vind je ook voor de uitwendige arbeid van een gas in je tabellenboek.

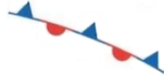
d $p = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$ en $c = 1,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

e $Q = p\Delta V = cm\Delta T \rightarrow 1,0 \cdot 10^5 \times 0,10 = 1,0 \cdot 10^3 \times 1,293 \times \Delta T$
 $\Delta T = 10 / 1,293 = 7,7 \text{ K} (= 7,7 \text{ °C})$

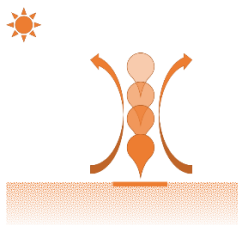


- 41 a Door de zon wordt het zand van het strand heet. Hierdoor stijgt de lucht op, die wordt aangevuld door de vochtige lucht vanuit zee (zeewind). Ook deze vochtige lucht stijgt op waarbij door adiabatische expansie de temperatuur daalt, met wolken als gevolg.
- b De zee is koeler en daar stijgt de lucht dus niet op.
- c De opstijgende lucht op het strand wordt aangevuld door de koelere lucht vanuit zee. De wind waait dus van zee richting strand.

42 a



- b Als een front voor langere tijd op één plaats blijft liggen, dan heet dit een stationair front. Er is dan geen of weinig wind. Weerkundigen geven dit op weerkaarten aan met een lijn met zowel blauwe driehoekjes als ook rode halve bolletjes. Maar ieder aan de tegenovergestelde kant van de lijn zodat duidelijk is dat de lijn niet beweegt. Op deze grens kan langdurig regen vallen omdat er geen wind is.
- 43 a De rode lijn met bolletjes is een warmtefront. De blauwe lijn met puntjes is een koufront.
- b Omdat de lucht rond een lagedrukgebied tegen de wijzers van de klok indraait, komt er in Londen een koufront aan: de temperatuur gaat er dalen.
- c In Schotland liggen de isobaren veel dichter bij elkaar dan in Nederland. Daar zijn de drukverschillen veel groter en waait het dus harder. In Nederland is het bijna windstil.
- d Omdat bij een front koude lucht warme lucht omhoogduwt, bevindt zich bij een front vaak een regengebied. Het is dus regenachtig bij de oostkust van Engeland en Schotland en ook in Ierland.
Bij lagedrukgebieden stijgt warme lucht op dat door adiabatische expansie afkoelt en kan leiden tot regenachtig weer, zoals op zee tussen Schotland en IJsland. Bij hogedrukgebieden zakt koudere lucht naar beneden en kan de lucht meer waterdamp bevatten. Dus in Zweden is het mooi weer.
- 44 a De stad warmt veel meer op, zodat hier opstijgende lucht is. Ook zorgt het bos ervoor dat de lucht vlak erboven niet snel warm wordt. Dus boven de stad is meer thermiek.
- b De piloot wil zo goed mogelijk in de opstijgende luchtbel blijven. Er ontstaat circulatie zoals in de schets.



- c Bij bewolkt weer zijn er weinig temperatuurverschillen waardoor je minder opstijgende luchtballen hebt.



- 45 a De zon komt in het oosten op, de aarde draait dus vanuit het noorden gezien tegen de wijzers van de klok in.
- b De kracht werkt loodrecht op de snelheid, want is het gevolg van de draaibeweging van de aarde. Op het noordelijk halfrond werkt de kracht naar rechts gezien vanuit de snelheid van de lucht, want alleen zo waait de wind rond een lagedrukgebied tegen de wijzers van de klok in.

c Gegeven: Dat $1,0 \text{ m}^3$ lucht zich voortbeweegt met een snelheid van 10 m s^{-1} . Dat Nederland op 52° noorderbreedte bevindt. De formule van de corioliskracht.

Gevraagd: De versnelling van de lucht.

Berekening: Met $F = m \cdot a$ bereken je de coriolisversnelling uit:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4\pi v \cdot \sin\varphi}{T} = \frac{4\pi \cdot 10 \cdot \sin(52)}{24 \cdot 3600} = 0,0011 \text{ m s}^{-2}$$

Antwoord: De versnelling ten gevolge van de corioliskracht is $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$.

- d De versnelling werkt over zeer grote afstanden, waardoor het effect toch groot is. In het hoofdstuk over het heelal leer je dat de kracht bij een cirkelbeweging gelijk is aan $F = mv^2 / r$. De versnelling bij een cirkelbeweging is dan $a = v^2 / r$. Met de berekende versnelling van vraag b krijg je dan een volledige cirkelbeweging bij een straal van $r = v^2 / a = 87 \text{ km}$. Dat zijn wel afstanden die bij het weer passen.

- 46 a De draaiing van de fronten is linksom (tegen de wijzers van de klok in).
- b De fronten krijgen meer en meer de vorm van een spiraal.
- c Het koudefront heeft het warmtefront ingehaald. De twee fronten zijn samengevallen tot één front.
- d Voor het warmtefront zit koude lucht en na het warmtefront heb je warme lucht. Voor het koudefront, dat achter het warmtefront aankomt, zit warme lucht en achter het koudefront zit koude lucht.
Bij een oclusiefront zit er geen wig van warme lucht meer tussen de twee fronten. Voor het oclusiefront zit koude lucht en erachter zit ook koude lucht.
De temperatuur van de twee zones met koude lucht is niet gelijk aan elkaar. De overgang van temperatuur is op het oclusiefront scherp, omdat het de plek is waar het warmte- en koudefront zijn samengegaan.



- 47 a Gegeven: De gemiddelde waterdruppels in de wolk hebben een diameter van $30\ \mu\text{m}$ en ongeveer 80% dragen een lading van $10^{-16}\ \text{C}$. Er zit ongeveer $10^{-6}\ \text{g cm}^{-3}$ water in een wolk.
- Gevraagd: Bereken de lading in $1\ \text{m}^3$ wolk.
- Berekening: $10^6\ \text{cm}^3 = 1\ \text{m}^3$. Dit betekent dat er 1 g water zit in $1\ \text{m}^3$ wolk.

Het volume van één druppel water is:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(30 \cdot 10^{-6})^3 = 1,13 \cdot 10^{-13}\ \text{m}^3.$$

De dichtheid van water is ongeveer $10^3\ \text{kg m}^{-3}$, zodat het gewicht van één druppel water gelijk is aan: $10^3 \cdot 1,13 \cdot 10^{-13} = 1,13 \cdot 10^{-10}\ \text{kg}$.

Dan passen er $\frac{10^{-3}\ \text{kg water/kuub wolk}}{1,13 \cdot 10^{-10}\ \text{kg/druppel}} = 8,84 \cdot 10^6$ druppels per m^3 wolk.

80% daarvan draagt een lading van $10^{-16}\ \text{C}$. Oftewel $1\ \text{m}^3$ wolk bevat een lading van $80\% \cdot 8,84 \cdot 10^6 \cdot 10^{-16} = 7,1 \cdot 10^{-10}\ \text{C}$.

Antwoord: De lading in $1\ \text{m}^3$ wolk is $7,1 \cdot 10^{-10}\ \text{C}$.

- b Gegeven: Het antwoord uit vraag a, de diameter van 20 km en hoogte van 10 km van de onweerswolk.

Gevraagd: De totale lading in deze onweerswolk.

Berekening: Gebruik als benadering de formule voor de inhoud van een cilinder $4\pi R^2 h$. Dan is het volume van de wolk: $4\pi R^2 h = 4\pi \cdot 10^2 \cdot 10 = 12\ 566\ \text{km}^3$.

Er passen $10^3\ \text{m}^3$ wolk in $1\ \text{km}^3$ wolk, dus dan is de totale lading van de wolk gelijk aan: $12\ 566 \cdot 10^3 \cdot 7,1 \cdot 10^{-10} = 0,009\ \text{C}$

Antwoord: Een wolk van deze omvang kan een lading hebben van 0,009 C.

- c Gegeven: Het regent 10 mm per half uur. De wolk blijft even groot doordat opstijgende lucht nieuwe condens aanvoert. De wolk heeft een diameter van 20 km.

Gevraagd: Hoeveel lading heeft de wolk na 1 half uur?

Berekening: Met 10 mm neerslag wordt bedoeld dat er verticaal gemeten een laagje van 10 mm water is gevallen. Op 1 vierkante meter grond is dit dan $1 \cdot 1 \cdot 0,01 = 0,01\ \text{m}^3$ water in 1 half uur.

Het volume van 1 druppel water is $1,13 \cdot 10^{-13}\ \text{m}^3$, zie opgave b, en 80% van de druppels draagt een lading van $10^{-16}\ \text{C}$.

Er passen $0,01 / 1,13 \cdot 10^{-13} = 88,5 \cdot 10^9$ druppels in $0,01\ \text{m}^3$ water.

Dus in 1 half uur valt er per vierkante meter grondoppervlak

$80\% \cdot 88,5 \cdot 10^9 \cdot 10^{-16}\ \text{C} = 7,1 \cdot 10^{-6}\ \text{C}$ lading uit de wolk.

De wolk heeft een diameter van 20 km, wat gelijk is aan $4\pi R^2 = 1,26 \cdot 10^9\ \text{m}^2$.

Dus de wolk verliest per half uur aan negatieve lading

$7,1 \cdot 10^{-6}\ \text{C m}^{-2} \cdot 1,26 \cdot 10^9\ \text{m}^2 = 8,9 \cdot 10^3\ \text{C}$. Een vergelijkbare hoeveelheid positieve lading blijft achter.

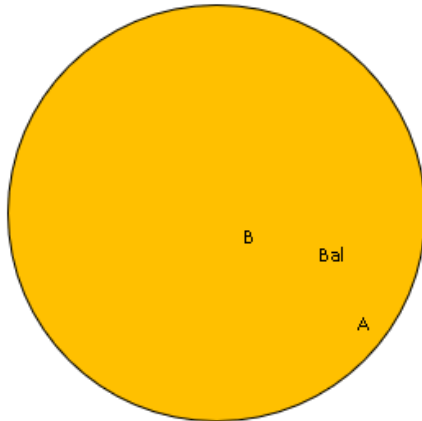
Antwoord: Na een half uur regen zit er $8,9 \cdot 10^3\ \text{C}$ aan positieve lading in de wolk.

- d Na een half uur regen kan de onweerswolk potentieel $8,9 \cdot 10^3 / 15 = 593$ bliksemflitsen produceren.



Schoolexamentraining

48 a



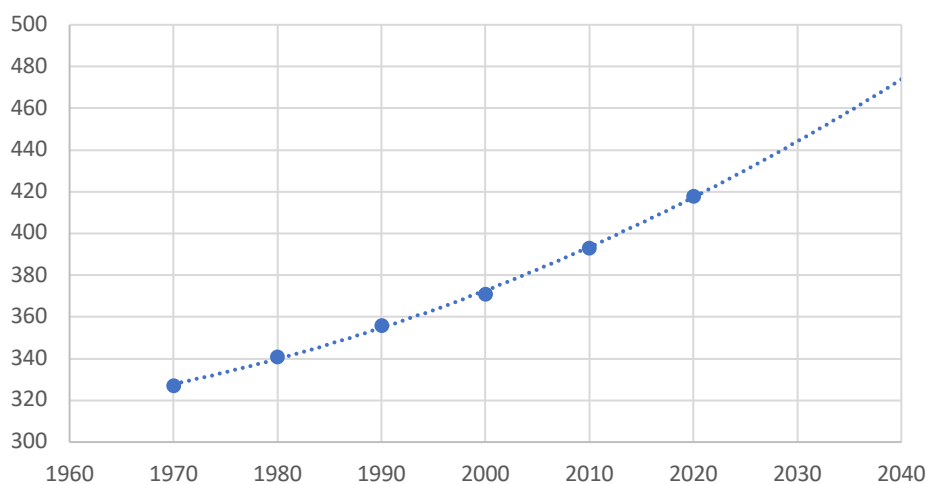
- b De bal is op de lijn AB naar rechts gebogen omdat het ten opzichte van B een grotere snelheid naar rechts had.
 - c De juiste keuze is: C
 - d Het is een schijnbare kracht omdat de bal feitelijk in een rechte lijn beweegt ten opzichte van de grond. Alleen ten opzichte van de molen is de baan krom.
- 49 a Wind wordt veroorzaakt door drukverschillen. Dus als de druk plotseling daalt, nemen de drukverschillen en dus ook de wind toe.
- b De koude lucht beweegt naar rechts, er is dus sprake van een koufront.
 - c Warme lucht heeft een kleinere dichtheid dan koude lucht en “drijft” dus op de koude lucht.
 - d De opstijgende warme lucht zet uit en koelt daarbij af. Hierdoor zakt de temperatuur onder het dauwpunt waardoor wolken ontstaan en uiteindelijk regen.



K2.5 Klimaatverandering en energietransitie

- 50 a Bij kernenergie komt hoogradioactief afval vrij dat miljoenen jaren gevaarlijk blijft. Bovendien is de brandstof, uranium niet onuitputtelijk.
b Kernenergie geeft bij de elektriciteitsproductie geen CO₂ waardoor het geen effect heeft op het broeikaseffect.
- 51 De veeteelt stoot de meeste CH₄ uit. Zonder veeteelt is het broeikaseffect van de landbouw veel kleiner. Bovendien is plantaardig voedsel veel efficiënter dan dierlijk voedsel.
- 52 a Biodiesel ontstaat door omzetting van plantaardige resten in diesel.
b Bij waterstof (brandstofcel) en bij accu's
c De accu is dan het meest effectief omdat de actieradius beperkt is, maar de efficiëntie van het energiegebruik veel groter.
- 53 a De warmtepomp haalt energie uit de omgeving die daardoor afkoelt. De energie die in het systeem gaat is dus niet alleen de 3 kW maar ook de energie uit de omgeving. Propaan verdampt bij een zeer lage druk en condenseert bij een hoge druk.
b Verdampingswarmte van propaan is $0,43 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$. In een uur wordt $12 \cdot 10^3 \times 3600 = 4,32 \cdot 10^7 \text{ J}$ omgezet. De massa is dan $4,32 \cdot 10^7 / 0,43 \cdot 10^6 = 100 \text{ kg}$
c Het rendement fysisch gezien is $12 / (12 + 3) = 0,80 = 80\%$
d $\text{COP} = 12 / 3 = 4,0$
e Er gaat ook energie verloren in de aanvoerkabels waardoor niet alle elektrische energie wordt omgezet in warmte.
- 54 a $10,8 \text{ MJ per m}^3$ $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ J}$, dus $10800 / 3,6 = 3000 \text{ kWh m}^{-3}$
Dichtheid waterstof is $0,090 \text{ kg m}^{-3}$
De energiedichtheid van waterstof is $3000 / 0,090 = 3,3 \cdot 10^4 \text{ kWh kg}^{-1}$
b Neem de hoogste waarde: $0,54 \text{ MJ kg}^{-1} = 540 / 3,6 = 150 \text{ kWh m}^{-3}$ en dat is dus veel kleiner dan de energiedichtheid van waterstof.
- 55 a $80 \cdot 10^6 / 26,6 = 3,0 \cdot 10^6$
b $P_{\text{in}} = 485 / 0,4 = 1213 \text{ MW} = 1,2 \cdot 10^9 \text{ J s}^{-1}$.
- 56 a Aandeel methaan is $(50 \times 1,892) / (50 \times 1,892 + 418) = 0,18$ dus ongeveer 20 %
b

koolstofdioxide concentratie



2030 : 445 ppm en 2040: 475 ppm

- c De CO₂ toename is van 2020 naar 2030 27 ppm De afname van methaan is $0,2 \times 20 \times 1,892 = 7,6$ dus geen compensatie.
Van 2020 naar 2040 neemt CO₂ toe met 57 ppm. De afname van methaan is $0,5 \times 20 \times 1,892 = 18,9$ dus ook onvoldoende voor compensatie.



- 57 a Het zout dat overdag gesmolten is, kan 's nachts nog stoom maken en dus elektriciteit.
b $110 \cdot 10^6 / 1,4 \cdot 10^6 = 78,6 \text{ W m}^{-2}$. Dit is 29%, dus de hoeveelheid zonne-energie is $78,6 / 0,29 = 271 = 0,27 \text{ kW m}^{-2}$.
c De oppervlakte van het paneel is $1,67 \times 0,97 = 1,62 \text{ m}^2$. Het vermogen per m^2 is dus $300 / 1,62 = 185 \text{ W}$, en dat is meer dan de 79 W in de woestijn. (Waarschijnlijk zijn die panelen een stuk ouder en leverden ze nog niet zo veel vermogen.)
- 58 a De wind moet sterk genoeg zijn om de wrijvingskrachten in het systeem te overbruggen.
b Er is ook een bovengrens, want als de wind te hard waait, kan de molen stuk draaien.
c $3,4 \text{ m s}^{-1} = 12 \text{ km h}^{-1}$
d $P = \frac{1}{2} \rho C_p A (v^3 - v_b^3) = \frac{1}{2} 1,293 \times 5,9 \times 2\pi 70^2 (24,4^3 - 3,4^3) = 1,7 \cdot 10^9 \text{ W}$
e Vermenigvuldig de uitkomst van d met $e^{-\frac{\pi v^2}{4u^2}} = e^{-\frac{\pi 24,4^2}{4 \times 6^2}} = 2,3 \cdot 10^{-6}$
 $P = 1,7 \cdot 10^9 \times 2,3 \cdot 10^{-6} = 3,9 \cdot 10^3 \text{ W}$
- 59 a Geothermische energie
b $Q = cm\Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 1,1 \cdot 10^3 \times (85 - 35) = 2,3 \cdot 10^8 \text{ J}$ per s dus 230 MW
c $E_{\text{nuttig}} = 120 \text{ MW} + 230 = 350 = 95\%$. Dus $E_t = 350 / 0,95 = 368 \text{ MW} = 3,7 \cdot 10^8 \text{ W}$

Schoolexamentraining

- 60 a Gegeven: $P_{\text{el}} = 7,0 \cdot 10^5 \text{ kW}$ per generator; $E_{2000} = 9,3 \cdot 10^{10} \text{ kWh}$; Totaal 18 generatoren
Gevraagd: # generatoren gemiddeld in bedrijf
Berekening: $E_{\text{generator}} = 7,0 \cdot 10^5 \cdot 365 \cdot 24 = 6,132 \cdot 10^9 \text{ kWh}$
 $\# \text{generatoren} = \frac{E_{2000}}{E_{\text{generator}}} = \frac{9,3 \cdot 10^{10}}{6,132 \cdot 10^9} = 15$ generatoren gemiddeld in bedrijf
Antwoord: In het jaar 2000 waren er gemiddeld 15 generatoren in bedrijf.
- b Gegeven: $v_{\text{in}} = 18 \text{ ms}^{-1}$; $v_{\text{uit}} = 0$; $\Delta h = 120 \text{ m}$; $V_{\text{water}} = 690 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Gevraagd: η
Berekening: $E_{\text{in}} = \frac{1}{2} m v^2 + m g h = \frac{1}{2} \cdot 690 \cdot 10^3 \cdot 8,0^2 + 690 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 120 = 8,34 \cdot 10^8 \text{ J}$ per seconde
 $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{7,0 \cdot 10^5 \cdot 10^3}{8,34 \cdot 10^8} = 0,84 = 84 \%$
Antwoord: Het rendement van de generatoren is 84 %
- c In Brazilië moeten veel grotere afstanden afgelegd worden dan in Paraguay. Om het verlies in de kabels zo laag mogelijk te houden kan in Brazilië het beste een hoge spanning gebruikt worden. In Paraguay is dat minder belangrijk, omdat de afstanden minder groot zijn. Hoge spanning betekent een lage stroom en een laag verlies.



Toetsvoorbereiding

- 1
 - a Door de platentektoniek schuiven platen over elkaar. Dit gebeurt niet continu maar schoksgewijs omdat de statische wrijving groter is dan de dynamische. Bij zo'n schok vindt een aardbeving plaats.
 - b De P-golven zijn longitudinale golven en hebben een grotere snelheid dan de transversale S-golven.
 - c Het epicentrum is de plaats op het aardoppervlak waaronder een aardbeving plaats kan vinden.
 - d De S- golf legt 420 km af in 10 s. De snelheid is dus $420 / 10 = 4,2 \text{ km s}^{-1}$. De P-golf legt 500 km af in 60 s. De snelheid is dus $500 / 60 = 8,33 \text{ km s}^{-1}$.
 - e De afstand bepaal je door te kijken op welke plaats de afstand tussen beide golven 20 s is. Dat is één verticaal hokje in de grafiek. Dat is dus bij 170 km. Tel daarbij de afstand op links van de oorsprong waar de lijnen elkaar snijden, dat is ca 30 km. Dus totaal 200 km.
 - f $s = \frac{v_P \cdot v_S}{v_P - v_S} \Delta t = \frac{8,33 \times 4,67}{8,33 - 4,67} 20 = 213 \text{ km}$.
Omdat de snelheden in de grafiek nauwkeuriger zijn af te lezen is antwoord f nauwkeuriger.
- 2 De dichtheid van de aarde neemt toe als je dieper gaat en verandert plotseling bij de overgang van mantel naar buitenkern en van buitenkern naar binnenkern. Net als licht vertonen aardbevingsgolven ook breking bij de grensvlakken van materiaal met verschillende dichtheden.
- 3
 - a $800 \text{ mbar} = 8,00 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ en $1020 \text{ mbar} = 1,020 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow 1020 \times 10 = 800 \times V_2 \rightarrow V_2 = 12,8 = 13 \text{ m}^3$
 - b Bij adiabatische expansie verricht de lucht arbeid. De energie wordt hierbij gehaald uit de temperatuurverlaging.
 - c Volgens de wet van behoud van energie is de verrichte arbeid gelijk aan het verlies aan warmte.
 - d $c = 1,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 $m = 10 \times 1,293 = 12,9 \text{ kg}$,
 $\Delta T = 15 \text{ K}$,
 $p = (800 + 1020)/2 = 910 \text{ mbar} = 9,10 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
 $p \Delta V = cm \Delta T \rightarrow 9,10 \cdot 10^4 \Delta V = 1,0 \cdot 10^3 \times 12,9 \times 15 \rightarrow \Delta V = 0,71 \text{ m}^3$
 - e Bij 30°C is de verzadigingsdruk 4245 Pa. 60 % hiervan is $0,60 \times 4245 = 2547 \text{ Pa}$
Bij 15°C is de verzadigingsdruk 1706 Pa. Dit is lager dan 2547, de damp condenseert dus. Er zijn dus wolken ontstaan.
 - f Bij condenseren komt warmte vrij. Er wordt dus warmte aan de lucht afgegeven.
- 4
 - a De warmte van de aarde wordt naar buiten getransporteerd door convectiecellen in de mantel. Hierdoor bewegen de aardschollen die de continenten uit elkaar duwen.
 - b Bij de nieuwe supercontinenten wordt de aardkorst omhoog geduwd door een extra hete mantel. Opmerking: de plaats waar Pangea oorspronkelijk ontstaan is, bij Afrika is de aardkorst nog gemiddeld enkele tientallen meters hoger dan elders.
 - c Bij de Midden Oceanische rug kan aan de hand van gesteente gemeten worden hoever de continenten uit elkaar zijn bewogen in de loop van de tijd. Met nauwkeurige satellietmetingen kan de afstand ook gemeten worden. Op IJsland is een kloof precies op een breuklijn. Deze kloof wordt elk jaar enkele centimeters breder. etc.
- 5 De lucht draait linksom rond het lagedrukgebied boven Ierland.
Temperatuur: het is nu warmer dan enkele dagen geleden, maar de temperatuur gaat binnenkort dalen, zoals te zien is aan het warmtefront dat geweest is en het koufront dat op komt is.
Regen, met het passeren van het warmtefront enkele dagen geleden is het regenachtig geweest, nu is het droog maar met het passeren van het koufront kun je opnieuw regen verwachten.
De wind komt uit het zuidwesten en de windsterkte neemt in de komende dagen toe omdat de isobaren dichter bij elkaar komen.



- 6 a Door het versterkte broeikaseffect loopt de temperatuur op aarde op. Om dit tegen te gaan moet gestopt worden met het gebruik van fossiele brandstof. Dit heet energietransitie. Het gebruik van elektrische auto's is hier een onderdeel van.
- b $665 / (3 \times 52,2) = 4,25 \text{ km L}^{-1}$
- c 1 kg waterstof heeft een volume van $1,0 / 42 = 0,0238 \text{ m}^3 = 23,8 \text{ L}$
Je kunt dus rijden $23,8 \times 4,25 = 101 \text{ km}$
- d 120 MJ voor 101 km. Voor 665 km is dat $665 / 101 \times 120 = 790 \text{ MJ}$
- e Stookwaarde van benzine is $33 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3}$. Voor 1 L benzine is de stookwaarde dus $33 \cdot 10^6 \text{ J}$
40 % hiervan is $0,40 \times 33 \cdot 10^6 \text{ J} = 13,2 \cdot 10^6 \text{ J} = 13,2 \text{ MJ}$
Voor 665 km is dat $665 / 20 \times 13,2 = 439 \text{ MJ}$
- f De nuttige energie is 439 MJ, de totale energie is 790 MJ
$$\eta = \frac{439}{790} \times 100\% = 56\%$$