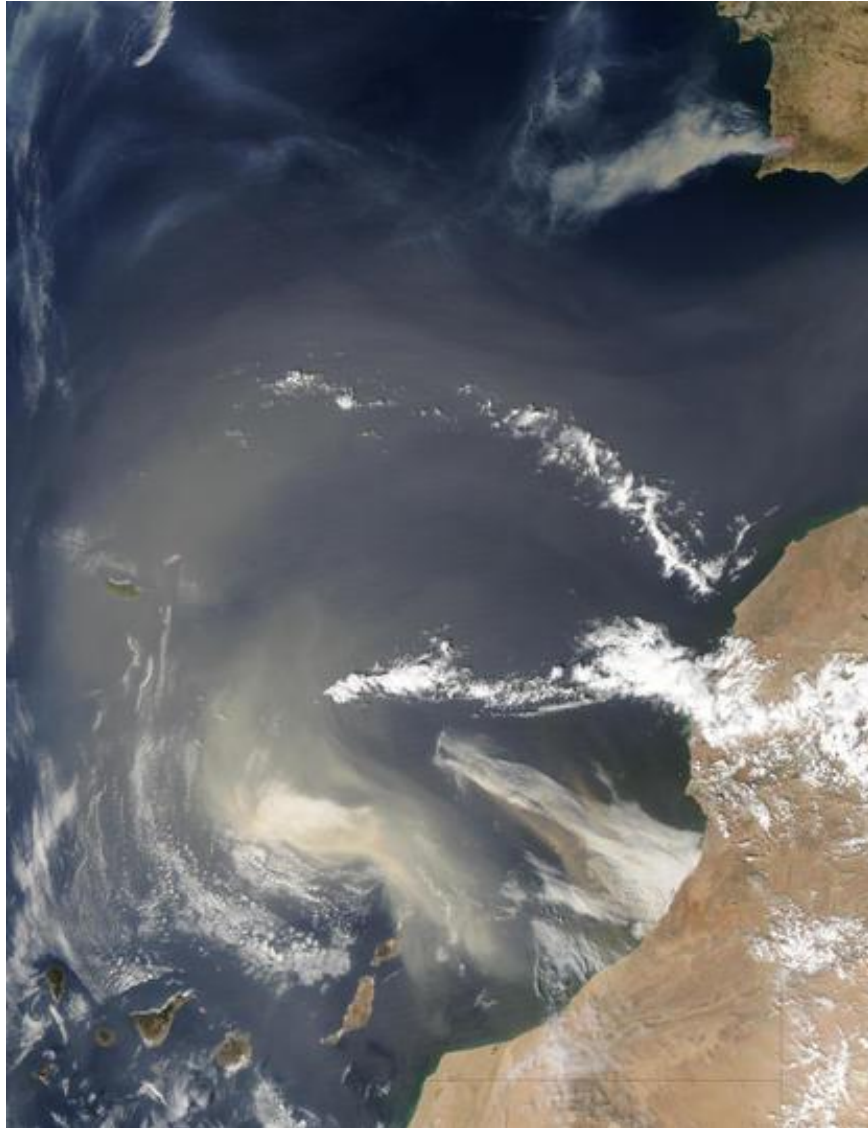


Aerosolen en Vuile Lucht



Gecertificeerde
NLT module
voor havo

Colofon



De module Aerosolen en Vuile Lucht is bestemd voor de lessen Natuur, Leven en Technologie (NLT). De module is op 14 juni 2007 gecertificeerd door de Stuurgroep NLT voor gebruik op het havo. De module is, na keuring en bijstelling gehecertificeerd door de Stuurgroep Verankering NLT op 24 november 2015 en bruikbaar in de domeinen:

havo	
C: Aarde en natuur	X
D: Gezondheid, bescherming en veiligheid	X



De module is gehecertificeerd tot 1 augustus 2021 met certificeringsnummer 1003-001-HCD-2

De originele gecertificeerde module is in pdf-formaat downloadbaar via ► <http://www.betavak-nlt.nl>.

Op deze website staat uitgelegd welke aanpassingen docenten aan de module mogen maken, voor gebruik in de les, zonder daardoor de certificering teniet te doen.



Deze module is ontwikkeld door

- Damstede, Amsterdam, A.P.F.M. Reckman, A.M. Duivenvoorden, S. Kamlag, E.C. Snabilié
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, T. Vlemmix

Aan het bijstellen in bijgedragen door

- Bètasteunpunt Utrecht
- GLOBE Nederland, M. Begheyn

Voor de totstandkoming van deze module is gebruik gemaakt van het volgende materiaal:

- De XLNT-module 'Aerosolen en UV', van Platform Bèta Techniek, onder coördinatie van SME Advies (► <http://www.xlnt-talent.nl/>)

Aangepaste versies van deze module mogen alleen verspreid worden, indien in dit colofon vermeld wordt dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzigingen.

Materialen die leerlingen nodig hebben bij deze module zijn beschikbaar via het vaklokaal NLT:

► <http://www.vaklokaal-nlt.nl/>. Op dit vaklokaal staat ook de meest recente versie van de URL-lijst.

© 2015 Versie 1.4

Het auteursrecht op de module berust bij SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling). SLO is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde creative commons licentie.

De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van een module, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met SLO.

De module is met zorg samengesteld en getest. Landelijk Coördinatiepunt NLT, Stuurgroep Verankering NLT, SLO en auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module. Ook aanvaarden Landelijk Coördinatiepunt NLT, Stuurgroep Verankering NLT, SLO en auteurs geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module.



Voor deze module geldt een Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland Licentie

► <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>

Bij gebruik van de module of delen van de module dient bij de naamsvermelding te worden vermeld:

- dat het gaat om een gecertificeerde NLT module;
- de licentiehouder, zoals vermeld in dit colofon;
- de titel van de module, zoals vermeld in dit colofon;
- de instellingen die de module ontwikkeld hebben, zoals vermeld in dit colofon.

Foto voorpagina:

Aerosolen afkomstig van bosbranden in Portugal en Sahara-zand, dat door een storm vanaf het vasteland de oceaan op wordt geblazen. De foto is vanuit een satelliet gemaakt.

Inhoudsopgave

4	
1	Inleiding .....1
2	Aanwijzingen .....2
3	Algemeen Deel .....4
3.1	Wat zijn aerosolen? .....4
3.2	Informatie verzamelen over weer, atmosfeer en het verband met gezondheid.....5
3.3	Vuile lucht .....7
3.4	Klimaatverandering .....9
3.5	De Stralingsbalans 14
3.6	Invloed van aerosolen op het klimaat..... 16
3.7	Elektromagnetische straling 20
3.8	Een logaritmische schaalverdeling 23
3.9	Aerosolen meten met satellieten en met de GLOBE zonfotometer..... 24
4	Verdiepingsdelen 27
4.1	Luchtvervuiling en gezondheid..... 28
4.2	De atmosfeer van de aarde 35
4.3	Ozon..... 41
4.4	Het huidige klimaat 51
4.5	Aerosolen en wolkenvorming 59
4.6	Satellieten 65
4.7	GLOBE: meedoen in internationaal aerosolen onderzoek 73
5	Informatiebronnen..... 81
	Bijlage 1: maand- en jaargemiddelden temperatuur, De Bilt..... 83
	Bijlage 2: externe data (gegevens) importeren in Excel..... 84
	Bijlage 3: tabel bij proef 22 86
	Bijlage 4: gegevens ballonoplatting in De Bilt 87
	Bijlage 5: tabellen bij proef 33..... 88
	Bijlage 7: tabel bij proef 34 89
	Bijlage 7: het berekenen van de Aerosol Optische Dikte 90
	Bijlage 9: URL's 93

1 Inleiding

Dagelijks hoor je mensen zeggen dat ‘het weer in de war is’. Het stormt vaker en harder, het is veel te warm, we kunnen nooit meer schaatsen op natuurijs.

Ook hoor je dagelijks over de gevolgen van luchtvervuiling: meer mensen met allerlei longziektes en andere kwalen, wegen die niet aangelegd mogen worden omdat we anders normen overschrijden en huizen die niet gebouwd mogen worden op bepaalde locaties omdat daar normen overschreden worden.

Wat is er waar van al deze uitspraken? Zeggen mensen zomaar wat? Zit er serieus onderzoek achter al deze uitspraken?

In deze module bespreken we wat aerosolen zijn en welke stoffen een rol spelen bij luchtvervuiling. Met gegevens van het KNMI maken jullie zelf grafieken (in Excel) over bijv. de temperatuursverandering in de afgelopen eeuw. We gaan dieper in op de gevaren van fijn stof, ozon en stikstofoxiden voor de gezondheid. Ook de veranderende samenstelling van de atmosfeer en de gevolgen daarvan voor het klimaat komen uitgebreid aan de orde. We hebben het over de ozonlaag en de goede aspecten van ozon hoog in de atmosfeer en de slechte kanten van ozon dichtbij de grond.

Jullie gaan zelf aerosolen meten en vervolgens je gegevens vergelijken met satellietmetingen. Je leert iets over de werking van satellieten en hoe we met satellietdata meer te weten kunnen komen over klimaatsveranderingen en over luchtvervuiling.

Aan het einde van de module komt ook aan de orde hoe je zélf mee kunt werken aan het klimaatonderzoek van het KNMI.

We behandelen veel in deze module, maar heel veel ook niet. Met name de rol van koolstofdioxide (CO₂), dat verantwoordelijk is voor het (versterkte) broeikaseffect, komt in deze module niet uitgebreid aan de orde.

In de ‘Aanwijzingen’ op de volgende bladzijde lees je hoe je de module, samen met je klasgenoten en je docent, het beste kunt doorwerken.

Wij wensen je veel plezier toe met deze module, de ontwikkelaars.

2 Aanwijzingen

Hoe werk je deze module door?

Deze module bestaat uit twee delen:

Een Algemeen Deel (hoofdstuk 3) dat uit 9 paragrafen bestaat en een Verdiepingsdeel (hoofdstuk 4) dat uit 7 paragrafen bestaat die we verdiepingsparagrafen noemen; ze zijn aangegeven met een paragraaf-nummer.

Je werkt eerst met de hele klas het Algemene Deel door.

Al na enkele paragrafen van dit deel volgt een korte instaptoets.

In paragraaf 3.2 (tijdens de eerste les) krijgt iedereen een opdracht, die tijdens de eerste weken uitgevoerd wordt, en die je aan het begin van de les kort presenteert.

Als het Algemene Deel (hoofdstuk 3) afgerond is wordt de klas in groepjes verdeeld. Ieder groepje werkt twee verschillende verdiepingsparagrafen uit hoofdstuk 4 door. Dit houdt in: je voert de proeven uit, maakt de opdrachten en je maakt een verslag over deze verdiepingsparagrafen. Via presentaties, posters of via de school ELO houden jullie elkaar op de hoogte van de stof die in deze 6 paragrafen behandeld wordt. Let op: soms wordt in een verdiepingsparagraaf naar een andere paragraaf verwezen. Vraag dan je klasgenoten die daar mee bezig zijn, om nadere uitleg.

Om de module af te ronden maak je een eindtoets, die op het Algemene Deel en op 'jouw' twee verdiepingsparagrafen gebaseerd is.

Voorkennis

Wat je t/m de derde klas geleerd hebt bij aardrijkskunde, natuurkunde, biologie, scheikunde en wiskunde moet voldoende zijn om deze module te begrijpen. Natuurlijk gaan we (veel) dieper op de stof in dan in de derde klas, maar je hebt geen kennis nodig die je in de vierde klas eerst nog bij een ander vak moet leren.

Er is één belangrijke uitzondering: al in paragraaf 3.4 verwachten we dat je goed met het programma Excel overweg kunt. Als dat niet zo is, zul je je daar extra in moeten verdiepen. Je kunt hiervoor ook kijken in de ► NLT Toolbox

In de (extra) stof in bijlage 8 heb je wiskunde-kennis nodig die je doorgaans pas in de vierde klas leert.

Beoordeling

De beoordeling zal gebaseerd zijn op de resultaten van de instaptoets, de eindtoets, de uitvoering van jouw activiteit uit paragraaf 3.2, én de manier waarop je (met je groepje) (minstens) twee verdiepingsparagrafen uit hoofdstuk 4 hebt doorgewerkt. Je docent zal je vertellen hoe zwaar ieder onderdeel meetelt.

Leerdoelen

Als je deze module hebt afgerond kun je:

- in je eigen woorden beschrijven wat aerosolen zijn.
- de belangrijkste bronnen van aerosolen noemen.
- de belangrijkste vervuilende gassen die slecht zijn voor onze gezondheid noemen.
- beschrijven wat de invloed van aerosolen is op het klimaat en daarbij gebruik maken van het begrip stralingsbalans.
- vertellen hoe aerosolen met behulp van satelliet-instrumenten gemeten kunnen worden en daarbij:
 - gebruik maken van de begrippen elektromagnetische straling en Rayleigh verstrooiing;
 - aangeven uit welke vakgebieden er kennis nodig is zulke meetinstrumenten te kunnen maken en om de meetgegevens te kunnen analyseren en interpreteren.
- eenvoudige proefjes uitvoeren en de resultaten presenteren.
- gegevens verzamelen uit verschillende informatiebronnen, deze gegevens interpreteren en presenteren.
- met Excel grafieken maken van meetgegevens van jezelf en uit andere bronnen (b.v. KNMI). Omgaan met Excel betekent o.a:
 - a. uit databestanden op internet zelf grafieken maken
 - b. deze grafieken interpreteren
 - c. in deze grafieken trendlijnen tekenen, extrapoleren en voorspellingen doen.
- een logaritmische schaalverdeling maken.

3 Algemeen Deel

3.1 Wat zijn aerosolen?

Aerosolen zijn vaste of vloeibare deeltjes die in de lucht zweven. De diameter van deze deeltjes varieert tussen 10 nm en 100 μm . Er zijn verschillende typen aerosolen. Ze worden ruwweg in vijf categorieën ingedeeld: stof, roet, sulfaat, zeezout en organisch aerosol. Stof en zeezout hebben een diameter die groter is dan 1 μm , de diameter van roet, sulfaat en organisch aerosol is kleiner dan 1 μm .

Aerosolen zijn zó klein, dat we ze niet kunnen zien.

Aerosol-concentraties vertonen grote verschillen, zowel wat betreft tijdstip op de dag als plaats op aarde. Per cm^3 kun je een paar honderd tot zelfs een miljoen aerosol-deeltjes aantreffen. De concentratie kan ook snel veranderen omdat de aerosolen maar kort (ongeveer een week) in de atmosfeer verblijven. Ook de bron maakt uit: rond sterk vervuilde bewoonde gebieden zal de concentratie veel hoger zijn dan rond onbewoond gebied. Na een brand kan de hoeveelheid aerosol heel groot zijn en na een regenbui heel klein. Dat heet: uitregenen van aerosolen. Als het hard waait kan een wolk aerosolen snel voorbij waaien.



Figuur 1: Industrie als bron van aerosolen

Voorbeelden van aerosol-bronnen zijn bosbranden (roet en organisch aerosol), woestijnzandstormen (stof), industrie (sulfaat en roet), de verbranding van fossiele brandstoffen door bijv. het auto-verkeer (roet), de zee (zeezout) en vulkaanuitbarstingen (stof en sulfaat). Behalve zeezout kunnen alle typen aerosolen zowel een natuurlijke als een menselijke bron hebben. Het is erg moeilijk om onderscheid te maken tussen *natuurlijk* aerosol en *antropogeen* (d.w.z. door menselijke activiteit veroorzaakt) aerosol. Het is echter wel mogelijk de antropogene hoeveelheid aerosol te schatten met behulp van satellietmetingen, aerosolmodellen en informatie over bosbranden, landbouwactiviteit en industriële activiteit.

Stormen over de woestijn brengen de grootste massa aan aerosol in de atmosfeer: zelfs in Nederland zijn straten en auto's soms bedekt met een dun laagje Sahara-zand. Aerosolen die na een vulkaanuitbarsting in de atmosfeer terecht komen, blijven erg lang 'hangen', vooral als ze boven de 10 km in de stratosfeer terechtgekomen zijn.



Figuur 2: de Etna spuwt aerosolen de lucht in

Aerosolen hebben een grote invloed op het klimaat. Ze vervullen een belangrijke rol bij wolkenvorming. Sommige dragen bij aan het *broeikaseffect*, maar anderen weerkaatsen het zonlicht de ruimte in, waardoor het juist kouder kan worden op aarde. Het precieze effect van aerosolen op het klimaat is nog niet bekend, daarvoor is meer onderzoek nodig.

Tenslotte hebben aerosolen ook grote invloed op de gezondheid van de mens. Fijn stof - hieronder verstaan we vaste deeltjes met een diameter kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ - dringt diep in de longen door en veroorzaakt ademhalingsproblemen. Mensen die al een luchtwegziekte zoals astma hebben zijn extra gevoelig voor aerosolen.



Figuur 3: een rode zonsondergang: veel aerosolen

Aerosolen zijn te meten door vast te stellen hoe ze zonlicht in de atmosfeer *weerkaatsen* of *absorberen*. Aerosolen absorberen niet alleen zichtbaar licht, maar ook infrarode (IR) en ultraviolette (UV) straling. Met name roet absorbeert veel IR en stofdeeltjes absorberen veel UV. Absorptie en weerkaatsing kunnen gemeten worden vanaf de grond, maar ook door satellieten. Een satelliet kan boven alle plaatsen op aarde waarnemen, maar een waarnemer op de grond kan vaak nauwkeuriger meten en eerder inspelen op onverwachte situaties. In het algemeen geldt dat satellietmetingen met metingen vanaf de grond vergeleken worden.

Een tweede manier om aerosolen te meten is het verzamelen van luchtmonsters met behulp van bijv. 'snuffelpalen' en het chemisch analyseren hiervan. De resultaten van deze directe meetmethode vind je o.a. terug op Teletekst.

1 Vragen en opdrachten

- 1.1 Reken de gegeven afmetingen van aerosolen om in meters.
- 1.2 Hoe groot schat je de diameter van het kleinste deeltje dat een mens kan zien?
- 1.3 Hoeveel keer kleiner is het kleinste aerosol?

3.2 Informatie verzamelen over weer, atmosfeer en het verband met gezondheid

In overleg met je docent wordt de klas in groepjes verdeeld. Ieder groepje voert één van de vier onderstaande activiteiten uit. Meerdere groepjes kunnen dus dezelfde activiteit uitvoeren.

Aan het begin van de komende lessen presenteert of presenteren telkens een of meer groepjes het resultaat van de afgelopen week. Gebruik hiervoor ► werkinstructie presenteren in de NLT Toolbox.



Figuur 4: Teletekst 711. Zodra één van de vier vervuilende stoffen het niveau 'matig' bereikt, wordt een subpagina toegevoegd (zie vraag 2.3).

2 Activiteit: teletekstpagina's 711/712 (RIVM)

- 2.1 Kijk op teletekstpagina 711. Hier zie je de smogverwachting. Smog staat voor een periode met verhoogde luchtverontreiniging. SMOG komt van 'SMoke & fOG' en betekent letterlijk: rook en mist. Er wordt naar vier luchtvervuilende stoffen gekeken: fijn stof, ozon (O₃), stikstofdioxide (NO₂) en zwaveldioxide (SO₂).
- 2.2 Minstens tweemaal per dag kijkt jullie groepje naar pagina 711. Schrijf de resultaten op. Let vooral op de verschillen op verschillende tijden/dagen.
- 2.3 Je ziet (als er 3 subpagina's zijn) dat ze naar verschillende zones in het land kijken.
 - a Welke zones zijn dit?
 - b In welke zone ligt je school?
- 2.4 De metingen van fijn stof worden uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De concentraties van fijn stof zijn in drie klassen verdeeld.
 - a Welke zijn dit?
 - b Waarop is de indeling gebaseerd?
- 2.5 Onder bepaalde omstandigheden wordt er een smogalarm afgegeven.
 - a Zoek uit via bovenstaande teletekstpagina's en/of via internet wanneer er sprake is van een smogalarm.
 - b Wie geeft dat smogalarm af?
 - c Wat wordt burgers geadviseerd te doen tijdens een smogalarm?

3 Activiteit: artikelen zoeken over luchtvervuiling en gezondheidsklachten

- a Bij deze activiteit zoekt je groepje drie recente artikelen over de relatie tussen luchtvervuiling en gezondheidsklachten. In elk van de artikelen staat tenminste één luchtvervuilende stof (fijn stof, ozon of stikstofoxiden) vermeld. Bovendien moet één artikel gaan over onderzoek in je eigen regio, een ander artikel over onderzoek ergens in Nederland, en een derde artikel over onderzoek in het buitenland. Ieder lid van je groepje zoekt minimaal één artikel.
- b Een aantal artikelen zal worden gepresenteerd in de les; gebruik hiervoor ► werkinstructie presenteren in de NLT Toolbox. De docent overlegt met jullie groepje wie wanneer presenteert.

Eisen aan de artikelen:

- gepubliceerd in de afgelopen 3 jaren
- uit een krant, tijdschrift of van het internet
- op papier aan je docent geven op een afgesproken datum en tijdstip met vermelding van waar het artikel is gevonden, de datum van publicatie en de auteur(s).

4 Activiteit: RIVM-site landelijk meetnet luchtkwaliteit (lml)

- 4.1 Zoek op de website van het RIVM, het Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu, ► URL1, naar de concentraties van fijn stof, ozon (O₃) en stikstofdioxide (NO₂) voor een meetpunt zo dicht mogelijk bij je school.
- Schrijf de waarden op voor vandaag (op enkele verschillende tijdstippen) en voor alle dagen in de afgelopen week.
 - Probeer de verschillen te verklaren.
- 4.2 Gebruik de gegevens en histogrammen om je klasgenoten in te lichten over het verloop van de concentraties van deze vervuilende stoffen tijdens een etmaal (dag en nacht) en tijdens een hele week.

5 Activiteit: gegevens over het weer verzamelen

- Verzamel gegevens over de temperatuur, de windrichting, de windkracht en de hoeveelheid neerslag rondom je school. Zorg dat je minstens tweemaal per dag deze gegevens verzamelt. Meet zelf, gebruik de krant, bekijk teletekstpagina's 702 t/m 705, of kijk op de website van het KNMI: ► zie URL2.
- Als je de weergegevens hebt, probeer dan met je kennis uit paragraaf 3.1 te voorspellen of de fijn stof-concentratie hoog of laag zal zijn.

6 Extra Activiteit: Aerosolen meten met de GLOBE Zonfotometer

Als op jullie school al gewerkt wordt met de Zonfotometer (zie verdiepingsparagraaf 4.7) regel dan dat ook wekelijks tijdens de NLT-lessen de meetgegevens van de zonfotometer in de klas gepresenteerd worden.

3.3 Vuile lucht



Figuur 5: een schoon doekje bij een auto-uitlaat. Voorzichtig!

7 Proef: roet uit de uitlaat van een auto

Benodigheden

- doekjes of filters
- stopwatch.

Waarschuwing!!

Een auto-uitlaat kan erg HEET zijn. Verbrand je niet!
Doe deze proef niet in een GESLOTEN RUIMTE zoals een garage!

Werkwijze

- Vraag je docenten of ze een auto hebben. Zo ja, vraag dan op welke brandstof ('gewone' diesel, ultimate diesel, biodiesel of benzine) de auto rijdt en of hun dieselauto wel of geen roetfilter heeft. Vraag of ze je willen helpen een klein proefje te doen.
- Span over de uitlaat van de verschillende auto's een witte lap of een filter en vraag of de eigenaar 30 seconden lang flink gas wil geven.
- Vergelijk het resultaat van de verschillende brandstofsoorten.



Figuur 6: welke docenten hebben auto's die de doekjes zo vies maken?

Er komt duidelijk veel roet vanuit de uitlaat de atmosfeer in. Maar behalve roet, dat uit vaste deeltjes bestaat, komen er ook nog eens veel vervuilende gassen uit de uitlaat. Met name stikstofoxiden (NO en NO_2 , samen ook wel NO_x), zwaveldioxide (SO_2), en ozon (O_3) in de onderste laag van de atmosfeer spelen een voor de mens negatieve rol.

Vervuilende gassen zijn gassen in de atmosfeer, die slecht zijn voor onze gezondheid.



Stikstofoxiden en ozon zijn de belangrijkste luchtvervuilende gassen, vooral in verstedelijkt gebied. Stikstofoxiden ontstaan bij processen op hoge temperatuur in motoren. Nederland met z'n vele verkeer behoort tot de gebieden op aarde met de meeste vervuiling door stikstofoxiden. Op enkele plaatsen overschrijden we Europese normen voor de luchtkwaliteit. Op grond hiervan heeft de Hoge Raad al verscheidene malen plannen voor de aanleg van nieuwe wegen, extra spitsstroken, tunnelingangen en bouwplannen voor nieuwbouwwijken afgekeurd.

De ozon die zich laag in de troposfeer bevindt, ontstaat door een chemisch proces en onder invloed van zonlicht uit zuurstof, stikstofoxiden, methaan en koolstofmonoxide. Deze gassen komen weer door de industrie, het verkeer en de landbouw in de troposfeer terecht. Ook ozon is in de troposfeer een belangrijke luchtvervuiler. In de verdiepingsparagrafen 4.2 en 4.3 gaan we dieper op de opbouw van de atmosfeer en op ozon in.

Zowel de roetdeeltjes als de stikstofoxiden en de ozon dringen diep door tot in de kleinste vertakkingen van onze luchtwegen, en veroorzaken vele lichamelijke klachten.

In verdiepingsparagraaf 4.1 gaan we verder op dit onderwerp in.

8 Vragen en opdrachten

8.1

- a Wordt de brandstof in een automotor onvolledig of volledig verbrand?
- b Hoe kun je dit ook uit de resultaten van proef 1 opmaken?

- 8.2 Waar in de wijde omgeving van je school zullen veel mensen lichamelijke klachten krijgen door luchtvervuiling?
- 8.3 Op de site van URL3 vind je een lijst van ruim 200 vieze wegen in de Nederlandse steden.
In welke vieze straat kom je wel eens? Of, als je in een erg schoon deel van Nederland woont, van welke vieze straat heb je wel eens gehoord?

3.4 Klimaatverandering



Figuur 7: Blik op de Rhône-gletsjer vanuit Gletsch, links in 1900, rechts in 2005

Als je over de Furkapas in Zwitserland rijdt zie je op enige afstand van de weg de Rhône-gletsjer liggen. Figuur 7 toont rechts een foto van de Rhône-gletsjer in 2005 vanuit het dorpje Gletsch, en links een ansichtkaart uit 1900, met eveneens een blik op de Rhône-gletsjer vanuit het dorp Gletsch. Duidelijk is te zien dat er zich veel minder ijs is gaan vormen in deze 105 jaar. Dit geldt voor bijna alle gletsjers in de Alpen en voor vele andere in de wereld. Dit afsmelten van gletsjers in de wereld geeft aan dat er iets aan het veranderen is in het klimaat.

Maar wat wordt nu eigenlijk bedoeld met *klimaatverandering*? Is het klimaat bijvoorbeeld veranderd als de gemiddelde temperatuur van dit jaar anders is dan de gemiddelde temperatuur van vorig jaar? In de volgende proef onderzoek je of het klimaat wel of niet echt verandert door te kijken naar de gemiddelde jaarlijkse temperatuur van een groot aantal jaren.

9 Activiteit: een grafiek maken (in Excel) van de gemiddelde temperatuur in De Bilt


Werkwijze

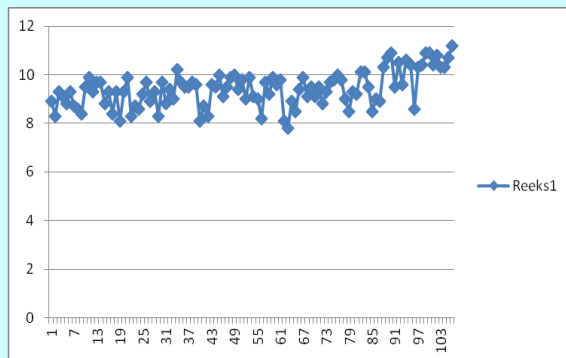
In bijlage 1 vind je een overzicht van de maand- en jaargemiddelden van de temperatuur in De Bilt tussen 1901 en 2006. Je gaat hier met behulp van het programma Excel een grafiek van maken.

Werkwijze maken grafiek



- Open bijlage 1
- Selecteer 'Invoegen' en klik bij *Grafieken* op 'Lijn', vervolgens op 'Lijn met gegevensmarkering'. Dit levert een leeg blokje op.
- Rechtsklik op dit lege blokje en kies 'Gegevens selecteren'.
- Klik op rechter icoontje helemaal rechts van 'Gegevensbereik van de grafiek'

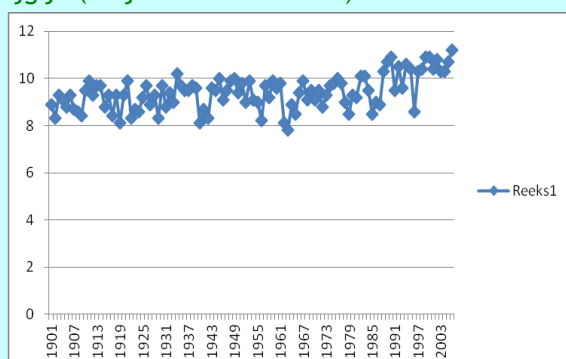
e Selecteer de jaargemiddelde als volgt:

- links klik op bovenste waarde onder JAAR
- scroll omlaag met scrollbar
- druk SHIFT toets in en geef links klik op onderste waarde
- en klik op  rechts in het scherm
- dit levert het volgende plaatje op:

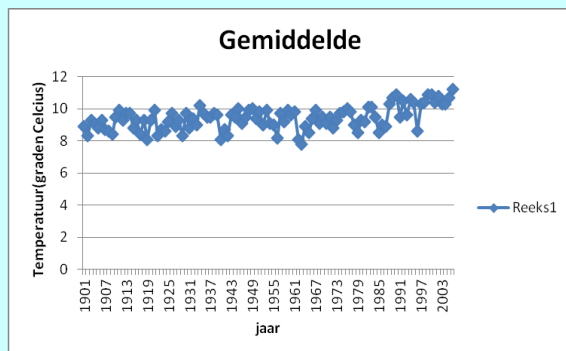


f Plaats nu de jaartallen onder de horizontale as:

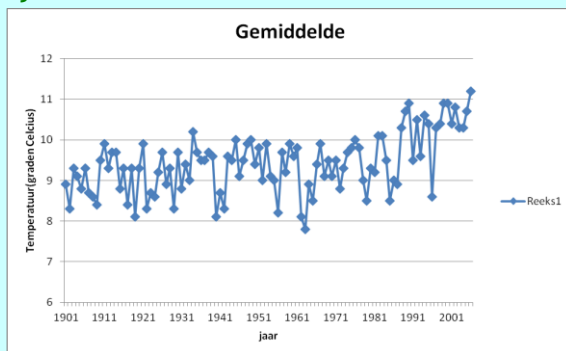
- Klik in het scherm dat nog open staat van vorige acties (*Gegevens bron selecteren*) op 'Bewerken' (onder 'Horizontale aslabels').
- klik in het nieuwe scherm 'Aslabels' op 
- scroll omhoog naar oudste jaartal (1901) en linksklik erop
- scroll omlaag naar jongste jaartal (2006)
- druk SHIFT in en houd ingedrukt; en klik op hokje met jongste jaartal
- klik op 
- klik OK in scherm 'Aslabels'
- klik OK in scherm 'Gegevensbron selecteren'
- dan krijg je (de jaartallen eronder)



- g Plaats nu een titel boven de grafiek:
- klik op 'Indeling' boven in scherm
 - klik op 'Grafiektitel' bij 'Labels' en pas titel aan naar "Gemiddelde temperatuur in De Bilt"
- h Plaats nu het woord 'Jaar' op de horizontale as:
- klik op 'Indeling' boven in scherm
 - klik op 'Astitels' bij 'Labels'
 - klik op 'Titel van primaire horizontale as'
 - klik op 'Titel onder as' en type "Jaar"
- i Plaats nu de tekst 'Graden Celcius' bij de verticale as:
- klik op 'Indeling' boven in scherm
 - klik op 'Astitels' bij 'Labels'
 - klik op 'Titel van primaire verticale as'
 - klik op 'Gedraaide titel'
 - en type "Temperatuur (Graden Celcius)"
 - dan krijg je:



- j Laat nu verticale as niet vanaf 0 graden laten lopen, maar vanaf 6 graden:
- klik in de grafiek op de een van de getallen van de verticale as
 - rechtsklik en klik op 'as opmaken'
 - klik bij *Opties voor as* bij Minimum: 'Vast' en getal 6 en sluit scherm
- k Maak nu de horizontale as op zodat je niet alle jaartallen meer ziet, maar om de 10 jaar:
- klik in grafiek op de één van de getallen van de horizontale as
 - rechtsklik en klik op 'as opmaken'
 - klik bij *Opties voor as* bij Interval tussen labels: 'Geef de intervaleenheid op' en type 10
 - sluit scherm
 - nu heb je:



- als de jaartallen niet goed leesbaar zijn, vergroot dan het schermje van het diagram

Je hebt nu een grafiek gemaakt waarin twee dingen duidelijk opvallen:

- 1: de gemiddelde temperatuur verschilt behoorlijk van jaar tot jaar (de lijn springt op en neer). Warme en koude jaren wisselen elkaar af;
- 2: vooral vanaf 1990 wordt het gemiddelde steeds hoger, met 1996 als uitzondering.

Werkwijze zelf een trendlijn trekken

- a Print je grafiek.
- b Teken één vloeiende lijn door de meetpunten.
- c Iedereen zal de lijn anders tekenen. Bespreek met elkaar welke lijn de beste is.

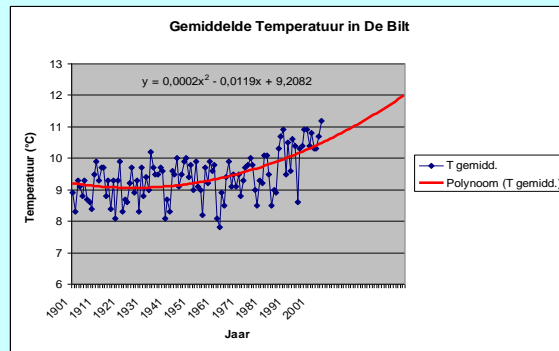
We gaan nu proberen om met het Excelprogramma in deze grafiek een 'trend' te ontdekken en te voorspellen wat de gemiddelde temperatuur in 2040 zal zijn. Er zijn vele manieren om een lijn door al deze meetpunten te trekken: een rechte lijn, een parabolachtige lijn (tweedegraads vergelijking) of zelfs een exponentieel verloop. Excel tekent deze lijn, de trendlijn, als volgt: de afstand van de lijn tot ieder meetpunt wordt berekend, en dan wordt de lijn zó geconstrueerd dat de som van de kwadraten van al die afstanden zo klein mogelijk is.

Het Excel-programma geeft je ook de formule van de rechte of kromme lijn die je gekozen hebt. Met behulp van deze formule kun je extrapoleren: punten vinden voorbij het laatste meetpunt. Op die manier kunnen we de gemiddelde temperatuur in 2040 proberen te voorspellen.

Werkwijze toevoegen trendlijn in Excel

- a Klik rechts op de blauwe lijn in de grafiek en selecteer 'trendlijn toevoegen'.
- b Kies voor een polynoom
- c Ga naar *Lijnkeur*, kies 'ononderbroken streep' en kies kleur rood.
- d Ge terug naar *Opties voor trendlijn*. Onder 'voorspelling' vul je bij 'vooruit' 35 (punten) in.
- e kies onderin het scherm voor 'vergelijking in grafiek weergeven' en sluit scherm.
- d Om het jaartal 2041 in de grafiek ook af te kunnen lezen:
 - links klik op een jaartal bij de horizontale as
 - rechtsklik en kies 'as opmaken'
 - kies bij *Opties voor as* voor 'Astype': Datas
 - en sluit

- dit levert:



- als de jaartallen eerder dan 2041 stoppen, vergroot dan het schermje van het diagram

Lees uit je grafiek de volgens deze trend voorspelde verwachte gemiddelde temperatuur in de Bilt in 2040 af.

10 Vragen en opdrachten

- 10.1 Bij het tekenen van de trendlijn wordt rekening gehouden met de som van de kwadraten van de afstanden. Waarom zou je die afstanden eerst kwadrateren?
- 10.2 In het voorbeeld hierboven (Werkwijze toevoegen trendlijn in Excel, punt b) wordt gekozen voor een parabool als trendlijn. Waarom is dit zeker niet goed? (Tip: kijk wat er in 1901 gebeurt).
- 10.3
 - a Ga naar URL2, klik op 'Klimaat', dan op 'Klimatologie' en vervolgens op 'Maand/jaarwaarden van KNMI-stations'. Je vindt gegevens met betrekking tot de maximum/minimum/gemiddelde temperatuur van verschillende meetstations in Nederland. In overleg met je docent kies je allemaal een verschillende set meetgegevens.
 - b Gebruik bijlage 2 om gegevens van de KNMI-site te kunnen importeren in Excel.
Maak met Excel een grafiek van de temperatuur tegen de tijd (een (T,t)-grafiek). Teken hier een trendlijn in. Motiveer je keuze voor het type trendlijn Extrapoler tot 2040.
 - c Vergelijk de grafieken klassikaal.

De stijging van de gemiddelde temperatuur in De Bilt is een aanwijzing dat het klimaat in Nederland verandert. Niet alleen in Nederland, ook wereldwijd stijgt de gemiddelde temperatuur. Deze temperatuurstijging heeft een aantal duidelijk meetbare gevolgen. Zo is de sneeuw- en ijsbedekking van de aarde afgenomen. Dit heeft in combinatie met het uitzetten van het zeewater recentelijk geleid tot een stijging van de zeespiegel van 10-20 cm. Het groeiseizoen van planten wordt steeds langer. Er komen steeds meer zuidelijke soorten planten en dieren in Nederland voor en soorten die kenmerkend waren voor Nederland verdwijnen langzaam naar het noorden.

Hoe het in de nabije toekomst verder gaat is zeer de vraag. Het is afhankelijk van een groot aantal factoren. Klimatologen zijn druk doende om met klimaatmodellen voorspellingen te doen over het klimaat wereldwijd en in Nederland. Vooral nog ziet het er naar uit dat de temperatuur wereldwijd met 1,4°C tot 5,8°C zal stijgen. De grote onzekerheidsmarge hangt enerzijds samen met onvolledige kennis van vooral temperatuurverhogende of -verlagende processen in het klimaatsysteem en anderzijds met de daaraan gekoppelde onzekerheid in voorspellingen van de toekomstige menselijke uitstoot van broeikasgassen en aerosolen. Beide onzekerheden zijn van vergelijkbare grootte. De temperatuurstijging heeft vooral grote gevolgen voor de waterkringloop. De bedekking van de aarde met sneeuw en ijs zal verder afnemen. Het niveau van de zeespiegel zal naar verwachting stijgen met 9 tot 88 cm.

11 Vragen en opdrachten

11.1 Geef nog tenminste drie andere voorbeelden van klimaatverandering.

11.2

- a Leg uit hoe de stijging van de temperatuur gevolgen heeft voor de dichtheid ρ van het zeewater.
- b Wat zijn de gevolgen van die veranderde dichtheid?

3.5 De Stralingsbalans

In deze paragraaf kijken we naar de energiehuishouding in de atmosfeer: hoeveel energie komt er van de zon de aardse atmosfeer in en hoeveel gaat er weer uit, de ruimte in? We maken de stralingsbalans op. We kijken hoe broeikasgassen en aerosolen deze balans verstoren, waardoor het klimaat verandert.

De zon zorgt voor de aanvoer van alle energie die we op aarde gebruiken of nog in voorraad hebben, o.a. via fossiele brandstoffen. Door de *kernfusieprocessen* in de zon worden er voortdurend grote hoeveelheden energie geproduceerd, die in de vorm van elektromagnetische straling de ruimte ingezonden worden. Een héél klein gedeelte van deze energie bereikt de aarde. De hoeveelheid energie die de zon produceert is niet constant, maar de variaties worden nog niet precies begrepen.

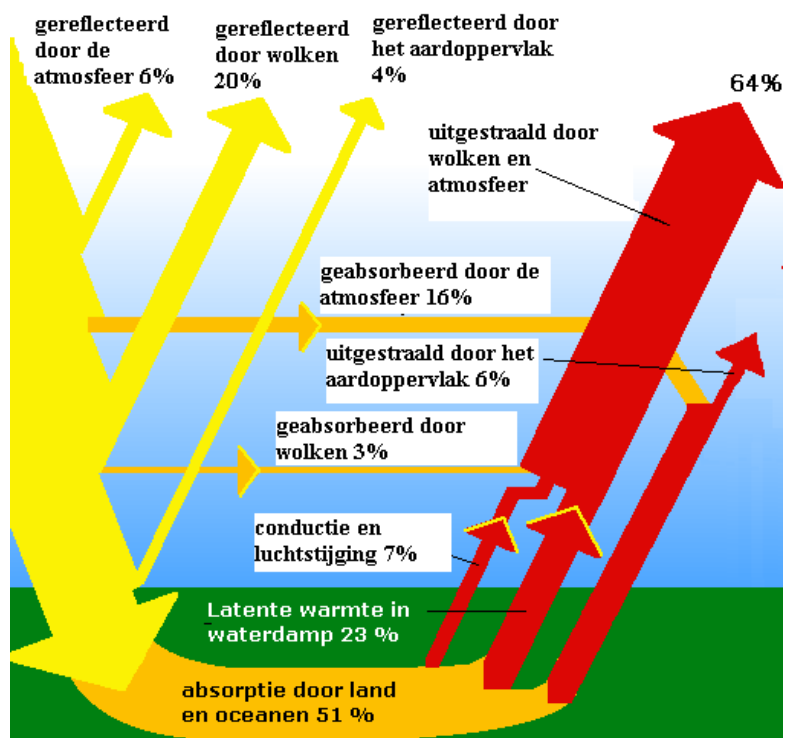
De aarde reflecteert een deel van de zonne-energie, en zendt de rest als warmtestraling ook weer uit, de ruimte in.

De stralingsbalans is in evenwicht als de inkomende hoeveelheid energie gelijk is aan de uitgaande hoeveelheid energie.

12 Vragen en opdrachten

12.1 Wat wordt bedoeld met 'de kernfusieprocessen van de zon'?

Om veranderingen in het klimaat goed te begrijpen moeten we de factoren die de balans uit evenwicht kunnen brengen kennen. Hoe verstoren extra broeikasgassen en aerosolen de balans?



Figuur 8: de Stralingsbalans geeft (in %) de hoeveelheden energie, die de atmosfeer in- en uitgaan.

Bekijk eerst figuur 8:

De inkomende zonne-energie wordt:

- voor ruim een kwart (6%+20%+4%) door de atmosfeer en de wolken direct weer de ruimte ingezonden.
- voor bijna 20% (16%+3%) door de atmosfeer en de wolken geabsorbeerd.
- voor ongeveer de helft (51%) door de aardbodem en de oceanen geabsorbeerd. De bodem, het water en de vegetatie worden zo verwarmd.

De aardatmosfeer en het aardoppervlak zenden de geabsorbeerde energie weer als infrarode (warmte-)straling de ruimte in. Een klein deel van de warmte verlaat als straling rechtstreeks de aarde, een groter deel belandt in allerlei kringlopen in de atmosfeer. Om ijs en water te verdampen is bijv. veel energie nodig (zie Binas tabel 11 en 12): in de waterdamp, waaruit de wolken ontstaan, is deze energie latent ('verborgen') aanwezig.

Aerosolen en wolken

Aerosolen kunnen als *condensatiekernen* fungeren, dat betekent dat de waterdamp condenseert rondom een vast aerosol-deeltje. Op deze manier ontstaan (extra) wolken (zie proef 12 in de volgende paragraaf).

De mate waarin de temperatuur verandert door wolkenvorming hangt sterk af van de hoeveelheid en het type bewolking. Bij aanwezigheid van veel middelbare en lage bewolking treedt een netto afkoelend effect op omdat deze bewolking veel zonnestraling reflecteert en weinig infrarode straling uitzendt. Er bestaan op dit moment nog grote onzekerheden in de modellen voor wat betreft de bijdrage van wolkenvorming als gevolg van aerosolen aan het klimaat. In verdiepingsparagraaf 4.5 wordt dieper ingegaan op wolkenvorming. Broeikasgassen als koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4) houden overigens ook extra energie 'vast' in de atmosfeer, doordat zij de warmtestraling weer 'terugkaatsen' richting het aardoppervlak. (zie verder in verdiepingsparagraaf 4.4)

13 Vragen en opdrachten

13.1

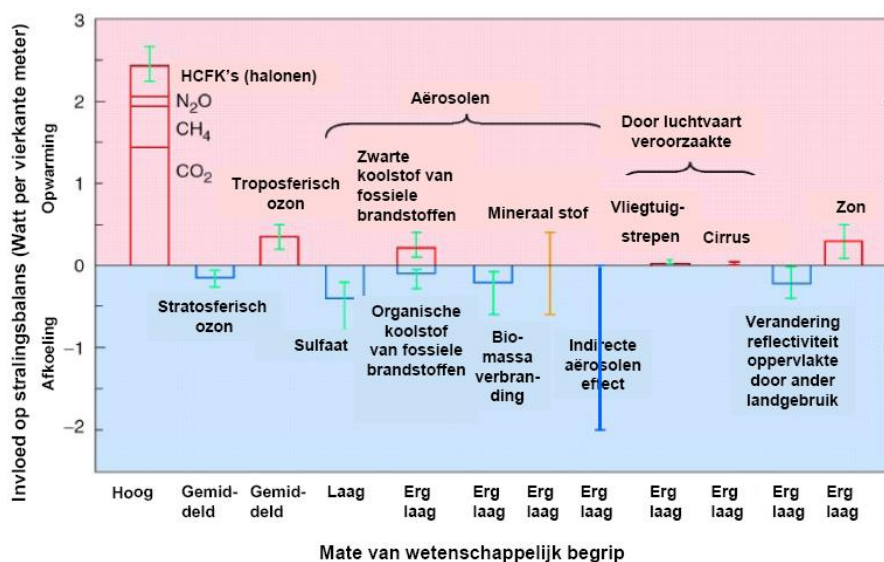
- Bekijk figuur 8 goed. Schrijf op welke pijlen je bij elkaar op moet tellen om tot 100% inkomende zonne-energie te komen.
- Welke pijlen moet je bij elkaar optellen om tot 100% door de aarde uitgestraalde energie te komen?
- Wat geven de drie verschillende kleuren (geel, oranje en rood) in de figuur dus aan?

13.2 De hoeveelheid energie, die de aarde per seconde per m^2 van de zon ontvangt bedraagt ongeveer 342 J .

Bereken het door de aarde gereflecteerde vermogen en het als infrarode straling uitgezonden vermogen in Wm^{-2} .

3.6 Invloed van aerosolen op het klimaat

Een belangrijke oorzaak van de klimaatverandering is vermoedelijk de toename van de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer: koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Maar ook veel andere gassen én de aerosolen spelen een rol bij de klimaatverandering. In figuur 9 wordt aangegeven hoe al die gassen en stoffen de stralingsbalans verstoren



N

Figuur 9: de invloed van verschillende stoffen op de stralingsbalans, in Wm^{-2} . Broeikasgassen veroorzaken opwarming; aerosolen veroorzaken zowel opwarming als afkoeling. De streepjes geven de onzekerheid aan. Op de horizontale as staat hoe goed/slecht ieder effect begrepen wordt.

Een positieve waarde betekent een temperatuurstijging, terwijl een negatieve waarde juist voor een temperatuurdaling staat. Het effect van de broeikasgassen (uiterst links) wordt dus behoorlijk goed begrepen, maar met name de bijdrage van aerosolen is nog erg slecht begrepen. Dat geldt vooral voor het indirecte *aerosolen-effect*. Hiermee wordt bedoeld: de invloed van aerosolen op het klimaat in hun rol als condensatiekernen.

14 Proef: Aerosolen als condensatiekernen

Benodigheden:

twee spiegels
een schoonmaakmiddel.

Werkwijze

- Maak één van de spiegels goed schoon en droog; zorg dat op de andere spiegel veel viezigheid zit.
- Leg beide spiegels plat op tafel en adem vijf keer over de schone spiegel en vervolgens ook vijf keer over de vieze spiegel. Niet blazen! Andere mogelijkheid: plaats beide spiegels verticaal en zet er een bak heet (dus dampend) water onder.
- Is er een verschil te zien tussen de twee spiegels? Let vooral op de waterdamp die wel of juist niet op de spiegels condenseert. Laat eventueel iemand anders kijken wanneer jij ademt, zodat het effect duidelijk te zien is.



Figuur 10: op welke spiegel condenseert de waterdamp wel?

Aerosolen hebben zowel een directe als een indirecte invloed op het klimaat. Onder het directe effect van aerosolen worden de reflecterende en absorberende eigenschappen verstaan. Reflecterende deeltjes hebben een verkoelende werking op de atmosfeer omdat ze direct zonlicht reflecteren naar de ruimte. Zonlichtabsorberende aerosolen, bijv. roet, hebben het tegenovergestelde effect. Zij dragen bij aan de opwarming van de atmosfeer omdat ze energie van de zon absorberen. Een indirect

effect van aerosolen op de atmosfeer is de rol bij de vorming van wolken, doordat ze als condensatiekernen fungeren. Wolken met een hoog gehalte aan condensatiekernen hebben een grotere reflectiecapaciteit waardoor zij zorgen voor een afkoeling van de atmosfeer.

De aanwezigheid van aerosolen in de atmosfeer veroorzaakt, wanneer de opwarmende en de afkoelende effecten samen beschouwd worden, een daling van de temperatuur op aarde met ongeveer $0,5^{\circ}\text{C}$. Het netto effect van de atmosferische opwarming of afkoeling hangt af van de aerosolgrootte, de hoogte waarop de aerosolen zich bevinden, de vorm van de deeltjes, het soort aerosolen en de afstand die ze afgelegd hebben vanaf de bron.

Hoe groter de afstand is die aerosolen afleggen, des te langer kunnen zij het klimaat beïnvloeden.

Vrijwel alle aerosolen die van het aardoppervlak of de oceaan afkomstig zijn, bevinden zich in de onderste 5 km van de troposfeer. Een uitzondering hierop zijn de aerosolen die bij een zware vulkaanuitbarsting vrijkomen: deze kunnen tot in de stratosfeer doordringen. De omstandigheden in de troposfeer bepalen hoelang de aerosolen hierin aanwezig blijven. Sterke wind verplaatst vooral de lichtere deeltjes over grote afstanden. Een hele instabiele troposfeer doet de deeltjes tot grote hoogte opstijgen waardoor hun verblijf in de troposfeer langer is.

Aerosolen die door de mens in de troposfeer terechtkomen, hebben daar een verblijf van een paar uur tot hooguit een paar dagen. Deeltjes groter dan $10\ \mu\text{m}$ verdwijnen snel uit de atmosfeer vanwege hun grotere gewicht. De regen zorgt ervoor dat de aerosolen uiteindelijk weer naar het aardoppervlak terugkeren. Het meest effectief worden deeltjes groter dan $7\ \mu\text{m}$ door de regen verwijderd.

Dat lichte stofdeeltjes lang in de troposfeer kunnen blijven blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat Saharastof soms tot in Nederland te vinden is. Bij een zuidelijke windrichting kan dit fijne stof Nederland bereiken. Auto's en ramen zitten dan onder een donkergeel of roodgekleurd laagje woestijnstof. Bij een meer oostelijke windrichting kan het Saharastof, dat tot hoogten van 5 km weet door te dringen, de Atlantische oceaan oversteken en Noord-Amerika bereiken.

Bij een vulkaanuitbarsting worden deeltjes van verschillende afmetingen verspreid. De zwaardere deeltjes blijven in de troposfeer achter maar een deel kan doordringen tot de stratosfeer. Als gevolg van de stabiele opbouw van de stratosfeer en de geringe verticale bewegingen hier, kunnen aerosolen die verspreid worden door vulkaanuitbarstingen jarenlang in de stratosfeer blijven hangen.

Uit historische verslagen van vulkaanuitbarstingen blijkt hoezeer de verkoelende werking van aerosolen merkbaar is in grote delen van de wereld. Na de uitbarsting van de Tambora, een vulkaan in Indonesië, in 1915 beleefden de bewoners van de aarde een jaar 'zonder zomer'. In 1916 mislukten de oogsten in Noord-Amerika. In de zomer van dat jaar werd in grote delen van Noord-Amerika en Europa sneeuwval vastgesteld. Dit werd toegeschreven aan de uitbarsting van de Tambora. In 1883 barstte een andere grote Indonesische vulkaan uit, de Krakatau. Na deze uitbarsting werden op veel plaatsen in de jaren erna lagere temperaturen gemeten. Veel recenter is de uitbarsting van de Pinatubo op de Filippijnen, in 1991. In de twee jaren die volgden op deze uitbarsting werd een wereldwijde daling van de temperatuur vastgesteld van 1,25 °C.

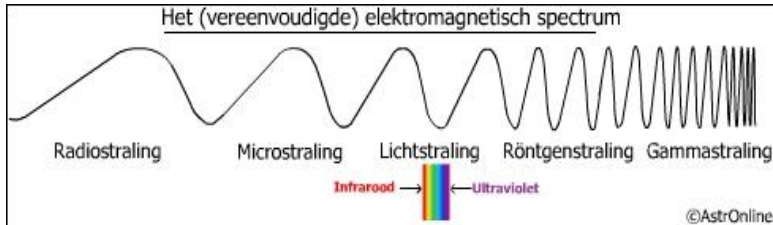
15 Vragen en opdrachten

15.1 In 2010 barstte de vulkaan Eyjafllajökull uit op IJsland.

Beschrijf wat er bekend is over het effect van deze uitbarsting op het klimaat. Kijk bijvoorbeeld op ► [URL4](#)

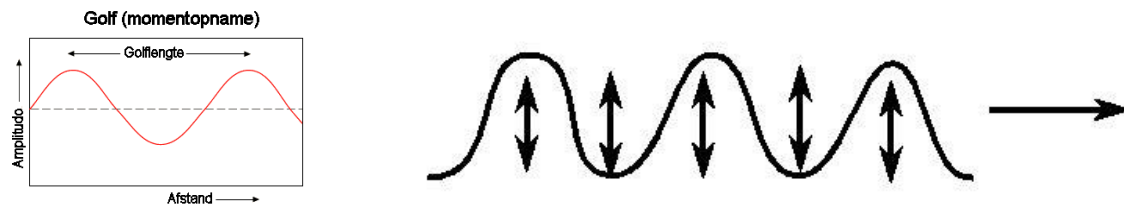
3.7 Elektromagnetische straling

In de voorgaande paragrafen is al besproken dat aerosolen zichtbaar zonlicht, maar bijv. ook infrarode straling kunnen weerkaatsen of absorberen. Om de hoeveelheid aerosol en ozon te meten gebruiken we elektromagnetische straling van verschillende golflengtes.

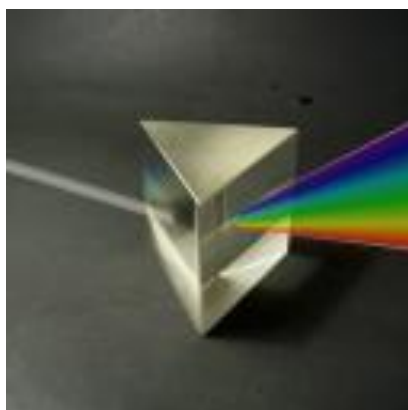


Figuur 11: het elektromagnetisch spectrum. Vergelijk deze figuur met Binas tabel 19A en 19B.

Zichtbaar licht is een vorm van elektromagnetische straling. Dit is echter maar een klein gedeelte van het totale elektromagnetisch spectrum. Ook radiogolven, microgolven, infrarode- en ultraviolette straling, Röntgenstraling en gammastraling horen bij dit spectrum (Binas tabel 19A en 19B). Alle elektromagnetische straling plant zich als een transversale golf voort. Verschillende soorten elektromagnetische straling hebben verschillende *golflengtes*. De golflengte wordt aangeduid met het symbool λ , de Griekse letter labda.



Figuur 12: Een transversale golf is een golf waarbij de deeltjes trillen in een richting loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf.



Figuur 13: een prisma

Met ons oog kunnen we de verschillende golflengten in zichtbaar licht onderscheiden. We noemen dit de kleur van het licht. Verschillende kleuren licht zijn dus eigenlijk elektromagnetische golven met verschillende golflengte. Zo onderscheiden we onder andere rood licht (met $\lambda = 675 \text{ nm}$) van geel licht ($\lambda = 565 \text{ nm}$) en van blauw licht ($\lambda = 480 \text{ nm}$). Met een prisma kunnen we wit licht splitsen in de verschillende kleuren.

Licht kun je echter niet uitsluitend als een golfverschijnsel beschouwen. Al vanaf de 17e eeuw zijn er eigenlijk twee lichttheorieën: de golftheorie van de Nederlander Huygens en de deeltjestheorie van de grote natuurkundige Newton. Sommige eigenschappen van licht zijn uitsluitend door het golfkarakter te verklaren, andere juist uitsluitend door het deeltjeskarakter. We vatten licht (en ook alle andere soorten elektromagnetische straling)

tegenwoordig op als 'iets' met soms een golfkarakter en soms met een deeltjeskarakter. Het lichtdeeltje noemen we een *foton*.

De energie van elektromagnetische straling

Een lichtgolf/lichtdeeltje heeft een golflengte λ en een frequentie f . Zo'n lichtgolf/lichtdeeltje plant zich voort met de lichtsnelheid (c), en bevat een bepaalde hoeveelheid energie E .

Deze energie E kunnen we gemakkelijk uitrekenen. In het onderstaande voorbeeld doen we dat eerst voor rood en daarna voor blauw licht.

We gebruiken formule 1 of 2:

$$E = h \times f \quad (1)$$

$$E = h \times \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

waarbij:

E = de energie van de lichtgolf/ het lichtdeeltje [J]

h = de constante van Planck [Js]

f = de frequentie [Hz]

c = de lichtsnelheid [m/s]

λ = de golflengte [m]

Volgens Binas tabel 7 geldt: $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js.

In vacuüm is de lichtsnelheid $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s

Voor rood licht geldt dan:

$$E = (6,63 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^8 / 675 \cdot 10^{-9}) = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ J ,}$$

terwijl voor blauw licht geldt:

$$E = (6,63 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^8 / 480 \cdot 10^{-9}) = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ J .}$$

Dit voorbeeld laat zien dat de blauwe lichtgolven/lichtdeeltjes de meeste energie bevatten. Oftewel: blauw licht (korte golflengte) is energetischer dan rood licht (lange golflengte). De energie van de straling is omgekeerd evenredig met de golflengte. Bekijk nogmaals Binas tabel 19A.

Hoe korter de golflengte, des te meer energie bevat de straling.

Hierdoor is kortgolvlige ultraviolette (UV) straling schadelijk voor je huid, terwijl langgolvlige infrarode (IR) straling dat niet is.



Figuur 14: het water in het aquarium staat model voor de atmosfeer

16 Vragen en opdrachten

16.1

a Gebruik de formules

$$X = v \times t \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (4)$$

Leid hiermee de volgende formule af:

$$c = f \times \lambda \quad (5)$$

x = de afgelegde afstand [m]

v = de snelheid [m/s]

t = de tijd [s]

T = voor de periode [s]

f = de frequentie [Hz]

c = de lichtsnelheid [m/s]

λ = de golflengte [m].

b Bereken vervolgens de frequenties van rood, geel en blauw licht, en vergelijk je antwoorden met Binas tabel 19A.

16.2 Bereken zelf de energie van een gele lichtgolf/een geel lichtdeeltje.

16.3 Hoe ver dringen rood licht, ultraviolette straling en Röntgenstraling in je lichaam door?

Verstrooiing van licht in de atmosfeer: Rayleigh verstrooiing

Als je vraagt welke kleur de lucht normaal gesproken heeft zal iedereen zeggen: “blauw natuurlijk!”. Maar waarom is de lucht eigenlijk blauw? En hoe komt het dat een zonsopgang vaak een rode lucht te zien geeft? En welke invloed hebben aerosolen op de kleur van licht? Deze vragen zullen we hieronder beantwoorden.

17 Proef: Rayleigh verstrooiing

Benodigheden

een aquarium

een goede zaklamp

een klein beetje (ongeveer ¼ theelepel) droge koffiemoes.

Werkwijze

a Neem een aquarium en vul dit met water.

b Neem een zaklamp die een heldere, niet te brede bundel, wit licht uitstraalt en houd de zaklamp aan de linkerkant van het aquarium op ongeveer 10 cm afstand.

c Wat neem je waar als je van boven in het aquarium kijkt, en wat als je van rechts door het aquarium heen kijkt? Je kunt de recht doorgaande bundel ook op een wit vlak projecteren.



Figuur 15: de kofficreamers staat model voor aerosol

- d Los in het water de kofficreamers op.
- e Wat neem je nu waar als je van boven in, en wat als je van rechts door het aquarium heen kijkt?
- f Doe steeds een beetje meer poeder in het water, en schrijf je waarnemingen steeds op.

Conclusie

Het blauwe licht, met de korte golflengte, wordt meer verstrooid door het water en het melkpoeder dan het rode licht met de lange golflengte. Het licht uit de zaklampbundel dat niet wordt verstrooid gaat rechtdoor en lijkt oranje.

In onze atmosfeer gebeurt met zonlicht hetzelfde, maar dan zorgen de luchtmoleculen en andere deeltjes in de atmosfeer voor de verstrooiing, zoals de watermoleculen en het melkpoeder in bovenstaande proef. Vooral het blauw wordt veel verstrooid: 'de lucht ziet er blauw uit'. Maar met name 's avonds, als het zonlicht een veel langere weg door de aardse atmosfeer aflegt lijkt de zon oranje/rood. Rood wordt het minste verstrooid en zit dus nog volop in de bundel.

Deze verstrooiing door moleculen heet *Rayleigh verstrooiing*. Uit proef 13 en uit het feit dat de lucht overdag blauw is, kun je concluderen dat Rayleigh verstrooiing veel efficiënter is bij licht van korte golflengte dan bij licht met langere golflengte.

18 Vragen en opdrachten

- 18.1 De zon zendt wit licht uit. Toch zien we de zon overdag als een gele bol aan de hemel. Kun je dat verklaren?
- 18.2 Verklaar waarom een vuile lucht, vooral tegen zonsondergang, rood gekleurd is.

3.8 Een logaritmische schaalverdeling

Volgens Binas tabel 19B hebben radiogolven golflengtes van wel $1 \cdot 10^3$ m. De straling in een magnetron heeft een golflengte van ongeveer $1 \cdot 10^{-1}$ m, terwijl zichtbaar licht een golflengte van $5 \cdot 10^{-7}$ m heeft. Röntgenstraling heeft een golflengte van maar $1 \cdot 10^{-10}$ m.

Als je deze waarden van de golflengte in één grafiek wilt uitzetten heb je een probleem: wil je in je grafiek bijv. duidelijk het verschil aangeven tussen $5 \cdot 10^{-7}$ en $8 \cdot 10^{-7}$ m, dan heb je wel een heel lang stuk papier nodig om ook nog $1 \cdot 10^3$ m te kunnen tekenen. En als je het verschil tussen $2 \cdot 10^2$ en $3 \cdot 10^2$ m goed wilt aangeven, dan kun je het onderscheid tussen al die kleine golflengtes niet meer zien.

De oplossing is het gebruiken van een *logaritmische schaalverdeling*.

19 Activiteit: een logaritmische schaalverdeling maken

Werkwijze

- a Teken een X-as van 13 cm (Let op: géén assenstelsel tekenen, alléén een X-as).

- b Zet de getallen 0, 1, ...6 op grote, maar gelijke, afstanden uit langs deze as.
 - c Schrijf links onder de 0, 1, ...6 nu '10', zó dat 10 het grondgetal is en 0, 1, ...6 de exponenten zijn.
 - d Schrijf nu de waarden erbij, dus bij $10^0 = 1$; bij $10^1 = 10$ enz.
- Je hebt nu een logaritmische schaalverdeling gemaakt. Langs een Y-as kan dit uiteraard ook.
Bij grafieken in Binas, in deze module, en op internet zul je dit type schaalverdeling regelmatig tegenkomen.

20 Vragen en opdrachten

Gebruik Binas tabel 6B.

- 20.1 Maak een logaritmische schaalverdeling met de massa (in kg) langs de X-as. Laat de schaalverdeling van 10^{-7} kg tot 10^6 kg doorlopen.
- 20.2 Geef langs je logaritmische as de massa van de volgende dieren aan:
- a fruitvliegje
 - b kolibrie
 - c merel
 - d fazant
 - e mens
 - g olifant
 - h blauwe vinvis

3.9 Aerosolen meten met satellieten en met de GLOBE zonfotometer

In de vorige paragrafen heb je gelezen over de grote invloed van aerosolen op het klimaat en op de gezondheid. En je weet nu ook dat de wetenschap de rol van aerosolen eigenlijk nog niet zo goed begrijpt. We willen er meer over te weten komen. En meer weten betekent eerst meer meten.

De maat waarin de hoeveelheid aerosolen die zich in de atmosfeer bevindt wordt uitgedrukt is de aerosol optische dikte (*AOD*). Als de atmosfeer aerosol optisch dik is, zitten er veel aerosolen in. Dan wordt er dus veel licht geabsorbeerd en verstrooid door de aerosolen. Door te meten hoeveel zonlicht door de aerosolen wordt verstrooid en geabsorbeerd, kunnen we de AOD bepalen.

Bovenstaande alinea klinkt eenvoudiger dan het is. Want hoe meet je dat verstrooide zonlicht? En dat geabsorbeerde zonlicht? Vlak bij school meten lukt misschien nog wel, maar hoe meet je boven de oceaan, of boven een hoog gebergte?

Gelukkig zijn er sinds ongeveer 50 jaar satellieten, die vanuit de ruimte allerlei gegevens over het aardoppervlak en de aardse atmosfeer kunnen verzamelen.

Op 4 oktober 1957 werd de Russische Spoetnik gelanceerd, de allereerste satelliet. Hij werkte enkele weken en bleef enkele

maanden in de ruimte. Daarna 'viel' hij terug in de atmosfeer en verbrandde.

Een groot, maar vaak vergeten, probleem met satellieten is dat instrumenten aan boord die niet meer goed werken, of zelfs kapot gaan, niet vervangen kunnen worden. Je moet eigenlijk voortdurend vanaf de aarde blijven controleren of alle instrumenten nog wel goed werken.

In feite is een satelliet na de lancering op zichzelf aangewezen. Niemand kan meer een knopje aan- of uitzetten, of een metertje een beetje verdraaien. Hoe de satelliet meet kan dus niet meer worden veranderd. Wat een satelliet meet kan in zekere zin nog wel worden veranderd/aangepast. Als je heel precies bent, is het namelijk onjuist om te zeggen dat een satelliet meet welke stoffen er in de atmosfeer zitten. De satelliet meet namelijk alleen licht. Pas met een berekening op basis van de metingen kun je de concentratie van de stoffen in de atmosfeer bepalen. Die berekeningen zijn meestal niet vanaf het begin optimaal, ze kunnen vaak nog verbeterd worden en dit kan jarenlang doorgaan. Daarom vergelijkt men deze berekeningen aan satellietmetingen met berekeningen aan metingen vanaf de grond. Dit noemen we satellietvalidatie.



Ook aerosolen worden op deze manier door satellieten indirect gemeten, met name door de satelliet-instrumenten MODIS, OMI en GOME-2. In 2016 zal een nieuwe satelliet-instrument TROPOMI worden gelanceerd, waarvoor de optica door Nederlandse ingenieurs is ontwikkeld.

Het KNMI verzamelt gegevens van de satellieten en vergelijkt ze met meetgegevens vanaf de grond. Veel middelbare scholen in Nederland doen inmiddels aan de KNMI-meetcampagne mee, en verzenden hun meetgegevens naar het KNMI. Ze doen dit binnen het internationale GLOBE programma een netwerk van duizenden scholen in meer dan 100 landen die samen natuur en milieu onderzoeken. Scholen meten o.a. met behulp van een GLOBE Zonfotometer de aerosolen in de atmosfeer. Als je dit interessant vindt, kies dan verdiepingsdeel 4.7.

21 Activiteit: OMI

Vooraf

Ga naar ► URL5.

Lees het artikel over het satelliet-instrument OMI globaal door en beantwoord daarbij onderstaande vragen:

- Wat meet OMI precies?
- Waarom zou dat zonder satelliet niet (zo goed) gemeten kunnen worden?
- Uit welke vakgebieden is kennis gebruikt om OMI te kunnen maken?
- De meetresultaten van OMI worden vrij op internet aangeboden en door onderzoekers uit verschillende vakgebieden wereldwijd

gebruik. Noem twee voorbeelden van onderzoek uit verschillende vakgebieden waarbij volgens jou gebruik gemaakt zou kunnen worden van de gegevens van OMI.

Werkwijze

De klas wordt verdeeld in groepen van 4 à 5 leerlingen.

- e Vergelijk jullie antwoorden op vraag c en maak een gezamenlijke lijst van vakgebieden. Vul evt. aan met de bevindingen van de andere groepen uit de klas.
- f Verdeel de vakgebieden onder de groepsleden. Elk groepslid zoekt in het artikel op welke kennis uit het betreffende vakgebied er nodig was voor welk aspect van OMI.
- g Verzamel jullie bevindingen in een tabel.
- h Bespreek samen uit welke vakgebieden je kennis nodig denkt te hebben om op basis van de gegevens van OMI uitspraken te kunnen doen over veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer en de effecten daarvan op klimaat, mens en dier.

Product

Stel dat jullie de opdracht krijgen om een groep van 5 mensen samen te brengen die samen een nieuw (nog geavanceerder) satelliet-instrument gaan maken en met behulp van de meetresultaten verder onderzoek gaan doen naar de hoeveelheid aerosolen in de lucht en het effect daarvan op klimaat, mens en dier.

Schrijf samen een tekst op voor een advertentie in de krant waarin je deze mensen vraagt bij jullie te solliciteren. Geef in je advertentie aan welke mensen je zoekt:

- uit welke vakgebieden moeten ze komen / op welk vakgebied moeten ze expert zijn?
- welke eigenschappen moeten ze verder nog bezitten en waarom zijn die belangrijk?

4 Verdiepingsdelen

Hier beginnen de zeven verdiepingsdelen.

1. Luchtvervuiling en gezondheid

Dit verdiepingsdeel gaat over luchtvervuiling en schade aan leven op aarde. Onder andere de effecten van kortdurende en langdurige blootstelling worden besproken. Ook ga je zelf smog maken.

2. De atmosfeer van de aarde

In dit verdiepingsdeel leer je over de stoffen in de atmosfeer en de verschillende lagen in de atmosfeer.

3. Ozon

Wat is ozon en welke functie heeft het? Dat kun je leren in dit verdiepingsdeel.

4. Het huidige klimaat

Dit verdiepingsdeel gaat over de factoren die het huidige klimaat beïnvloeden. Wind- en zeestromen komen aan bod. Ook ga je een proef doen over albedo.

5. Aerosolen en wolkenvorming

Voordat we de invloed van aerosolen op de wolkenvorming gaan bekijken, behandelen we in deze verdiepingsparagraaf eerst de rol van waterdamp in de atmosfeer en gaan we na hoe, wanneer en onder welke voorwaarden er uit die waterdamp wolken ontstaan.

6. Satellieten

In deze verdiepingsparagraaf bestudeer je hoe het komt dat satellieten in een cirkelvormige baan om de aarde blijven draaien. Je gaat twee proeven doen en uitzoeken hoe satellieten metingen doen aan bijvoorbeeld aerosolen. Ook ga je leren hoe je kunt weten wanneer een satelliet over je hoofd heen komt.

7. GLOBE

Als jouw school lid is of wordt van het internationale NASA GLOBE programma, dan kun je zelf metingen doen aan aerosolen en de gegevens delen met andere GLOBE scholen. Er zijn duizenden scholen in meer dan 100 landen lid van GLOBE. Je kunt je gegevens dan ook vergelijken met NASA satelliet gegevens. Ook als je school niet meedoet aan het GLOBE programma kun je dit verdiepingsdeel doen, je werkt dan met meetgegevens van een andere school.

4.1 Luchtvervuiling en gezondheid

Leerdoelen

Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- zelf m.b.v. enkele proefjes vuile lucht zichtbaar maken
- zelf aerosolen verzamelen en m.b.v. een microscoop onderzoeken
- in eigen woorden beschrijven hoe aerosolen schadelijke invloed hebben in het menselijk lichaam
- beschrijven wat men onder SMOG verstaat en welke stoffen de meest schadelijke bestanddelen zijn

22 Proef: Aerosolen vangen en bekijken

Benodigheden

witte kaartjes

vaseline

wattenstaafjes of roerstaafjes

tape of plakband

vergrootglas of microscoop

Werkwijze

- a Codeer de kaarten (A,B,C..).
- b Smeer vaseline op de kaarten met behulp van een wattenstaafje of roerstaafje en bevestig de kaarten met tape op verschillende plaatsen waarvan je denkt dat ze vies zijn of juist erg schoon (zowel binnen als buiten). Zorg dat ze niet bij een deur of raam worden opgehangen, dan kan er 'verontreiniging' komen vanuit een andere ruimte.
- c Noteer in de tabel van bijlage 3 de locatie van elke kaart.
- d Voorspel welke kaart straks het vuilste is door de kaarten een nummer te geven (waarbij 1 het vuilste is) en dit in te vullen in de tabel.
- e Haal de kaarten na een aantal dagen weg. Als je de kaarten niet meteen gaat onderzoeken, pak ze dan stofvrij in, maar zorg er wel voor dat de vaselinelaag intact blijft.
- f Noteer het weer (alleen voor kaarten die buiten hebben gehangen) en andere bijzonderheden van de afgelopen dagen in de tabel, bijv. dat er wel of niet is schoongemaakt, dat er geschuurd of gezaagd is in die ruimte, enz.
- g Onderzoek nu de kaarten met een loep of met een microscoop. Vergelijk de verschillende locaties met elkaar.
- h Kijk of je eerder gemaakte indeling klopt. Als je indeling niet klopt, maak dan een nieuwe indeling in je tabel en geef aan waarom je verwachting niet uit is gekomen.

Onderzoeken

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) schat dat in Nederland zo'n 5000 mensen vervroegd overlijden door het inademen van lucht die vervuild is door het verkeer.

Uit Utrechts onderzoek van het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) blijkt dat mensen die dicht bij een drukke weg wonen een twee keer zo grote kans hebben om te overlijden aan hart- of longaandoeningen.

Verschillende onderzoeken tonen aan dat kinderen die in steden wonen, vooral in de buurt van een drukke weg, meer luchtwegaandoeningen zoals astma hebben dan kinderen die in een schone omgeving wonen.

De World Health Organization (WHO) schrijft in een rapport dat luchtvervuiling in Europese steden kan leiden tot een daling van de levensverwachting met een jaar. Er is ook bewijs dat de kans op kindersterfte toeneemt in zeer vervuilde regio's. Sommige van deze effecten treden op bij concentraties van luchtvervuiling die zo laag zijn dat ze vroeger nog veilig werden geacht.

Hoe brengt luchtvervuiling schade toe aan het leven op aarde?

Zuivere lucht bestaat uit stikstof, zuurstof, edelgassen en koolstofdioxide. De samenstelling van de buitenlucht wordt echter door tal van processen beïnvloed, zodat nergens op aarde de lucht daadwerkelijk deze samenstelling zal hebben. Natuurlijke processen zoals vulkaanuitbarstingen, de bloei van planten e.d. beïnvloeden de samenstelling van de lucht. Ook wordt een groot aantal stoffen in de lucht gebracht door menselijke activiteiten zoals industrie, veehouderij en tal van processen waarbij fossiele brandstoffen worden gebruikt.

Schade door luchtverontreiniging kan betrekking hebben op planten, dieren, gebouwen en op de gezondheid van de mens.

Bij het bepalen van de omvang van de gezondheidsrisico's moeten we er rekening mee houden dat luchtverontreiniging als bijzonder kenmerk heeft dat je het niet kunt ontwijken. Een gemiddeld persoon neemt per jaar ongeveer 10 miljoen ademteugen. Giftige deeltjes in de lucht kunnen zo de longen en andere organen bereiken waar ze schadelijke effecten kunnen veroorzaken.

Het lichaam heeft een aantal mechanismen om deeltjes uit het lichaam te verwijderen. Grotere deeltjes zullen in het algemeen in de hogere luchtwegen (neus, keel, luchtpijp en bronchiën) worden opgevangen in het slijm van de binnenbekleding. Oplosbare deeltjes lossen op in het slijm, waarna ze in het bloed worden opgenomen en dus schadelijk kunnen zijn voor de organen. Niet oplosbare deeltjes worden met het aanwezige slijm door het trilhaarepitheel omhooggebracht naar de keelholte. Hier kunnen ze worden ingeslikt,

waardoor bepaalde verontreinigingen in het spijsverteringskanaal terecht komen, maar door hoesten, niezen of je neus snuiten kunnen ze het lichaam verlaten. (Zie biologieboek)

Kleine deeltjes kunnen echter verder doordringen dan luchtpijp en bronchiën; ze kunnen tot in de longblaasjes komen en daar longschade veroorzaken. Door macrofagen (bepaalde witte bloedcellen) in de longblaasjes kan een deel ervan worden opgenomen en afgevoerd naar de bloedvaten of lymfklieren. Lymfklieren zijn organen die tot het afweersysteem behoren.

Als deeltjes niet goed uit het ademhalingsstelsel worden verwijderd kan dit leiden tot ophoping van deeltjes in de longen. Dit kan zorgen voor verslechtering van de ademhaling, aantasting van de luchtwegen of infecties door micro-organismen zoals bacteriën.

Acute effecten bij kortdurende blootstelling

De concentratie van een luchtverontreinigende stof kan gedurende een korte tijd verhoogd zijn (piekconcentratie). Dit kan bijvoorbeeld voorkomen tijdens een *smogperiode*, waarbij de ozonconcentratie flink verhoogd is. Direct of korte tijd na een periode met verhoogde concentratie kunnen in de bevolking acute gezondheidseffecten optreden, zoals hoesten en benauwdheid, verergering van luchtwegklachten en hart- en vaatziekten, meer astma-aanvallen, ziekenhuisopnames en een hoger medicijngebruik. Ook de longfunctie kan hierdoor afnemen. Omdat het ademen meer moeite kost, kunnen klachten bij mensen met hart- en vaatziekten verergeren. De klachten verdwijnen meestal weer zodra de concentratie van de stoffen in de lucht weer daalt. Acute effecten komen vooral voor bij mensen in risico-groepen.

Chronische effecten bij langdurige blootstelling

Chronische effecten treden op na jarenlange blootstelling aan relatief lage concentraties luchtverontreiniging. Doordat er geen herstelperiode is (de blootstelling is namelijk constant), zijn de effecten vaak blijvend. Luchtwegklachten, verminderde longfunctie, verergering van luchtwegklachten en vroegtijdige sterfte aan luchtwegklachten en hart- en vaatziekten zijn chronische effecten.

Welke verontreinigingen in de lucht brengen schade toe aan het leven op aarde?

23 Proef: zelf SMOG (SMoke and fOG) maken

Benodigheden

2 grote glazen potten (ongeveer 1,5 L)

2 waxinelichtjes met een houder die op de glazen pot past

2 rookkaarsjes (wierookkegels)

lucifers.



Figuur 16: SMOG maken

Werkwijze

- a Spoel de twee grote glazen potten om en droog ze goed af.
- b Steek twee rookkaarsen aan en leg deze voorzichtig op de bodem van de beide glazen (Pas op: heet), met bijv. een pincet of een stukje aluminiumfolie.
- c Hang de waxinelichtjes in de houders en steek één van de waxinelichtjes voorzichtig aan. Hang de houders met de waxinelichtjes in de glazen potten.
- d Na korte tijd (ongeveer 2 minuten) heeft het theelichtje de lucht in het bovenste deel van het glas verwarmd. Vergelijk nu de situatie in beide potten.

Fijn stof

Eerder in deze module las je al dat we aerosolen kleiner dan 10 micrometer fijn stof noemen. Deeltjes met een omvang van 2,5 tot 10 micrometer krijgen in de literatuur de stofaanduiding PM10. PM staat voor “Particulate Matter”, uit deeltjes bestaande stof. De deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer heten PM2,5 en de deeltjes met een omvang kleiner dan 0,1 micrometer worden EC, elementair koolstof, genoemd. Niet alleen de grootte van de fijn stof-deeltjes kan verschillen, maar ook de chemische samenstelling. Sommige stofdeeltjes zijn schadelijker voor de gezondheid dan andere. Zo lijkt fijn stof afkomstig van het verkeer, zoals opwaaiend wegennstof, slijtagedeeltjes uit motoren en remmen, en dieselroet schadelijker dan fijne stofdeeltjes uit de bodem. Er is zelfs voor fijn stof géén veilige ondergrens, d.w.z. geen concentratie waarbij geen effecten worden waargenomen.

Deeltjes kleiner dan 0,1 micrometer veroorzaken waarschijnlijk ook bloedklontering. Dit laatste kan een verklaring zijn voor het grotere aantal hartziekten bij mensen die langs drukke wegen wonen.

Ozon

Het verkeer en de industrie stoten koolwaterstoffen, stikstofoxiden en koolstofoxiden uit. Onder invloed van zonlicht gaan genoemde stoffen chemische reacties aan, waardoor onder andere ozon (O_3) ontstaat. In verdiepingsparagraaf 4.3 gaan we hier verder op in.

Bij mensen en dieren tast ozon het longweefsel aan. Bij planten beschadigt ozon de bladeren en remt het de groei. Ozon is de meest reactieve en giftige component van zomersmog. Smog is vettige mist die onder andere ozon, zwaveldioxide (SO_2) en roet bevat. De meest typische klachten van acute blootstelling aan ozon zijn irritatie van de luchtwegen en de ogen. Ook kan men last krijgen van duizeligheid, misselijkheid of hoofdpijn. De klachten nemen toe als de hoeveelheid ozon en de duur van de blootstelling toenemen.

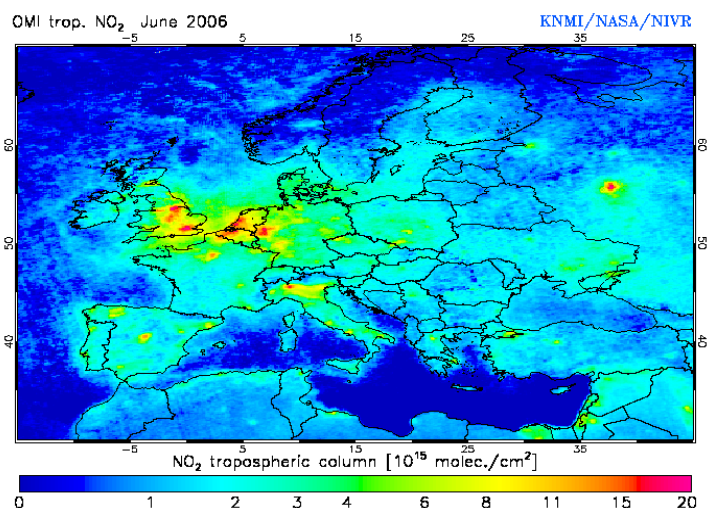
Naar schatting is bij meer dan 10% van de kinderen in de leeftijd van 7 tot 12 jaar (ofwel 230.000 kinderen) de longfunctie op tenminste

één dag in de zomer tijdelijk verminderd door smog (RIVM, 1997). Daarnaast kan smog het aantal sterfgevallen verhogen. Op dit moment is nog onduidelijk of ozon de longen en de slijmvliezen blijvend kan beschadigen.

Stikstofdioxide

Het grootste deel van de stikstofoxiden (NO_x) in de lucht is afkomstig van het verkeer. Stikstofdioxide (NO_2) dringt door tot in de kleinste vertakkingen van de luchtwegen. Het kan bij hoge concentraties irritatie veroorzaken aan ogen, neus en keel. Bij blootstelling aan lage concentraties stikstofdioxide wordt een lagere longfunctie waargenomen. Ook een toename van astma-aanvallen en ziekenhuisopnamen en een verhoogde gevoeligheid voor infecties komen voor.

Het is minder waarschijnlijk dat het gevonden verband tussen NO_2 en gezondheidseffecten door NO_2 zelf wordt veroorzaakt. Aannemelijker is dat de NO_2 -concentratie model staat voor het mengsel van luchtverontreinigende stoffen. Het effect van langdurige lage concentraties is nog niet bekend. Uit dierproeven komt naar voren dat NO_2 de kans op allergieën vergroot en dat het longweefsel geïrriteerd raakt bij zeer hoge concentraties. Bij deze dierproeven zijn echter de concentraties vele malen groter dan in de lucht die je normaal inademt. Dit soort concentraties vind je alleen in slecht geventileerde tunnels tijdens de spits.



Figuur 17: bijna elke maand is de NO_2 -vervuiling het grootst boven Nederland. Satellietbeeld gemaakt door OMI, zie paragraaf 3.8.

Europese normen voor luchtvervuilende stoffen

De Europese Unie (EU) heeft harde luchtkwaliteitsnormen vastgesteld waaraan elk land dat lid is van de EU, moet voldoen. Er zijn twee soorten normen voor deze vervuilende stoffen. De ene norm gaat uit van het jaargemiddelde. De jaargemiddelde concentratie mag dan niet boven een bepaald niveau uitkomen. De andere norm gaat uit

van het daggemiddelde. De norm drukt dan het maximaal aantal dagen per jaar uit dat het daggemiddelde mag worden overschreden. De luchtkwaliteit voor fijn stof is in Nederland de afgelopen tien jaar verbeterd, maar toch komen ook in Nederland nog overschrijdingen van de Europese grenswaarden voor. Volgens het RIVM zijn de concentraties voor fijn stof het hoogst in de Randstad en het laagst in het noordoosten. Overschrijding van de EU-norm voor stikstofoxiden treedt met name op langs zeer drukke wegen, vooral in de Randstad.

24 Vragen en opdrachten: tabel WHO

In onderstaande figuur staat een tabel met daarin de drie vervuilers en hun schadelijke effecten op de gezondheid van de mens bij acute en bij chronische blootstelling:

Vervuiler	Effecten na acute blootstelling	Effecten na chronische blootstelling
Fijn stof	Ontstekingsreacties van de longen	Toename luchtwegklachten in de onderste luchtwegen
	Ademhalingsproblemen	Vermindering in longfunctie bij kinderen
	Nadelige effecten op het bloedvatstelsel	Toename van COPD (chronic obstructive pulmonary disease)
	Toename medicijngebruik	Vermindering longfunctie bij volwassenen
	Toename ziekenhuisopnames	Vermindering levensverwachting, waarschijnlijk veroorzaakt door hart / longproblemen en mogelijk door longkanker
	Toename (vroegtijdige) sterfte	
Ozon	Nadelige effecten op de longen	Vermindering ontwikkeling longfunctie
	Ontstekingsreacties van de longen	
	Nadelige effecten op de ademhaling	
	Toename medicijngebruik	
	Toename ziekenhuisopnames	
Toename (vroegtijdige) sterfte		
Stikstof-dioxide	Effecten op de longen speciaal bij astmatici	Vermindering longfunctie
	Toename allergische ontstekingsreacties in de luchtwegen	Toename ademhalingsproblemen
	Toename (vroegtijdige) sterfte	

Figuur 18: Tabel Vervuilers en hun schadelijke effecten volgens de WHO

24.1 Zoek met behulp van naslagwerken en/of via internet uit wat er aan de hand is bij de volgende ziekten en afwijkingen uit de tabel: Ontstekingsreacties van de longen/luchtwegen, COPD, astma.

24.2 Beantwoord voor elk van de ziekten of afwijkingen de volgende vragen:

- a Wat zijn de verschijnselen?
- b Hoe wordt de ziekte opgelopen of de afwijking veroorzaakt?
- c Op welke manier kan eventueel genezing optreden?

- 24.3 Zoek uit welke groepen mensen gevoeliger zijn dan anderen voor acute blootstelling aan vervuilende stoffen.
- 24.4 Een aantal keren staat in de tabel toename van medicijngebruik. Wat voor medicijnen zullen dit zijn?
- 24.5 Schrijf bij je antwoorden op waar je ze hebt gevonden. Doe dit nauwkeurig. Schrijf bijv. de site op waar je het antwoord hebt gevonden of het jaartal van het boek en ook de auteur, gebruik hiervoor ► werkinstructie onderzoeksverslag in de NLT Toolbox (hierin staat informatie over bronvermelding).

25 Vragen en opdrachten: De Zorgatlas

25.1

- a Zoek op internet de site: ► zie URL 6.
- b Zoek op de site het document “achtergronddocument bij de totale sterfte naar doodsoorzaak per GGD-regio 2009-2012”

25.2 Kijk naar de tabel “Rangorde van doodsoorzaken (hoofdgroepen) absoluut en in procenten”

- a Neem het aantal sterfgevallen per jaar over.
- b Neem de drie ziekten die bovenaan staan in de tabel over.
- c Noteer het aantal sterfgevallen bij deze drie zogenaamde hoofdgroepen van vraag 25.2 b.

25.3 De site wordt in opdracht van het ministerie van VWS gemaakt. Een groot aantal instellingen werkt eraan mee.

- a Welk ministerie is VWS?
- b Wat zal het doel zijn van deze site?
- c Welke instellingen werken aan deze site mee? Schrijf niet alleen de afkortingen op maar de volledige namen.

26 Vragen en opdrachten: RIVM-site gezondheid en milieu

26.1

- a Zoek op internet de site: ► zie URL 7.
- b Zoek op: ‘fijn stof’ en open het bestand ‘effecten’.

26.2

- a Zoek in dit document een tabel met gezondheidseffecten van acute blootstelling aan fijn stof.
- b Neem het aantal vroegtijdige sterfgevallen door luchtwegaandoeningen over.
- c Doe hetzelfde met het aantal vroegtijdige sterfgevallen door hart- en vaatziekten.

26.4 Bereken met de gegevens van de opdrachten 25 en 26.1 t/m 26.3 het percentage sterfgevallen aan luchtwegaandoeningen door fijn stof per jaar. Schrijf je berekening erbij.

26.5 Doe hetzelfde voor het percentage sterfgevallen aan hart- en vaatziekten veroorzaakt door fijn stof per jaar. Schrijf je berekening erbij.

26.6 Waar kan de politiek deze percentages voor gebruiken?

26.7 Welke percentages kun je nog meer berekenen met je opgeschreven gegevens? Leg uit of dit zinvol is.

4.2 De atmosfeer van de aarde

Leerdoelen

Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- benoemen wat de belangrijkste stoffen zijn die in de aardse atmosfeer voorkomen en in welke hoeveelheden ze dat doen
- beschrijven uit welke lagen de atmosfeer is opgebouwd
- beschrijven hoe het temperatuurverloop in de verschillende lagen van de atmosfeer is en welke processen daarvan de oorzaak zijn
- de definitie van het begrip luchtdruk geven en uitleggen waardoor luchtdrukverschillen ontstaan

De atmosfeer

De atmosfeer (ook wel dampkring genoemd) is het gasvormige omhulsel rondom de aarde. De samenstelling van de atmosfeer wordt bepaald door de gassen die erin zitten. Daarnaast spelen de chemische en fysische eigenschappen van de dampkring een belangrijke rol. Onder de chemische eigenschappen worden de reacties verstaan die in de dampkring plaatsvinden, bijvoorbeeld reacties met waterdamp of reacties onder invloed van straling. De fysische eigenschappen zijn: het temperatuurverloop, het luchtdrukverloop en het gehalte aan waterdamp op verschillende hoogtes. Door de zwaartekracht van de aarde kunnen de gassen die zich in de dampkring bevinden niet naar het heelal ontsnappen.

Stoffen in de atmosfeer

Voor het grootste deel bestaat de dampkring van de aarde uit een mengsel van gassen. Er tussen komen kleinere hoeveelheden vloeibare bestanddelen (druppels) en vaste bestanddelen (ijskristallen en stofdeeltjes) voor.

De verhouding tussen zware en lichte gassen is aan het aardoppervlak anders dan hoger in de atmosfeer. Hoger in de atmosfeer is het aandeel van lichte gassen naar verhouding groter. Voor de meeste gassen geldt dat de concentratie wereldwijd min of meer gelijk is. Maar waterdamp, koolstofdioxide en ozon kunnen in sterk wisselende hoeveelheden voorkomen; dit kan van dag tot dag en van plaats tot plaats verschillen. In Binas tabel 34 worden in een grafiek met logaritmische schaalverdeling (zie paragraaf 3.9) de volumepercentages aangegeven waarin bepaalde gassen op verschillende hoogten in de atmosfeer voorkomen.

Het waterdampgehalte ($\text{H}_2\text{O}(\text{g})$) in de atmosfeer varieert tussen 0 en 5 volumeprocent. Dit komt omdat de maximale hoeveelheid waterdamp die lucht kan bevatten afhangt van de luchttemperatuur: warme lucht kan meer waterdamp bevatten dan koude lucht. In koude klimaten

(polaire en subpolaire gebieden) is de hoeveelheid waterdamp in de lucht verwaarloosbaar klein. Op gematigde breedten, bijv. in Nederland, bedraagt het percentage waterdamp in de winter gemiddeld 0,5% en in de zomer 1,5%. In de tropen is het waterdampgehalte van de atmosfeer 3-4%. De hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer is ook afhankelijk van de hoogte. Naar boven toe neemt de hoeveelheid waterdamp sterk af, boven de 10 km komt er nauwelijks meer waterdamp in de atmosfeer voor.

Het volumepercentage ozon (O_3) in de atmosfeer is erg klein, namelijk $5,0 \cdot 10^{-6} \%$. Desondanks is het wel heel erg belangrijk, want ozon absorbeert ultraviolette straling met golflengtes tussen de 200 en 320 nm en voorkomt zo dat deze straling het aardoppervlak bereikt. De straling met deze golflengte is erg schadelijk voor levende organismen. Straling met deze golflengte is mede verantwoordelijk voor de vorming en afbraak van ozon. Tussen 15 en 50 km hoogte wordt de grootste ozonconcentratie in de atmosfeer aangetroffen (2% volgens Binas). Op nog grotere hoogte is het aantal moleculen te klein om een grote ozonconcentratie te doen ontstaan. Op minder dan 15 km hoogte is de hoeveelheid ultraviolette straling te gering om ozon te vormen, omdat in de laag erboven veel ultraviolette straling geabsorbeerd is.

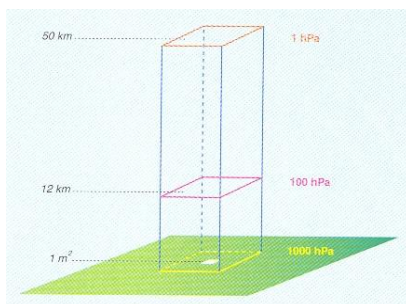
Behalve gassen bevat de atmosfeer ook vloeibare en vaste stoffen. De meest bekenden zijn de waterdruppels en ijskristallen die in de vorm van regen, hagel en sneeuwbuien naar beneden kunnen komen. De atmosfeer bevat ook aerosolen, het meest dicht bij het aardoppervlak. Met toenemende hoogte neemt de concentratie aerosolen af, maar tussen 15 en 30 km hoogte komt een tweede maximum in de concentratie van aerosolen voor, afkomstig van vulkaanuitbarstingen.

27 Vragen en opdrachten

27.1 Welke rol speelt ozon in de atmosfeer?

27.2 Welke aerosolen kunnen in de atmosfeer voorkomen?

Verschillende lagen in de atmosfeer



Figuur 19: Kracht die een luchtkolom op 1 m^2 van het aardoppervlak uitoefent.

Twee factoren hebben grote invloed op de processen die zich in de atmosfeer afspelen: de temperatuur en de *luchtdruk*.

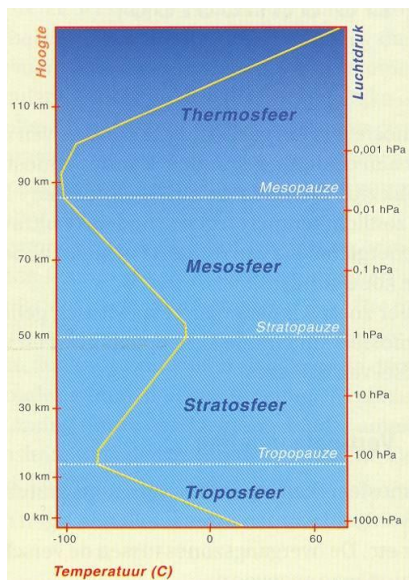
De luchtdruk (p) is de kracht die het gewicht van een luchtkolom in de atmosfeer op een eenheidsdoorsnede (1 m^2) van het aardoppervlak uitoefent. In figuur 19 is dit te zien. Luchtdruk heeft als eenheid Pascal: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2}$. Vaak wordt de luchtdruk nog uitgedrukt in mbar. $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$. Alle gassen in de atmosfeer dragen bij aan de luchtdruk. Met andere woorden: de luchtdruk is de som van alle drukken, die de gassen in de lucht elk afzonderlijk uitoefenen.

De luchtdruk is afhankelijk van de dichtheid en de samenstelling van de lucht. Aan het aardoppervlak bedraagt de massa van 1 m^3 lucht

1,25 kg. Op zeeniveau bedraagt de gemiddelde luchtdruk 1013 hPa of mbar. Op grotere hoogte wordt het gewicht van de resterende luchtkolom kleiner, zoals in figuur 21 is weergegeven. De luchtdruk neemt dus af met toenemende hoogte.

Ondanks dat lucht normaal gesproken van plaatsen met een hoge luchtdruk naar plaatsen met een lage luchtdruk stroomt, ontstaat er toch geen stroming van onder in de atmosfeer (hoge luchtdruk) naar boven (lage luchtdruk). Dit komt omdat er een evenwicht bestaat tussen de opwaarts gerichte kracht van hoge naar lage druk en de neerwaarts gerichte zwaartekracht. Dit evenwicht van krachten wordt hydrostatisch evenwicht genoemd.

De luchtdruk wordt gemeten met een barometer.



Figuur 20: de opbouw van de atmosfeer en het temperatuurverloop met de hoogte.

Op basis van het temperatuurverloop t.o.v. de hoogte kan de atmosfeer in verschillende lagen ingedeeld worden. In iedere laag is het temperatuurverloop t.o.v. de hoogte anders: de temperatuur kan toenemen, afnemen of constant blijven met toenemende hoogte. In figuur 20 is de verdeling van de atmosfeer weergegeven en zijn de namen van de verschillende lagen vermeld.

De *troposfeer* is de onderste laag van de atmosfeer; hij reikt tot een hoogte van gemiddeld 13 km boven het aardoppervlak. We spreken over 'gemiddeld' omdat de troposfeer boven de koude polen ongeveer 8 km dik is, terwijl hij boven de tropen, waar de lucht veel warmer is, ongeveer 16 km dik is. De troposfeer is erg belangrijk omdat het weer zich hierin afspeelt. In de troposfeer wordt de lucht van onderaf (via het aardoppervlak) verwarmd. Daarom neemt de temperatuur in de troposfeer met toenemende hoogte af (ongeveer $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

Bijna al het water dat in de atmosfeer aanwezig is bevindt zich in de troposfeer. Het water in de troposfeer komt in vaste toestand voor (sneeuw en ijs), in vloeibare toestand (wolkendruppels, regen en mist) en in gasvormige toestand (waterdamp).

Aan de bovenzijde wordt de troposfeer begrensd door de *tropopauze*. Dit is een laag waarin de temperatuur niet meer afneemt met de hoogte. De temperatuur bedraagt hier ongeveer $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Een luchtlag waarin de temperatuur met de hoogte niet of nauwelijks verandert heet een isotherme laag.

Boven de tropopauze, die circa 5 km dik is, zit de volgende luchtlag die de *stratosfeer* genoemd wordt. Hierin neemt de temperatuur geleidelijk toe tot $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deze temperatuurtoename is het gevolg van het vrijkomen van warmte bij de omzetting van zuurstof in ozon. In de stratosfeer wordt voortdurend ozon gevormd en afgebroken onder invloed van ultraviolette zonnestraling. Op een hoogte van 25 tot 35 km hoogte is de verhouding tussen de intensiteit van de zonnestraling en het aantal zuurstofmoleculen zodanig dat op deze hoogte de maximale ozonconcentratie zit.

De stratosfeer wordt aan de bovenzijde op ongeveer 50 km hoogte begrensd door de *stratopauze*. Er volgt een luchtlaag die *mesosfeer* genoemd wordt. Hier daalt de temperatuur opnieuw (tot $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Na de *mesopauze* op ongeveer 90 km hoogte volgt de *thermosfeer*. In de zeer ijle lucht van de thermosfeer waar de temperatuur weer met de hoogte toeneemt, bereikt de temperatuur op 200 kilometer hoogte waarden tussen de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. De thermosfeer strekt zich uit tot 650 kilometer hoogte, daarboven begint de *exosfeer*. De exosfeer gaat geleidelijk over in de interplanetaire ruimte. Voor het klimaat op aarde zijn vooral de troposfeer en de stratosfeer van belang.

Elke dag wordt door het KNMI en door andere meteorologische diensten in de wereld gemeten hoe de toestand van de atmosfeer is. Dit doet men door grondobservaties en satellietwaarnemingen; daarnaast worden twee keer per dag rond 12 en rond 24 uur vanaf het waarneemterrein van het KNMI in De Bilt weerballonnen opgelaten. Het doel van deze met helium gevulde ballonnen is de metingen bij het aardoppervlak aan te vullen met gegevens van de bovenlucht. De resultaten worden radiografisch naar De Bilt gestuurd, vandaar dat weerballonnen ook wel radiosondes worden genoemd. De sonde bereikt doorgaans een hoogte van 20 tot 30 kilometer. Tijdens de vlucht, die één tot twee uur duurt, worden metingen verricht van temperatuur, luchtvochtigheid en luchtdruk. Uit de positie van de sonde worden windrichting en -snelheid berekend.

28 Vragen en opdrachten

28.1

- a Zoek in Binas tabel 34 op welke gassen er in de troposfeer en in de stratosfeer voorkomen.
Maak een tabel met twee kolommen. Zet in de linker kolom de namen van de gassen die in de troposfeer voorkomen en in de rechterkolom het volumepercentage van deze gassen. Begin met het gas dat in de grootste hoeveelheid voorkomt.
- b Welke van deze gassen die in de troposfeer en in de stratosfeer voorkomen zijn verantwoordelijk voor het broeikaseffect?
- c Leg uit waarom de concentratie ozon (O_3) in de stratosfeer het grootst is.
- d Waarom neemt de hoeveelheid waterdamp met de hoogte af?
- e Leg uit waardoor het komt dat de luchtdruk met de hoogte afneemt.

28.2

Open het Excelbestand in bijlage 5 'gegevens ballonoplatings in De Bilt'. In dit bestand zijn drie datasets opgenomen uit weerballonoplatings. Het eerste tabblad bevat de data van een ballonoplatings in De Bilt op 28-01-2006 om 00.00 uur. Het tweede tabblad bevat de gegevens van een ballonoplatings in De Bilt op 21-09-2006 om 12.00 uur. Het derde tabblad bevat de gegevens van een ballonoplatings in Suriname op 01-08-2006 om 13.00 uur.

- a Hoe hoog is de luchtdruk aan het aardoppervlak in De Bilt op 21-09 om 12.00 uur?
- b Is hier sprake is van hoge of lage luchtdruk? Leg dit uit.
- c Maak met de gegevens voor De Bilt op 21-09 om 12.00 uur een grafiek in Excel waarin de temperatuur is uitgezet tegen de hoogte. Denk om de titels van de assen en de eenheden. Kijk nog eens naar ► werkinstructie grafieken maken in de NLT Toolbox.
- d Bepaal de hoogte van de tropopauze.
- e Hoe is het temperatuurverloop van beneden naar boven in de troposfeer, in de tropopauze en in de stratosfeer?
- f Maak met de gegevens voor Suriname op 01-08 om 13.00 uur een grafiek in Excel waarin de temperatuur is uitgezet tegen de hoogte. Denk om de titels van de assen en de eenheden.
- g Bepaal de hoogte van de tropopauze.
- h Verklaar het verschil tussen de hoogte van de tropopauze boven De Bilt op 21-09 om 12.00 uur en die boven Suriname op 01-08 om 13.00 uur.
- i Bereken de gemiddelde afname van de temperatuur van beneden naar boven in de troposfeer, ook wel verticale temperatuurgradiënt genoemd, voor Suriname op 01-08 om 13.00 uur, in °C/100m.
- j Maak met de gegevens voor De Bilt op 28-01 om 00.00 uur een grafiek in Excel waarin de temperatuur is uitgezet tegen de hoogte. Denk om de titels van de assen en de eenheden.
- k Bepaal de hoogte van de tropopauze.
- l In de grafiek is te zien dat de temperatuur in de stratosfeer nu niet toeneemt met de hoogte, maar juist wat afneemt. Leg uit waardoor dit veroorzaakt wordt.
Tip: denk aan het tijdstip van de oplating en de straling op dat moment.
- m Maak een nieuwe grafiek in Excel met de gegevens voor De Bilt op 28-01 om 00.00 uur waarin de temperatuur is uitgezet tegen de hoogte van 4 t/m 1584 m. Er wordt nu ingezoomd op de onderste 1584 meter van de atmosfeer.
- n Beschrijf het verloop van de temperatuur tussen het aardoppervlak en 800m hoogte.
- o Verklaar dit 'vreemde' verloop van de temperatuur met de hoogte.
- p Hoe wordt een dergelijke situatie genoemd, waarbij het temperatuurverloop omgekeerd is?
- q Maak met de gegevens voor De Bilt op 21-09 om 12.00 uur een grafiek in Excel waarin de luchtdruk is uitgezet tegen de hoogte. Denk om de titels van de assen en de eenheden.
- r Bereken de verandering van de luchtdruk met de hoogte op ongeveer 2000m.
- s Maak met de gegevens voor De Bilt op 28-01 om 00.00 uur een grafiek in Excel waarin de luchtdruk is uitgezet tegen de hoogte. Denk om de titels van de assen en de eenheden.
- t Bereken de verandering van de luchtdruk met de hoogte op ongeveer 2000m.

- u Vergelijk de uitkomsten van opgave r en t. Welke conclusie kan hieruit getrokken worden?

Extra informatiebronnen bij deze verdiepingsparagraaf

Literatuur:

- Smits, G. en Waas, B. ,1998, Biologie voor jou Havo B deel 2, Malmberg Den Bosch, 2e druk
- WHO (World Health Organization), 2004, Health aspects of air pollution June 2004; Results from the who project “systematic review of health aspects of air pollution in Europe”. E83080. Downloadbaar via <http://www.euro.who.int/air/publications/>
- TNO, 1998, module De fysieke omgeving van jeugdigen.

Internetsites:

- ▶ URL6, ▶ URL15, ▶ URL16, ▶ URL17, ▶ URL18

4.3 Ozon

Leerdoelen

Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- uitleggen dat (lage) ozon in de troposfeer erg schadelijk is voor onze gezondheid terwijl (hoge) ozon in de stratosfeer juist noodzakelijk is voor onze gezondheid
- uitleggen hoe ozon in de stratosfeer kan ontstaan en hoe het afgebroken wordt
- de rol beschrijven van een katalysator in de afbraak van ozon en daarmee uitleggen waarom de afbraak van de ozonlaag op korte termijn niet stopt, ondanks de maatregelen m.b.t. het gebruik van CFK's
- uit satellietbeelden de ozonconcentratie afleiden en de overeenkomst met meetreeksen vaststellen
- aan de hand van meetreeksen het verloop van de ozonconcentratie over het jaar voor verschillende breedtegraden verklaren
- uitleggen waarom de ozonafbraak niet op elke breedte hetzelfde is
- uitleggen waarom de afbraak van ozon juist in het voorjaar het grootst is

In paragraaf 3.3 heb je al kort iets over ozon gelezen. Ozon heeft zowel een 'slechte naam', omdat het een luchtvervuilend gas is, als een 'goede naam', omdat ozon het leven tegen schadelijke UV-straling van de zon beschermt. Hoe zit dat nu?

Ozon komt in twee verschillende lagen van de atmosfeer voor: in de troposfeer, dicht bij het aardoppervlak, en in de veel hoger gelegen stratosfeer (zie verdiepingsparagraaf 4.2). De ozon in de lage troposfeer is schadelijk voor onze gezondheid.

In deze verdiepingsparagraaf behandelen we eerst de chemie van ozon in de troposfeer en vervolgens de 'hoge' ozon in de stratosfeer. De gezondheidseffecten van de 'lage' ozon zijn in verdiepingsparagraaf 4.1 behandeld.

Lage ozon (troposfeer)

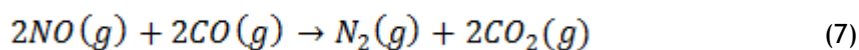
Het verkeer en de (chemische) industrie stoten allerlei gassen uit, zoals *koolwaterstoffen*, *koolstofmonoïoxide* (CO) en *stikstofoxiden* (NO_x). Al deze gassen komen in de lucht terecht.

In zowel dieselmotoren als benzinemotoren komen bij de verbranding stikstofoxiden vrij als er stikstof (N₂) aanwezig is. Wat er tijdens de verbranding onder hoge temperatuur met N₂ gebeurt, ziet er in reactievergelijking als volgt uit:

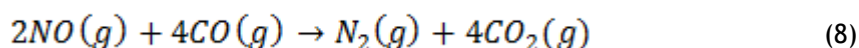


Deze reactie treedt bij normale temperaturen niet op vanwege de sterke binding tussen de zuurstofatomen en de stikstofatomen onderling.

Vooral de uitlaatgassen van slecht afgestelde automotoren bevatten koolstofmonoïxide en stikstofoxiden. Sinds 1993 zijn daarom alle nieuwe benzineauto's uitgerust met een katalysator die ervoor zorgt dat de stikstofoxiden en het koolstofmonoïxide (CO) in de uitlaatgassen worden omgezet in stikstof (N₂) en koolstofdioxide (CO₂):

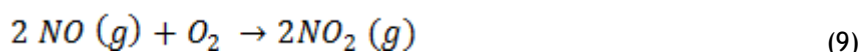


en:



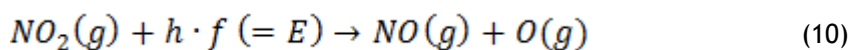
Helaas lukt het niet om alle NO_x in N₂ om te zetten en komt er alsnog een heleboel NO_x in de lucht terecht. Het gevolg daarvan is dat ozon (O₃) kan worden gevormd. Dit gebeurt als volgt:

Stikstofmonoïxide die laag in de troposfeer blijft (tot 12 km hoogte), wordt onmiddellijk geoxideerd (d.w.z. reageert met zuurstof) tot stikstofdioxide:



Onder invloed van zonlicht treden chemische reacties op van zuurstof met stikstofdioxide waardoor onder andere ozon ontstaat. Dit gebeurt in twee stappen:

- 1 Door de absorptie van elektromagnetische straling (zie paragraaf 3.7) valt een stikstofdioxidemolecuul uiteen in een stikstofmonoïxidemolecuul en een los zuurstofatoom:



- 2 Het zeer reactieve zuurstofatoom reageert met een zuurstofmolecuul tot een ozonmolecuul:



Hoge ozon (stratosfeer)

De troposfeer wordt sterk beïnvloed door de mens. Door industriële activiteiten en de verbranding van fossiele brandstoffen worden vele miljoenen tonnen gas en stofdeeltjes in de atmosfeer gebracht. Het verbazingwekkende is dat de atmosfeer tot nu toe dergelijke hoeveelheden kan absorberen zonder dat er al te veel permanente veranderingen te merken zijn.

Toch treden er wel degelijk veranderingen op in de hedendaagse atmosfeer als gevolg van dit menselijk handelen. Er is sprake van luchtvervuiling, wat vooral rond industriegebieden en steden met veel verkeer merkbaar is. Hieronder wordt nader ingegaan op de aantasting van de hoge ozonlaag door stikstofoxiden (NO_x) en

chloorfluorkoolwaterstoffen, kortweg *CFK's*. Een ander aspect van luchtvervuiling dat o.a. in verdiepingsdeel 4.5 aan de orde komt is de invloed van aerosolen op het klimaat.

Tekstbron 1: Ozongat

30 oktober 2006- Het ozongat boven het Zuidpoolgebied is dit jaar groter dan ooit werd gemeten. Dit volgt uit de meetreeks van de satellietinstrumenten GOME, SCIAMACHY en OMI.
 In de analyse van het KNMI was op 1 oktober het ozonverlies groter dan het record in het jaar 2000. Eerder berichtten we al dat het ozonverlies op 25 en 26 september even groot was als het record gemeten in het jaar 2000. Ook de Wereld Meteorologische Organisatie maakt hier nu melding van. Het ozonverlies is de maat voor de hoeveelheid ozon die is afgebroken in het ozongat, en wordt bepaald door zowel het oppervlak als de diepte van het ozongat.
 Het KNMI meet sinds 1995 de dikte van de ozonlaag met de satellietinstrumenten GOME, SCIAMACHY (sinds 2002) en OMI (sinds 2005). Het KNMI coördineert de kwaliteitscontrole van de metingen met het SCIAMACHY instrument. OMI is een Nederlands-Fins instrument, waarvan het KNMI de wetenschappelijke leiding heeft.

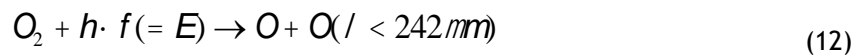
De ozonlaag

In de eerste jaren van het decennium verschenen in het nieuws regelmatig berichten over de aantasting van de ozonlaag (zie tekstbron 1). Er werd gesproken over het 'gat' in de ozonlaag boven Antarctica. Beelden van de OMI-satelliet lieten dit ozongat boven Antarctica duidelijk zien. In figuur 21 is een OMI-beeld te zien van 1 oktober 2006. De legenda geeft de ozon-dichtheid weer in Dobson Units (DU). Eén DU staat voor $2,1415 \cdot 10^{-5}$ kilogram ozon boven een vierkante meter. Hoe donkerder de kleur, des te minder ozon is er aanwezig.

Uit onderzoek bleek het gat in de ozonlaag in de lente (op het betreffende halfrond) het grootst te zijn. In figuur 22 zijn voor een periode van 10 jaar tijdreeksen te zien waarin het verlies aan ozon wordt weergegeven. Voor ieder jaar tussen 1997 en 2006 is er een piek in het ozonverlies rond oktober te zien. Dit is de periode waarin op het zuidelijk halfrond de lente begint. Waarom is het ozonverlies het grootst in de lente? Om dat te begrijpen moeten we eerst nagaan hoe ozon wordt afgebroken en gevormd.

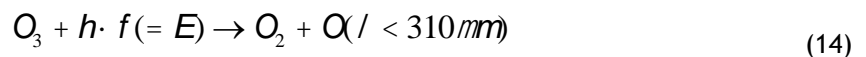
De vorming en afbraak van ozon in de stratosfeer

De vorming van ozon vindt plaats doordat zeer energierijke ultraviolette straling (korte golflengten) zuurstofmoleculen splitst in zuurstofatomen. Deze kunnen vervolgens met andere zuurstofmoleculen reageren tot ozonmoleculen. In algemene vorm kan de vorming van ozon als volgt worden opgeschreven:

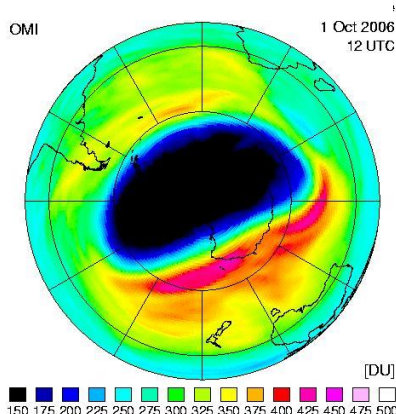


In deze vergelijking staat M voor een neutraal gas dat als katalysator optreedt; dit kan bijvoorbeeld stikstof zijn.

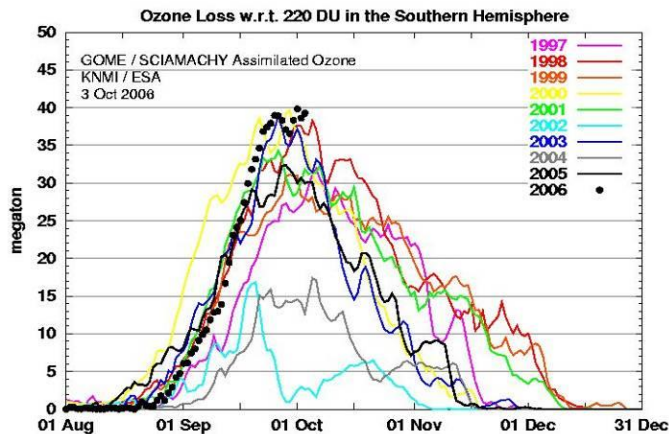
De natuurlijke afbraak van ozon gaat op de volgende wijze:



Behalve de bovenstaande reacties vinden in de stratosfeer veel meer reacties met ozon plaats. Hierbij zijn waterdamp, stikstofoxiden en methaan betrokken.



Figuur 21: OMI beeld van het zuidelijk halfrond.



Figuur 22: Tijdreeksen van het ozonverlies over de eerste 10 jaar van het decennium boven het zuidelijk halfrond in megaton ozongas.

Gassen die een heel belangrijke rol spelen bij de ozonafbraak in de stratosfeer zijn de chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Dit is ontdekt in de jaren 70. De Nederlandse wetenschapper Paul Crutzen was hierbij betrokken. Hij kreeg in 1995 de Nobelprijs voor de scheikunde voor zijn resultaten op het gebied van het onderzoek van de ozonlaag. CFK's werden in die tijd toegepast als drijfgas in spuitbussen (bijv. deodorant), als vulgas in schuimrubber en piepschuim en als koelvloeistof in koelkasten, vriezers en airco's.

CFK's worden gerekend tot de *inerte gassen*, dat betekent dat ze 'nergens' mee reageren, niet oplossen in water en een gunstig kookpunt hebben. Omdat ze zo inert zijn is de levensduur van CFK's in de atmosfeer erg lang. Er komen in de troposfeer vrijwel geen processen voor die leiden tot afbraak van CFK's. Een gemiddelde levensduur van 100 tot 200 jaar voor CFK's is geen uitzondering. Als CFK's eenmaal in de atmosfeer terecht zijn gekomen, bewegen ze zeer snel door de troposfeer. In 1 à 2 weken tijd worden de CFK's van het aardoppervlak naar de tropopauze getransporteerd. Het transport vanaf de tropopauze naar de ozonlaag verloopt een stuk trager. Dit komt door de stabiele opbouw van de stratosfeer. Daarom kan het 10 tot 15 jaar duren voordat de CFK's de ozonlaag bereiken en hun afbrekende werk gaan verrichten.

29 Vragen en opdrachten

29.1 Waarom is de ozonlaag van levensbelang voor planten, dieren en de mens?

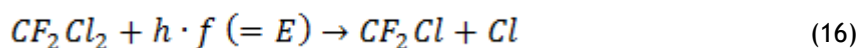
29.2 Welke rol speelt UV-straling in de vorming en afbraak van ozon?

29.3 Welke door de mens in het milieu gebrachte stoffen tasten de ozonlaag aan?

29.4 Wat wordt in de scheikunde met een katalysator bedoeld?

Hoe verloopt de afbraak van ozon door CFK's?

Eerst moeten de CFK's gedissocieerd worden. Dit gebeurt onder invloed van UV-straling. Als er dissociatie plaatsvindt, ontstaan er chlooratomen die kunnen optreden als katalysator bij de afbraak van ozon. Losse chlooratomen zijn zeer reactieve deeltjes. Ze worden ook wel *radicalen* genoemd. Een veel gebruikt CFK was freon-12: CF_2Cl_2 . Een model voor het proces van dissociatie en ozonafbraak onder invloed van CFK's, met freon-12 als voorbeeld, gaat als volgt:



Dit is de reactie waarbij het CF_2Cl_2 onder invloed van UV-straling wordt gedissocieerd en er een chloorradicaal beschikbaar komt.



In deze reactie wordt een ozonmolecuul daadwerkelijk afgebroken door de binding van het chloorradicaal met één van de zuurstofatomen van het ozonmolecuul.



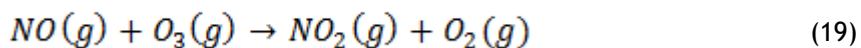
In deze reactie komt het zuurstofatoom weer los van het chloorradicaal en bindt het zich aan een van de zuurstofatomen van een ozonmolecuul. Hierbij worden twee zuurstofmoleculen gevormd.

Het proces rond de ozonafbraak is zo desastreus omdat een chloorradicaal steeds weer actief terugkeert in het proces: zie de laatste stap in het bovenstaande proces (reactievergelijking 18).

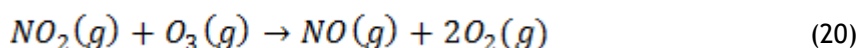
Hierdoor kan één chloorradicaal ongeveer 1000 ozonmoleculen vernietigen, voordat het via andere chemische reacties verwijderd wordt.

Welke gevolgen de ozonafbraak in de praktijk had, werd pas in de jaren 90 duidelijk. Lange tijd ontkende de CFK-producerende en -verwerkende industrie de problemen, zodat het tot de 80-er jaren duurde voordat de eerste overheden maatregelen troffen. In de VS en Canada werden CFK-houdende spuitbussen het eerst verboden, later volgde Europa. Begin jaren 90 kwamen er ook alternatieven op de markt voor de koelvloeistoffen in koelkasten, vriezers en airco's. Inmiddels zijn vrijwel alle producten CFK-vrij. Maar een goede verwerking van afgedankte apparatuur en producten waar nog wel CFK's in verwerkt waren, is van groot belang. Als er geen afdoende recyclingtechnieken voor deze producten gehanteerd worden, blijven de CFK's naar de atmosfeer verdwijnen en zullen de gevolgen nog lang merkbaar blijven. Gezien de lange levensduur van de CFK's zal het, vanwege de reeds aanwezige gassen, zeker nog de hele 21e eeuw duren voordat de aantasting van de ozonlaag stopt en het herstel kan beginnen.

Een ander gas dat als katalysator optreedt bij de afbraak van ozon in de hoge atmosfeer is stikstofmonoïxide (NO). Dit komt vrij bij de hoge verbrandingstemperaturen in motoren van auto's (zie het begindeel van deze paragraaf 4.3 over lage ozon). Komt de stikstofmonoïxide in de hoge atmosfeer terecht, dan treedt dit op als katalysator bij de afbraak van ozon. Dit gaat chemisch gezien als volgt:



Ozonmoleculen reageren met het gevormde stikstofdioxide (NO₂) waarbij weer stikstofmonoïxide en zuurstofmoleculen vrijkomen. Dit ziet er in reactievergelijking als volgt uit:

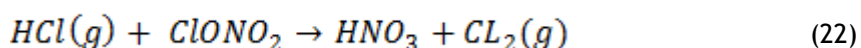


De stikstofmonoïxide werkt duidelijk als katalysator: het verdwijnt niet, maar wordt steeds weer opnieuw gevormd, terwijl ozon wordt afgebroken tot zuurstofmoleculen. Netto beschouwd vindt de volgende reactie plaats:



Dat de afbraak van ozon juist het grootst is rond de poolgebieden en juist in de lente heeft met drie zaken te maken: de extreme koude gedurende en kort na het winterseizoen, de hoeveelheid licht die dan weer beschikbaar is na de poolnacht en de geringe aanvoer van ozon vanuit de gematigde breedten.

De temperatuur boven Antarctica is in de winter en in het vroege voorjaar op ongeveer 20 km hoogte -85 °C en lager. Bij deze zeer lage temperaturen kunnen op deze hoogte wolken ontstaan. In de gevormde bewolking bevinden zich door de zeer lage temperaturen ijskristallen. Bij de afbraak van CFK's komen twee chloorverbindingen in de stratosfeer terecht: zoutzuurgas (HCl(g)) en chloornitrat (ClONO₂). Beide stoffen reageren zelf niet met ozon maar vormen het uitgangsmateriaal voor de chlooratomen die wél ozon afbreken. Dit gaat als volgt: HCl (g) en ClONO₂ worden ingevangen door de ijskristallen die zich in de polaire winter in de stratosfeer bevinden. Hier reageren HCl(g) en ClONO₂ met elkaar.



Het salpeterzuur (HNO₃) vriest vast op het ijsdeeltje en het gevormde chloorgas ontsnapt in de stratosfeer.

Het chloorgas wordt vervolgens door het zonlicht gesplitst in twee chloorradicalen.



Net zoals in de eerder beschreven reacties 17 en 18 vindt nu afbraak van ozon plaats onder invloed van de vrije chlooratomen.

Als de temperatuur stijgt in het late voorjaar en de zomer, zijn er geen ijsdeeltjes meer om de HCl(g) en ClONO_2 in te vangen, en ontstaan er dus geen vrije chloorradicalen meer.

In de Antarctische winter is er geen UV-straling beschikbaar om de CFK-moleculen te splitsen: het is immers donker (poolnacht). Er ontstaat dan ook weinig zoutzuurgas en chloornitraat. Zodra in september de Antarctische lente aanbreekt, komt er zonlicht ter beschikking waardoor de afbraak van ozon op gang komt volgens de hierboven beschreven reeks reacties. Bij het begin van de lente is het nog zo koud dat de stikstofverbindingen vastvriezen aan de ijskristallen. In oktober loopt de temperatuur weer hoog genoeg op om de ijskristallen te laten verdwijnen.

Boven Antarctica is het in de winter en het vroege voorjaar zo koud dat er geen lucht met verse ozon van de gematigde breedten kan toestromen om het ozontekort aan te vullen. Er ontstaat door de extreme koude een min of meer afgesloten vat van koude lucht boven Antarctica. Eind oktober warmt de lucht boven Antarctica voldoende op om het transport van lucht van de gematigde breedten weer op gang te brengen zodat er verse aanvoer van ozon kan plaatsvinden. Het gat in de ozonlaag wordt dan 'gedicht'.

Rond half september wordt boven Antarctica aan de drie genoemde voorwaarden voldaan zodat per dag 2-3% van het aanwezige ozon wordt afgebroken. Rond half oktober is ongeveer 60% van alle ozon boven Antarctica afgebroken. Op dit moment is de temperatuur in de stratosfeer 10°C lager dan in de jaren 60, toen er nog geen sprake was van een ozongat. Deze temperatuurdaling wordt veroorzaakt door het ozongat zelf.

Doordat er minder ozon aanwezig is, wordt er minder UV-straling geabsorbeerd, waardoor de stratosfeer minder opgewarmd kan worden en de temperatuur hier lager blijft. Dit is een zichzelf versterkend proces waardoor het ozongat langer blijft bestaan. Boven de Noordpool doet zich hetzelfde voor, echter in mindere mate omdat het hier minder koud is. Daarnaast is er meer uitwisseling van ozon met de gematigde breedten door luchtstromingen. Gelukkig is de ozonlaag zich aan het herstellen. De verwachting is dat door de genomen maatregelen tegen het gebruik van CFK's en door de verminderde uitstoot van stikstofoxiden de ozonlaag zich in de loop van de 21e eeuw zal gaan herstellen.

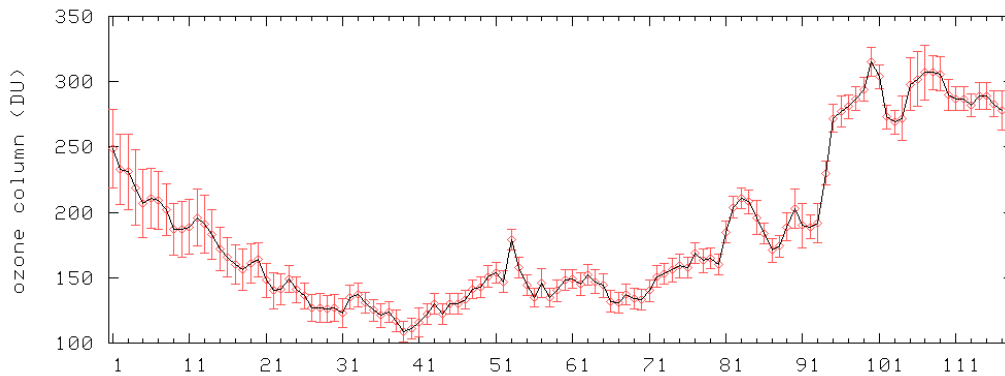
30 Vragen en opdrachten

30.1

Laat met behulp van reactievergelijkingen zien dat zonder menselijke verstoring de afbraak en vorming van ozon in evenwicht is.

30.2

Maak met behulp van reactievergelijkingen duidelijk hoe stikstofoxide als katalysator optreedt bij de afbraak van ozon.



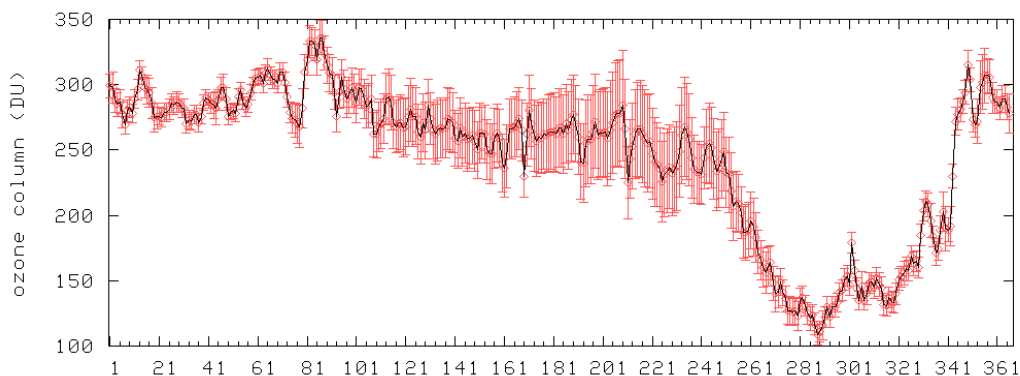
Figuur 23: Ozonkolomwaarden boven de Zuidpool (0° WL, 90° ZB), geplot voor iedere dag op 00.00, 06.00, 12.00 en 18.00 uur GMT. De meetreeks loopt van 01-09-2006 (00.00 GMT) tot 26-12-2006 (18.00 GMT). De foutmargebalken geven 1σ foutmarge aan.

30.3 Bekijk figuur 23 waarin de dikte van de ozonlaag boven Antarctica in 2006 te zien is.

- Rond welke periode was de ozonlaag het dunst?
- Hoeveel DU bedroeg de ozonlaag toen?
- Leg uit hoe het komt dat de ozonlaag juist in deze periode het dunst was.

30.4 Ga naar de website ► URL8 en bekijk het filmpje van het gat in de ozonlaag boven Antarctica voor 1 augustus tot en met 6 oktober 2006.

- Hoe zijn deze beelden gemaakt?
- Hoe is op deze beelden de dikte van de ozonlaag te zien?
- Wat stelt de grijze vlek voor die tijdens de eerste dagen te zien is?
- Welke conclusie kun je trekken uit een vergelijking van figuur 23 met het filmpje?

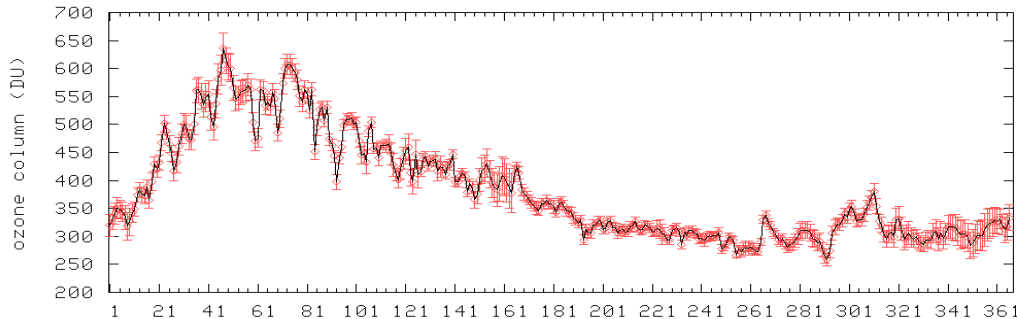


Figuur 24: Ozonkolomwaarden boven de Zuidpool (0° WL, 90° ZB), geplot voor iedere dag op 00.00, 06.00, 12.00 en 18.00 uur GMT. De meetreeks loopt van 26-12-2005 (00.00 GMT) tot 26-12-2006 (18.00 GMT). De foutmargebalken geven 1σ foutmarge aan.

30.5 Figuur 24 toont de variatie in dikte van de ozonlaag boven Antarctica gedurende een het jaar 2006.

- Hoeveel DU bedraagt de dikte van de ozonlaag gemiddeld in de periode dat de ozonlaag het dikst is?
- Hoeveel DU bedraagt de dikte van de ozonlaag gemiddeld in de periode dat de ozonlaag het dunst is?

- c Bereken aan de hand van de bij a en b gevonden antwoorden de totale afname van de ozonlaag in het jaar 2006 boven Antarctica in procenten.
- d Waarom is het niet zinvol de afname te bepalen aan de hand van de grootste en de kleinste waarde van de DU?



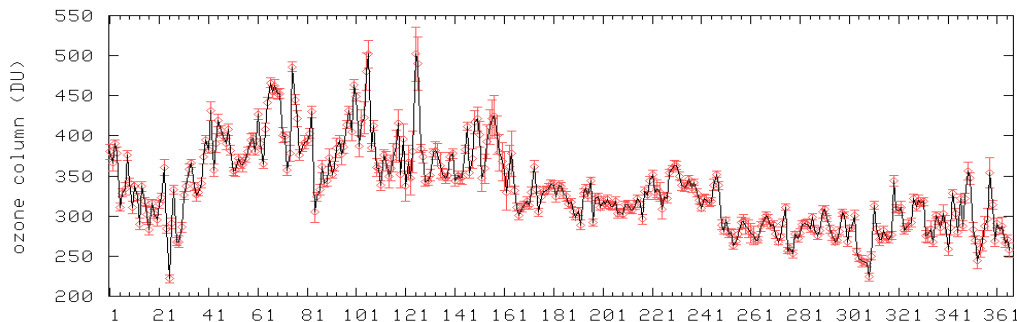
Figuur 25: Ozonkolomwaarden boven de Noordpool (0° WL, 90° NB), geplot voor iedere dag op 00.00, 06.00, 12.00 en 18.00 uur GMT. De meetreeks loopt van 26-12-2005 (00.00 GMT) tot 26-12-2006 (18.00 GMT). De foutmargebalken geven 1σ foutmarge aan.

30.6 Figuur 25 toont de variatie in dikte van de ozonlaag boven de Noordpool gedurende het jaar 2006.

- a Hoeveel DU bedraagt de dikte van de ozonlaag gemiddeld in de periode dat de ozonlaag het dikst is?
- b Hoeveel DU bedraagt de dikte van de ozonlaag gemiddeld in de periode dat de ozonlaag het dunst is?
- c Bereken aan de hand van de bij a en b gevonden antwoorden de totale afname van de ozonlaag in het jaar 2006 boven de Noordpool in procenten.

30.7 Figuur 26 toont de variatie in dikte van de ozonlaag boven Nederland gedurende het jaar 2006.

- a Hoeveel DU bedraagt de dikte van de ozonlaag gemiddeld in de periode dat de ozonlaag het dikst is?
- b Hoeveel DU bedraagt de dikte van de ozonlaag gemiddeld in de periode dat de ozonlaag het dunst is?
- c Bereken aan de hand van de bij a en b gevonden antwoorden de totale afname van de ozonlaag in het jaar 2006 boven Nederland in procenten.



Figuur 26: Ozonkolomwaarden boven Nederland (5° WL, 52° NB), geplot voor iedere dag op 00.00, 06.00, 12.00 en 18.00 uur GMT. De meetreeks loopt van 26-12-2005 (00.00 GMT) tot 26-12-2006 (18.00 GMT). De foutmargebalken geven 1σ foutmarge aan.

30.8 Op gematigde breedte fluctueert de hoeveelheid ozon heel sterk, zoals te zien is in figuur 26. Een minimum is een dag later weer gecompenseerd.
Leg uit waardoor de ozonconcentratie op gematigde breedten zo sterk fluctueert.

4.4 Het huidige klimaat

Leerdoelen

Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- de belangrijkste factoren noemen die het klimaat op aarde bepalen
- in eigen woorden het broeikaseffect beschrijven en aangeven welke factoren daarbij een rol spelen
- beschrijven hoe menselijk handelen van invloed kan zijn op de opwarming van de aarde
- verklaren waarom er op aarde temperatuurverschillen voorkomen als gevolg van de breedteligging, de stand van de aardas en de rotatie rond de zon
- de invloed van zeestromen en wind op de verdeling van de warmte over de aarde beschrijven
- de positieve terugkoppeling tussen het afsmelten van de ijskappen en de opwarming van de aarde beschrijven en daarbij gebruik maken van de term en albedo

Factoren die het klimaat op aarde bepalen

Het huidige klimaat op aarde wordt o.a. bepaald door de volgende factoren:

de hoeveelheid inkomende zonnestraling
de breedtegraad
wind en zeestromen
het albedo
het broeikaseffect

In deze paragraaf zullen we bovenstaande factoren behandelen. Uit het Algemene Deel (hoofdstuk 3) weet je al dat ook aerosolen het klimaat op aarde beïnvloeden.

De hoeveelheid inkomende zonnestraling

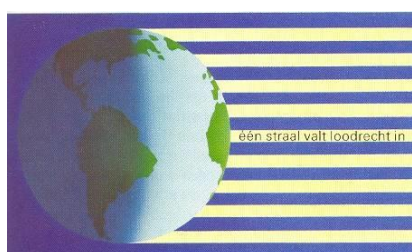
De motor achter het klimaat (of op kortere termijn het weer) is de inkomende zonnestraling. Over langere periodes (tienduizenden tot honderdduizenden jaren) kan de hoeveelheid zonnestraling die de aarde ontvangt, variëren. Dit valt te concluderen uit de afwisseling van ijstijden en warme perioden die de aarde heeft gekend. Het is belangrijk te weten waardoor deze temperatuurswisselingen veroorzaakt werden. De processen die hiervoor verantwoordelijk waren zijn kunnen ook vandaag de dag nog een rol van betekenis spelen. Ze kunnen de problemen die verwacht worden versterken of verminderen.

De hoeveelheid inkomende zonnestraling wordt bepaald door de stralingsintensiteit van de zon. Deze wordt aangegeven met de

zogenaamde *zonneconstante*. Dit is de hoeveelheid stralingsenergie per vierkante meter op de gemiddelde afstand aarde-zon. Op dit moment bedraagt de zonneconstante $1365 \pm 5 \text{ Wm}^{-2}$. Er komen op korte tijdschaal variaties voor in de zonneconstante, de zogenaamde zonnevlekkencycli, met een periode van 11 jaar. Daarnaast zijn variaties met een langere tijdsduur bekend. Maar gedurende de afgelopen 2,5 miljoen jaar is de zonneconstante nagenoeg gelijk gebleven. De zonneconstante kan op korte termijn dan ook niet de oorzaak zijn van grote klimaatveranderingen.

Geografische breedte: tussen evenaar en noord/zuidpool

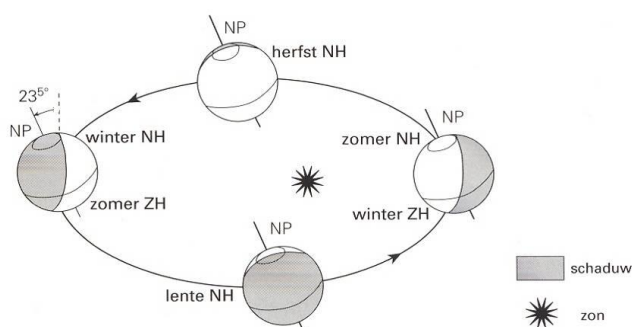
De breedtegraad (afstand tot de evenaar) is van belang omdat de mate waarin het aardoppervlak wordt opgewarmd met toenemende breedte afneemt.



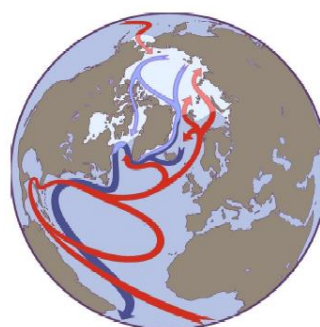
Figuur 27: op aarde invallende zonnestrallen.

Dit komt doordat de hoek waarmee een bundel zonnestrallen het aardoppervlak raakt, kleiner wordt naarmate de afstand tot de evenaar toeneemt. Hoe de zonnestrallen op aarde invallen is in figuur 27 te zien. Als de hoek groter is, valt er meer energie op een kleiner oppervlak, en wordt de temperatuur hoger. Bovendien wordt de weg die de zonnestrallen door de dampkring afleggen groter naarmate de hoek waarmee de bundel zonnestrallen het aardoppervlak raakt, kleiner wordt. Er vindt dan meer weerkaatsing plaats. Dit verklaart het verschil in klimaat tussen de polen, de gematigde breedtegraden en de tropen.

Doordat de aarde in een jaar tijd om de zon draait en de aardas scheef staat, verandert de hoek waarmee de zonnestrallen het aardoppervlak raken in de loop van het jaar. Dit verklaart de seizoenen (zie figuur 28) en de jaarlijks terugkerende temperatuurschommeling.



Figuur 28: Stand van de aardas ten opzichte van de zon en het ontstaan van seizoenen (NH=Noordelijk Halfrond, ZH=Zuidelijk Halfrond, NP=NoordPool)



Figuur 29: De golfstroom en zeestroming in de Noordelijke IJszee

31 Vragen en opdrachten

31.1 De zon zendt een min of meer constante hoeveelheid straling naar de aarde. Toch is de opwarming van het aardoppervlak niet op elke breedtegraad hetzelfde. Leg dit uit.

Tekstbron 2: Noordpool mogelijk zonder ijs in 20140

Wetenschappers verwachten dat de Noordpool in 2040 geen permanent ijs meer heeft. Dit betekent dat het gebied als gevolg van de opwarming van de aarde in de zomermaanden ijsvrij is.

Dit is bekendgemaakt op een conferentie van de Amerikaanse Geofysische Unie. Uit recente metingen blijkt dat het ijs in de warme zomerperiode sneller smelt dan voorheen en vervolgens in de herfst en winter niet langer voldoende herstelt. Op termijn, mogelijk al binnen enkele decennia, betekent dit dat het ijs in de zomer helemaal verdwijnt.

Het bevroren deel van de zee bleek vorige maand twee miljoen vierkante kilometer kleiner te zijn dan het historische gemiddelde. "Dat is een gebied zo groot als Alaska", aldus ijsdeskundige Mark Serreze van de Universiteit van Colorado.

Uit de nieuwe studie blijkt dat de ijsslaag van de Noordpool dusdanig wordt verzwakt door klimaatverandering, dat het op den duur zijn eigen verval bespoedigt.

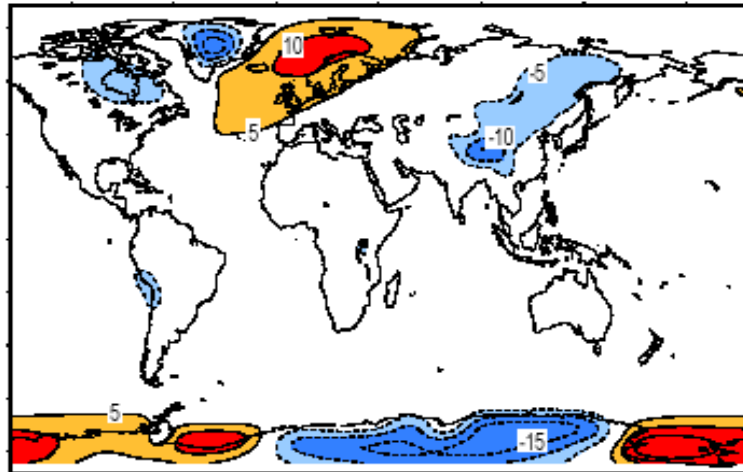
"Als het ijs zich terugtrekt, voert de oceaan meer warmte naar het gebied, terwijl het open water meer zonlicht absorbeert. Dat versnelt de opwarming en leidt tot nog meer verlies aan ijs", aldus wetenschapper Marika Holland tegen de Britse omroep BBC. Volgens haar hoeft er maar een zomer te zijn die warmer is dan normaal en het proces wordt onomkeerbaar, waarna het ijs razendsnel zal verdwijnen.

Wind en zeestromen

De verdeling van warmte over de aarde hangt dus af van de breedteligging.

Wind en zeestromen zorgen ervoor dat de beschikbare warmte over de aarde verdeeld wordt.

Lokale klimaten worden hierdoor sterk beïnvloed. Nederland en grote delen van Noordwest-Europa danken hun milde klimaat aan de Noord-Atlantische Golfstroom, die warm tropisch water naar het noorden transporteert. Figuur 29 toont de Golfstroom, een circulatiestroming in de Atlantische Oceaan. Op de breedte waar Europa ligt, overheersen de westenwinden die de warmte over het Noordwest-Europese continent verdelen. Hoeveel invloed de Golfstroom op de oppervlakte-temperaturen heeft, blijkt uit figuur 30.



Figuur 30: Afwijkingen van de luchttemperatuur aan het aardoppervlak t.o.v. het gemiddelde voor deze breedten (in °C), als gevolg van de zeestromen

De Golfstroom brengt aan het zee-oppervlak warm water van de tropen naar hoge breedte voor de kusten van Noordwest-Europa; het afgekoelde water wordt op grote diepte langs de oceaانبodem teruggevoerd naar het zuiden. Sommige onderzoekers denken dat de Golfstroom zal afnemen of zelfs tot stilstand zal komen als het klimaat warmer wordt. Want als de ijskappen afsmelten komt er veel zoet water in de oceaan, waardoor de dichtheid van het zeewater lager wordt. Dan zal het warme water dat door de Golfstroom naar het noorden gevoerd is, na afkoeling minder naar beneden zinken, waardoor de circulatie stopt. De temperatuur in Noordwest-Europa zal dan sterk dalen.

Vragen en opdrachten

32.1 In figuur 30 is te zien hoe de luchttemperatuur aan het aardoppervlak in sommige gebieden afwijkt van het gemiddelde voor de betreffende breedtegraad.

Serreze verwacht die kentering rond 2030.
In 2040 zal er dan alleen nog een kleine strook permanent ijs over zijn langs de noordkust van Groenland en Canada, terwijl het Noordpoolgebied in september ijsvrij is.

Hoe komt het dat de temperatuur in Noordwest-Europa hoger is dan gemiddeld en in Noordoost-Amerika lager dan gemiddeld?
32.2 Leg uit wat er gebeurt met de Golfstroom na het versneld afsmelten van het ijs op het noordelijk halfrond en maak duidelijk welk gevolg dit heeft voor Noordwest-Europa.

Albedo

De ijskappen op aarde - Groenland en het poolijs op het noordelijk halfrond en Antarctica op het zuidelijk halfrond - zorgen voor een lagere temperatuur op aarde. Antarctica (de zuidpool) kan door zijn hoge geografische breedteligging en lage temperatuur vergletsjeren. Door het grote witte oppervlak is de reflectie van zonnestraling sterk. We spreken van een hoog *albedo* wanneer die reflectie groot is. Door zo'n hoog albedo daalt de temperatuur op aarde. De algemene luchtcirculatie zorgt voor transport van koude lucht naar lagere breedte. Door de ligging van de continenten op het noordelijk halfrond rond de Noordelijke IJzee, wordt deze zee geïsoleerd van de warme zeestromen. Er kan geen warm water aangevoerd worden naar de Noordelijke IJzee. Het water kan daardoor bevriezen waardoor er ook op het noordelijk halfrond een ijsoppervlak is ontstaan, met een hoog albedo tot gevolg.

Veel ijsvorming op aarde zorgt dus voor temperatuurverlaging. Het omgekeerde is ook waar: zoals uit het artikel hiernaast blijkt, zal de aarde sneller opwarmen wanneer de hoeveelheid ijs op de polen afneemt. Het albedo wordt dan kleiner waardoor land en wateroppervlak sneller zullen opwarmen.



Figuur 31: de Albedo-proef

33 Proef: Albedo-bepaling

Benodigheden

- wit papier
- zwart papier
- andere kleuren of soorten papier (bijv. glimmend)
- een lamp met statief
- luxmeter
- meetlint
- zwarte koker

Werkwijze bepalen reflectie

- Maak een opstelling zoals je op de foto (figuur 33) ziet. Plaats de lamp aan de bovenkant van de zwarte koker.
- Bepaal de reflectie van zwart, wit en gekleurd papier. Dit doe je door de sensor van de luxmeter aan de bovenkant van de koker te houden, gericht naar het papier. Zorg er wel voor dat de sensor geen direct licht van de lamp opvangt en dat hij de lichtbundel niet blokkeert.
- Bepaal de reflectie van zwart, wit en tenminste drie verschillende kleuren papier.

Werkwijze bepalen albedo

Om het albedo te bepalen moet je nog de lichtsterkte van de directe lichtbundel weten.

- Meet de lichtsterkte van de lichtbundel. Let erop dat je hiervoor de juiste afstand tot de lichtbron gebruikt. De juiste afstand is gelijk aan de afstand van de lamp tot het reflecterende papier plus de afstand van het papier tot de luxmeter. (Als je alleen de afstand tot aan het papier zou nemen is de lichtsterkte te hoog, omdat je dan geen rekening houdt met de verstrooiing van het licht.)
- Met deze gegevens kan nu het albedo (= de reflectie) van het papier bepaald worden. Het albedo wordt altijd uitgedrukt in een getal tussen 0 en 1 of als een percentage (bv. 0,1 = 10%). Reken het albedo uit met de gemeten waardes en noteer het in de tabel van bijlage 5.
- Neem nu van een andere groep leerlingen de lichtsterktes over die zij gemeten hebben en bereken ook hiervoor het albedo. Noteer ook deze waarden in de tabel.
- Meet als laatste de lichtsterkte van het licht buiten en vul deze waarde ook in. Noteer hierbij in de kolom meetafstand geen afstand, maar wat het weertype volgens jou is.

Vragen bij proef 33

- Maakt het voor het percentage gereflecteerd licht (het albedo) uit hoe sterk de lichtbron is?
- Geef 2 voorbeelden van donkere en 2 voorbeelden van lichte oppervlakken op aarde.
- Hoe komt het dat als de poolkappen smelten door de opwarming van de aarde, dit de opwarming van de aarde verder versterkt?
- Als je ervan uitgaat dat sneeuw evenveel reflecteert als een wit vel papier, hoeveel licht reflecteren besneeuwde bergtoppen dan op een erg zonnige dag (zie tabel in figuur 32) en hoeveel op een bewolkte dag?
- Je hebt ook de lichtsterkte van het buitenlicht gemeten en het weertype van dat moment bepaald. Komt de lichtsterkte die je hebt gemeten overeen met de lichtsterkte uit onderstaande tabel bij hetzelfde weertype?

Zonlicht:	100.000 - 130.000 lux
Daglicht, indirect zonlicht:	10.000 - 20.000 lux
Bewolkte dag:	1000 lux
Kantoor:	200 - 400 lux
Erg donkere dag:	100 lux
Schemering:	10 lux
Donkere schemering:	1 lux
Volle Maan:	0,1 lux
Maan in Eerste of Laatste Kwartier:	0,01 lux
Nieuwe Maan zonder wolken:	0,001 lux
Bewolkte nacht zonder maan:	0,0001 lux

Figuur 32: Tabel gemiddelde lichtsterkten onder verschillende omstandigheden

34 Vragen en opdrachten

34.1

- a Wat verstaan we onder het albedo?

Het versneld afsmelten van het drijfijs op de Noordelijke IJzee heeft een verlaging van het albedo van de aarde tot gevolg.

- b Zal de temperatuur op aarde hierdoor stijgen of dalen?

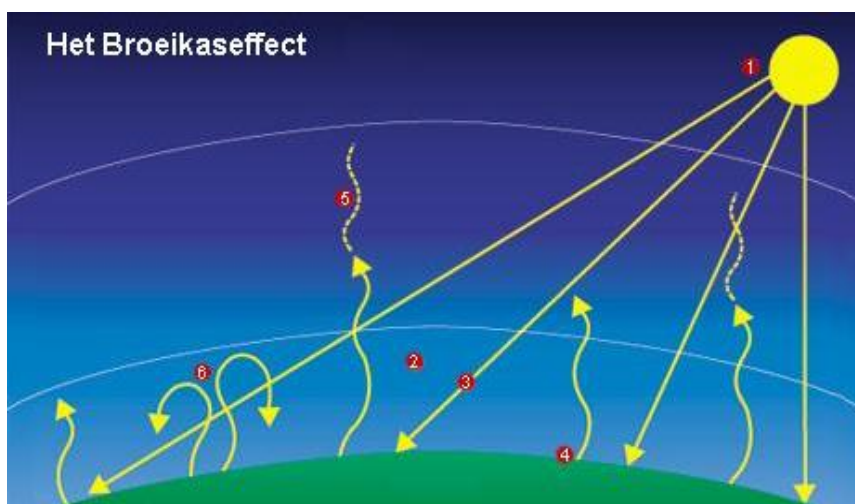
- c Verklaar het antwoord bij de vorige vraag.

34.2 In het artikel in tekstbron 2 over de Noordpool in 2040 staat de volgende uitspraak: “Als het ijs zich terugtrekt, voert de oceaan meer warmte naar het gebied, terwijl het open water meer zonlicht absorbeert. Dat versnelt de opwarming en leidt tot nog meer verlies aan ijs”.

Leg uit hoe de bedoelde versnelde opwarming tot stand komt.

Broeikaseffect

Bij veranderingen in het klimaat spelen broeikasgassen een belangrijke rol. Ongeveer dertig procent van de inkomende zonnestrallen wordt door de aarde en de atmosfeer gereflecteerd. Dit deel van de inkomende zonnestraling heeft dan geen invloed meer op de temperatuur. De rest van de zonnestraling verwarmt vooral het aardoppervlak en de oceanen. Deze opgenomen energie wordt als infrarode (warmte-)straling door de aarde weer teruggestraald naar de atmosfeer en uiteindelijk de ruimte in. Er ontstaat een zeker evenwicht tussen de hoeveelheid inkomende en uitgaande straling. Van nature bestaat een half procent van de atmosfeer uit broeikasgassen (CO_2 , CH_4 en H_2O) die het vermogen hebben de warmte die de aarde uitstraalt vast te houden. In figuur 33 is dit schematisch weergegeven. Zonder dit ‘broeikaseffect’ zou de gemiddelde grondtemperatuur op aarde -18°C bedragen en zou leven op aarde onmogelijk zijn. Door het broeikaseffect is de gemiddelde temperatuur 33 graden hoger, namelijk 15°C .



Figuur 33: Het broeikaseffect. 1: zonnestraling, 2: Broeikasgassen in de atmosfeer, 3: zonnestrallen bereiken het aardoppervlak, 4: na absorptie uitgezonden warmte, 5: een deel van de uitgestraalde warmte ontsnapt naar de ruimte, 6: een ander deel van de uitgestraalde warmte wordt tegengehouden door de broeikasgassen.

De mens versterkt het natuurlijke broeikaseffect door de grootschalige uitstoot van broeikasgassen.

Deze uitstoot is zo groot geworden dat dit versterkte broeikaseffect een bepalende factor is in het huidige klimaat!

Als er over broeikasgas wordt gesproken, bedoelt men veelal koolstofdioxide (CO_2). Maar niet alleen variaties in het CO_2 -gehalte van de atmosfeer zijn van invloed op de temperatuur op aarde, ook methaan (CH_4) en vooral waterdamp (H_2O) werken als broeikasgassen. Waterdamp is als broeikasgas belangrijk omdat het in overvloed aanwezig is op aarde. Door menselijk toedoen stijgt de concentratie CO_2 in de lucht; dit houdt de warmte vast, waardoor de temperatuur stijgt. Wanneer de temperatuur stijgt neemt de hoeveelheid waterdamp toe, omdat een hogere temperatuur tot meer verdamping van water leidt. Door het extra broeikaseffect dat deze verhoogde concentratie waterdamp veroorzaakt, neemt de temperatuur extra toe waardoor de concentratie waterdamp nog verder stijgt. Op deze manier wordt het broeikaseffect door CO_2 met ongeveer een factor twee versterkt.



Figuur 34: de Broeikasproef

35 Proef Broeikaseffect

Benodigheden

- 1 luxmeter
- 1 thermometer
- 1 broeikas met deksel of plasticfolie
- witkalk of een matte deksel
- een felle lamp met statief

Werkwijze

- Bevestig de lamp in het statief op ongeveer 70 cm hoogte. Zet de broeikas zonder deksel onder de lamp. Leg de thermometer en de sensor van de luxmeter in het broeikasje.
- Zorg dat beide meetapparaten tijdens het experiment zoveel mogelijk op dezelfde plek blijven liggen en dat de thermometer niet direct onder de lichtbundel ligt.
- Wacht nu 5 minuten om de meetapparaten te laten acclimatiseren, en lees daarna beide af. Zet je gegevens in de tabel in bijlage 6.
- Dek het broeikasje af met doorzichtig folie of een doorzichtige deksel. Wacht ook nu weer 5 minuten om de meetapparaten te laten acclimatiseren.
- Lees weer af na 5 minuten en zet de gegevens in de tabel.
- Voor de laatste benodigde gegevens dek je het broeikasje af met een matte deksel of maak je de eerder gebruikte deksel mat met witkalk. Weer laat je eerst 5 minuten acclimatiseren voordat je afleest.

Vragen bij proef 35

- a Maak een grafiek van je meetgegevens.
- b Wat gebeurt er normaal gesproken met de temperatuur als de lichtintensiteit afneemt?
- c Wat gebeurt er in deze proef met de temperatuur bij een afgenomen lichtintensiteit?
- d Hoe kan je dit verklaren?

36 Vragen en opdrachten

- 36.1 Leg aan de hand van een schematische tekening uit hoe het broeikaseffect werkt en geef aan welke gassen hierin een belangrijke rol spelen.
- 36.2 Er wordt altijd gesproken over de rol van CO_2 bij het broeikaseffect maar zelden over waterdamp. Waarom is waterdamp als broeikasgas eigenlijk veel zorgwekkender?

4.5 Aerosolen en wolkenvorming

Leerdoelen

Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- een definitie geven van de begrippen dampdruk, relatieve luchtvochtigheid en dauwpuntstemperatuur
- de rol is van condensatiekernen bij wolkvorming beschrijven
- de invloed van wolkvorming op het klimaat beschrijven
- uitleggen hoe vliegtuigstrepen ontstaan en welke invloed deze hebben op de temperatuur

Waterdamp in de lucht

Waterdamp in de lucht noemen we luchtvochtigheid. De hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer is niet altijd en overal hetzelfde. De volgende grootheden geven aan hoeveel waterdamp er in de lucht aanwezig is: de dampspanning (e), de relatieve luchtvochtigheid (U) en de dauwpuntstemperatuur (T_d).

De dampspanning of dampdruk (e)

De *dampspanning* is de kracht die door de waterdampmoleculen in de lucht wordt uitgeoefend op 1 m^2 van het aardoppervlak. De eenheid waarin de dampspanning wordt uitgedrukt is Pascal (Pa). De dampspanning is veel lager dan de luchtdruk (kracht van de totale luchtkolom op 1 m^3 van het aardoppervlak).

Hoeveel waterdamp de lucht kan bevatten is afhankelijk van de temperatuur. De maximale hoeveelheid vocht die de lucht bij een bepaalde temperatuur kan bevatten wordt de verzadigingsdampspanning (e_s) genoemd. Als deze overschreden wordt gaat het teveel aan waterdamp condenseren en ontstaan er druppeltjes (wolken).

Relatieve luchtvochtigheid (U)

De verhouding tussen de heersende waterdampspanning (e) en de verzadigingsdampspanning (e_s) voor de heersende temperatuur wordt *relatieve luchtvochtigheid* (U) genoemd. Deze grootheid wordt uitgedrukt in een percentage.

$$U = \frac{e}{e_s} \cdot 100\% \quad (24)$$

Als de verzadigingsdampspanning in een grafiek wordt uitgezet tegen de temperatuur, ontstaat een lijn die tevens weergeeft bij welke waarden de relatieve luchtvochtigheid 100% bedraagt.

Dauwpuntstemperatuur (T_d)

Het dauwpunt is de temperatuur waarbij waterdamp begint te condenseren door afkoeling van de lucht zonder dat er vocht wordt toegevoerd of afgevoerd (bij gelijkblijvende luchtdruk). Bij het bereiken van de *dauwpuntstemperatuur* is de lucht juist verzadigd met waterdamp, de relatieve luchtvochtigheid is dan 100%. Zodra door afkoeling de dauwpuntstemperatuur bereikt of overschreden wordt, gaat de waterdamp condenseren, dat wil zeggen: er ontstaan waterdruppels.

De grafiek van e_s tegen T , die weergeeft hoe de verzadigingsdampspanning toeneemt met de temperatuur, kan ook opgevat worden als de lijn die de dauwpuntstemperaturen weergeeft.

Natteboltemperatuur

Naast het laten afkoelen van de lucht om het verzadigingspunt te bereiken is een andere manier het toevoegen van waterdamp. Om waterdamp te laten ontstaan, dus om vloeibaar water te laten verdampen, is energie nodig. Deze energie wordt in de vorm van warmte aan de lucht onttrokken, waardoor de lucht afkoelt. Door de afkoeling en de toevoer van waterdamp raakt de lucht verzadigd en treedt er condensatie op. De temperatuur waarbij dit gebeurt is de *natteboltemperatuur*, die altijd hoger is dan de dauwpuntstemperatuur.

Condensatiekernen

Om waterdamp in de lucht te laten condenseren en druppelvorming te krijgen, is het niet voldoende dat de lucht verzadigd is.

Er zijn condensatiekernen nodig die het proces van druppelvorming op gang brengen.

Zonder dergelijke condensatiekernen is een oververzadiging van maar liefst 400% mogelijk.

Condensatiekernen zijn dus nodig voor de vorming van wolken.

Aerosolen vormen dergelijke condensatiekernen.

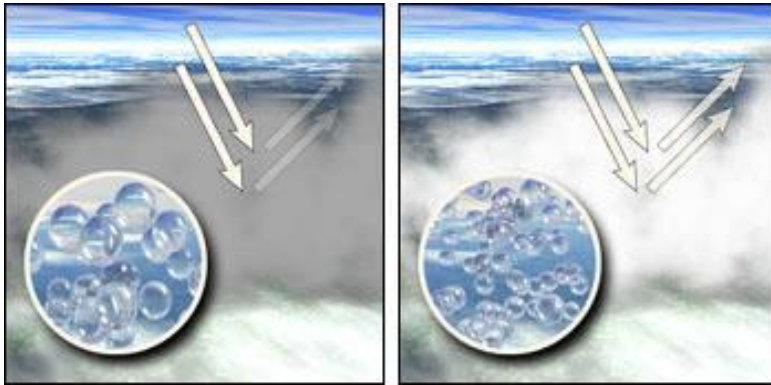
Bij een hoge aerosolconcentratie zijn veel condensatiekernen beschikbaar, waardoor er eerder wolken zullen ontstaan dan bij een lage aerosolconcentratie. Daarbij geldt dat de wolken die ontstaan bij een hoge aerosoldichtheid meer kleinere druppeltjes vormen dan wanneer er minder condensatiekernen aanwezig zijn. De kleine druppeltjes voegen zich minder snel samen tot grotere druppels, waardoor het langer duurt voordat ze uitregenen. De wolk blijft zo langer bestaan.

Aerosolen beïnvloeden het klimaat doordat ze verantwoordelijk zijn voor méér wolkenvorming én voor een langere levensduur van wolken.

37 Vragen en opdrachten

37.1 Maak een rijtje van de woorden dampspanning, verzadigingsdampspanning, dauwpunttemperatuur, natteboltemperatuur en condensatiekernen.

37.2 Beschrijf achter elk woord in je eigen woorden in één zin wat elk woord betekent.

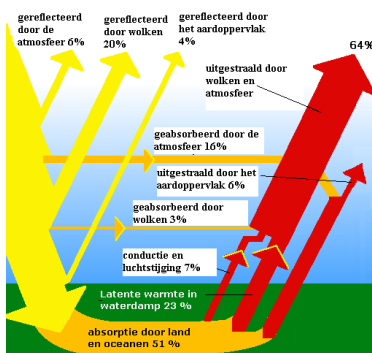


Figuur 35: Toenemend albedo van de bewolking doordat de druppels kleiner worden en het aantal druppels (de druppeldichtheid) toeneemt.

Wolken

Wolken spelen een belangrijke rol in de hydrologische cyclus van de aarde en in de energiebalans van het klimaatstelsel. Zij hebben een groot effect op de stralingsbalans door het reflecteren van zonnestraling naar het heelal. Doordat de druppeldichtheid in een wolk groter wordt naarmate het aantal aerosolen toeneemt, zal het albedo (zie verdiepingparagraaf 4.4) van de wolk ook toenemen. In figuur 35 wordt dit weergegeven. Een vergroting van het gemiddelde albedo van de aardse atmosfeer met 10% als gevolg van toenemende wolkenvorming kan leiden tot een oppervlaktetemperatuur die vergelijkbaar is met de temperatuur tijdens een ijstijd.

Maar wolken kunnen de afkoeling ook weer verminderen. Dit komt doordat zij een deel van de infrarode straling (warmte) absorberen die door het aardoppervlak wordt uitgezonden. Deze warmte stralen ze vervolgens weer naar boven en naar beneden uit (emitteren). Hoeveel warmte ze absorberen hangt af van hun temperatuur. Hoge (koude) wolken absorberen netto meer warmtestraling dan lage wolken, die warmer zijn. In de stralingsbalans in figuur 36 (zie ook paragraaf 3.5 in het Algemeen Deel) is te zien hoeveel procent van de ingekomen straling van de zon en de aarde door wolken wordt gereflecteerd, geabsorbeerd en geëmitteerd.



Figuur 36: de Stralingsbalans geeft (in %) de hoeveelheden energie, die de atmosfeer in- en uitgaat.

De mate waarin de temperatuur verandert door wolkenvorming is afhankelijk van de hoeveelheid en het type bewolking. Als er veel middelbare en lage bewolking is, ontstaat een netto afkoelend effect omdat deze bewolking veel zonnestraling reflecteert en weinig

infrarode straling emitteert. Het toenemen van hoge bewolking heeft een opwarmend effect vanwege de lage temperatuur ervan. Er vindt wolkenvorming plaats als gevolg van de aanwezigheid van aerosolen, maar wat dit betekent voor het klimaat is nog niet zeker.

Rond industriegebieden is de uitstoot van aerosolen door het verbranden van fossiele brandstoffen erg groot. Deze verbranding is een belangrijke bron van sulfaat-aerosolen (zwavelhoudend). Het verschil met de sulfaat-aerosolen die bij een vulkaanuitbarsting vrijkomen is dat deze 'industrie-aerosolen' met minder kracht de atmosfeer in gebracht worden en dat ze dus minder hoog komen. In tegenstelling tot de vulkanische aerosolen, die tot in de stratosfeer doordringen, blijven zij in de troposfeer hangen. Veel van deze deeltjes in de troposfeer gaan als condensatiekernen fungeren, waardoor ze leiden tot toenemende wolkenvorming. Het duurt gemiddeld een week voordat deze aerosolen uitregenen en hun effect verdwijnt. De afkoelende werking door deze aerosolen blijft meestal beperkt tot een gebied rond de bron, op niet al te grote afstand er vandaan.

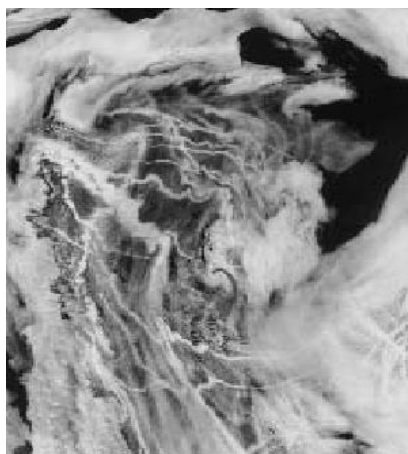
38 Vragen en opdrachten

38.1 Wat is de rol van aerosolen bij de wolkenvorming?

38.2 Wolken kunnen zowel een verwarmend als een afkoelend effect hebben. Leg deze dubbelrol van wolken uit.

38.3 Waarom heeft bewolking die ontstaat als er veel aerosolen in de lucht aanwezig zijn een veel grotere reflectiecapaciteit dan bewolking die ontstaat als er weinig aerosolen in de lucht aanwezig zijn?

Wolkensporen



Figuur 37: Scheepswolken boven de Grote Oceaan, 29 april 2002.

Het optreden van wolken sporen achter schepen is een duidelijk voorbeeld van de rol van condensatiekernen bij wolkenvorming. Op satellietfoto's zijn achter schepen op open zee of op oceanen scheepswolken te zien die 1000 kilometer lang kunnen zijn, en die een breedte hebben van enkele kilometers (dichtbij het schip) tot tientallen kilometers (op enige afstand). Figuur 37 laat scheepswolken boven de Grote Oceaan zien. Er is door wetenschappers veel onderzoek gedaan naar het ontstaan van deze scheepswolken.

Hoe ontstaan scheepswolken?

De verbrandingsgassen van scheepsmotoren bevatten veel zwaveldeeltjes. Deze zwaveldeeltjes zijn hygroscopisch, dat wil zeggen: ze trekken waterdamp aan. In contact met waterdamp veranderen zwaveldeeltjes in zwavelzuur (H_2SO_4). De lucht waarin schepen op de oceaan zich bevinden is relatief schoon, er is weinig luchtvervuiling door de mens. In de rookpluim van een schip bevinden zich dus veel meer condensatiekernen dan in de omgevende lucht. Waterdamp uit de omgevende lucht wordt naar de rookpluim toe getrokken en bindt zich aan de aanwezige condensatiekernen. Zo ontstaat een wolk achter het schip.

Het onderzoek van scheepswolken heeft uitgewezen dat het aantal waterdruppeltjes per cm^3 in de scheepswolk het dubbele is van wat daarbuiten in de schone lucht wordt gemeten. De diameter van de druppeltjes is 6% kleiner dan in wolken die in relatief schone lucht ontstaan. Als gevolg van het grotere aantal druppeltjes en de kleinere omvang ervan, is de reflectie van een scheepswolk veel groter dan van bewolking in de omringende lucht. Satellietgegevens laten zien dat scheepswolken rond 13% helderder zijn dan gewone wolken.

Als de lucht rondom het schip wél vervuild is zal er nauwelijks aantrekking van waterdamp plaatsvinden door de gassen die het schip uitstoot, omdat er al veel condensatiekernen in de omringende lucht zitten, die zelf ook waterdamp binden. Boven de Middellandse Zee of de Oostzee worden ook geen scheepswolken waargenomen, omdat de lucht boven deze zeeën vanaf het land komt en daardoor al veel condensatiekernen bevat. Bij Noordwestenwind kunnen op de Noordzee wél scheepswolken geregistreerd worden, omdat er dan schone lucht vanaf de Atlantische oceaan wordt aangevoerd.

Het onderzoek naar scheepswolken op de oceaan maakt heel goed duidelijk dat de mens de wolkenvorming beïnvloedt via aerosolen, omdat op de oceaan geen andere versturende menselijke invloeden optreden. Door dit onderzoek komt de rol die aerosolen spelen in de klimaatverandering duidelijk naar voren.

Vliegverkeer



Figuur 38: Vorming van vliegtuigstrepen.



Figuur 39: Vliegtuigstrepen boven een vrijwel wolkenloze hemel, Hengelo op 11 juni 2003.

Een andere belangrijke oorzaak van wolkenvorming in de atmosfeer is het vliegverkeer. De uitlaatgassen van een vliegtuigmotor zijn warm en hebben een hoog gehalte aan waterdamp. De lucht om het vliegtuig heen is erg koud. Koude lucht kan maar weinig waterdamp bevatten en de extra waterdamp, die door het vliegtuig in de lucht wordt gebracht, leidt daarom direct tot het ontstaan van wolken. Deze wolken hebben de vorm van strepen, zoals in figuur 38 te zien is. Door de lage temperatuur op deze hoogte bestaan de vliegtuigstrepen voor een groot deel uit ijskristallen. De streep begint meestal een eindje achter het vliegtuig, omdat de warmte van de uitlaatgassen wolkenvorming dichtbij de motoren belemmert.

De vliegtuigstrepen worden ook wel contrails genoemd, dit is een samenvoeging van de Engelse woorden condensation en trails (sporen). Als de omgevingslucht vochtig is (maar niet vochtig genoeg om zelf wolken te vormen) kunnen de vliegtuigstrepen lange tijd blijven bestaan en wijd uitwaaien.

Het driedaagse vliegverbod boven de Verenigde Staten na de aanslagen van 11 september 2001 heeft nieuwe bewijzen opgeleverd voor de effecten van vliegverkeer op het klimaat. De atmosfeer was in deze dagen vrijwel wolkenloos. Cirrusbewolking die gewoonlijk ontstaat uit condensatiesporen achter vliegtuigen, was er niet. De temperatuurmetingen van deze drie dagen in de VS lieten zien dat

het verschil tussen de dag- en de nachttemperatuur ruim een graad groter was dan normaal. Dus de aanwezigheid van vliegtuigstrepen blijkt het temperatuurverloop over een etmaal met zeker 1 graad te dempen: overdag blijft het aan de grond koeler, terwijl het 's nachts minder afkoelt. Hieruit blijkt hoe groot de invloed van extra bewolking op de temperatuur is.

Wolkenvorming en klimaat

Bij verbranding van fossiele brandstoffen komt naast koolstofdioxide (CO₂) ook zwaveldioxide (SO₂) vrij. Dit laatste bevordert de wolkenvorming, verhoogt de reflectiviteit van de bewolking en onderdrukt de neerslag. Zonlicht dat door bewolking wordt teruggekaatst bereikt het aardoppervlak niet en kan dus niet worden vastgehouden door het broeikaseffect. Dit leidt tot een daling van de temperatuur.

Helaas weegt dit afkoelende effect niet op tegen het opwarmende effect van de broeikasgassen. CO₂ blijft jarenlang in de atmosfeer en verspreidt zich over de gehele aarde.

De opwarming door CO₂ is mondiaal, terwijl het temperende effect van SO₂ slechts lokaal is, want SO₂ heeft een korte verblijfstijd in de atmosfeer, omdat het snel uitregent. Overigens heeft dit laatste weer een ander negatief effect omdat deze neerslag een lage pH heeft: 'zure regen'.

39 Vragen en opdrachten

39.1 Open het Excelbestand in bijlage 5: 'gegevens ballonoplatting in De Bilt' (vergelijk opdracht 28.2 in verdiepingsparagraaf 2).

- a In de tabellen is een kolom te vinden met de dauwpuntstemperatuur. Maak een grafiek voor Suriname waarin je zowel de temperatuur als de dauwpuntstemperatuur uitzet tegen de hoogte. Denk aan de legenda. Gebruik hiervoor ► werkinstructie grafieken maken in de NLT Toolbox.
- b Bekijk de twee lijnen nauwkeurig. Rond welke hoogtes is bewolking te verwachten?
- c In de tabellen is een kolom te vinden met de relatieve luchtvochtigheid. Maak een grafiek voor Suriname waarin je de relatieve luchtvochtigheid uitzet tegen de hoogte.
- d Zal er neerslag vallen uit de bewolking waarvan sprake is in vraag b? Waarom wel of waarom niet?

39.2 Aerosolen hebben indirect invloed op het klimaat via wolkenvorming. Op welke twee manieren kunnen aerosolen het klimaat ook direct beïnvloeden?

4.6 Satellieten

Leerdoelen

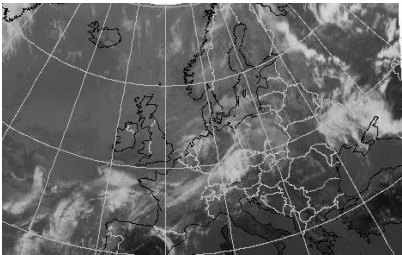
Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- enkele toepassingen noemen van geostationaire en van polaire satellieten
- met behulp van middelpuntzoekende kracht berekenen op welke hoogte boven het aardoppervlak verschillende satellieten moeten draaien
- met behulp van een website van de NASA bepalen wanneer een satelliet overkomt

Aerosolen meten, de ozonlaag in de gaten houden, vervuilende gassen opsporen in de atmosfeer, de hoeveelheid wolken wereldwijd bekijken, de warmtestraling die de aarde uitzendt meten, dat kan niet allemaal vanaf het aardoppervlak. We gebruiken satellieten om te helpen meetgegevens te verzamelen.

Satellieten zijn in twee hoofdgroepen in te delen: *geostationaire satellieten en polaire satellieten*.

In deze verdiepingsparagraaf bestuderen we hoe het komt dat satellieten in een cirkelvormige baan om de aarde blijven draaien; we doen een proefje; we zoeken uit hoe satellieten metingen doen aan bijv. aerosolen, en we ontdekken hoe je kunt weten wanneer een satelliet over je hoofd heen komt.



Figuur 40: wolken boven Noord Europa, gezien vanuit een satelliet.

Geostationaire satellieten

Geostationaire satellieten draaien op grote hoogte (ongeveer 36000 km) boven de evenaar met de aarde mee. Deze satellieten hebben dezelfde omlooptijd als de aarde, ze maken dus 1 rondje per 24 uur. Ze worden vooral voor communicatie-doeleinden gebruikt. Ook veel weersatellieten zijn geostationair. De 'plaatjes' in het weerbericht van de TV-journaals worden gemaakt door geostationaire satellieten.

Polaire Satellieten

Polaire satellieten draaien op veel geringere hoogte (1000 km of minder) cirkelvormige rondjes over de aarde via de beide polen. De meeste maken 14 rondjes per 24 uur. Deze satellieten registreren de elektromagnetische straling die de aarde uitzendt en de elektromagnetische straling die door de atmosfeer/de wolken gereflecteerd wordt. Door de gegevens van de polaire satellieten goed te bestuderen krijgen we veel informatie over wat er op het aardoppervlak én in de atmosfeer gebeurt: ontbossing, stand van zaken met betrekking tot landbouwgewassen, temperatuur, het gat in de ozonlaag, luchtvervuiling door aerosolen enz.

40 Opdrachten

- 40.1 Waarom draait een geostationaire satelliet meestal op zo'n grote hoogte?
- 40.2 Hoe zou een satelliet op zo'n grote hoogte beschadigd kunnen raken?
- 40.3 Je dagelijkse leven wordt beïnvloed door wat geostationaire satellieten doen en meten. Geef minstens drie voorbeelden.

De middelpuntzoekende kracht

Waarom blijven satellieten eigenlijk in een baan om de aarde draaien? En hoe hoog boven het aardoppervlak draaien ze hun rondjes?

Volgens de *1e Wet van Newton* blijft een voorwerp stil staan als het al stil stond, of het blijft *eenparig rechtlijnig* bewegen als het al eenparig rechtlijnig bewoog, tenzij er een (resulterende) kracht F op het voorwerp werkt.

Om een voorwerp in een cirkelbaan te laten bewegen is dus een kracht nodig. Deze kracht heet de *middelpuntzoekende kracht*, F_{mpz} . Als een voorwerp met massa m [kg] ronddraait in een cirkel met straal r [m] en met een snelheid v [m/s], dan geldt voor de grootte van deze kracht [N]:

$$F_{mpz} = \frac{m \times v^2}{r} \quad (25)$$

De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} is een kracht, die er niet 'vanzelf' is. Hij moet geleverd worden door een andere kracht (zoals de zwaartekracht of de elektrische aantrekkingskracht), of door een combinatie van andere krachten.

In het geval van een satelliet die om de aarde draait is de *gravitatiekracht* F_g [N] de kracht die de middelpuntzoekende kracht levert. Voor F_g geldt:

$$F_g = G \times \frac{m \times M}{r^2} \quad (26)$$

G = de gravitatieconstante: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
(zie Binas tabel 7);

r = de afstand [in m] van de satelliet tot het middelpunt van de aarde, en dus ook de straal van de cirkelbaan die de satelliet beschrijft;

m = de massa van de satelliet [in kg]

M = de massa van de aarde [in kg].

Voor de snelheid v [m/s] van een satelliet, die in een cirkelbaan met straal r [m] en met een omlooptijd T [s] rond de aarde draait, geldt uiteraard:

$$v = \frac{2 \times \rho \times r}{T} \quad (27)$$

Als je bovenstaande drie formules met elkaar combineert ($F_{\text{mpz}} = F_g$) kun je de straal van de satellietbaan uitrekenen:

$$r^3 = \frac{G \times M \times T^2}{4 \times \rho^2} \quad (28)$$

de zogenoemde *3e Wet van Kepler*.

In deze laatste formule komt m niet meer voor: de massa van de satelliet is niet van belang voor z'n omlooptijd.



Figuur 41: cirkelbewegingen onderzoeken met een oude pick-up.

41 Proef: de middelpuntzoekende kracht F_{mpz}

Benodigheden

- een oude pick-up (platenspeler), die met $33\frac{1}{3}$, 45 en 78 toeren kan draaien (liefst ook met 16 toeren)
- een liniaal (vastgemaakt aan het midden van de pick-up)
- enkele muntjes.

Werkwijze

- Leg een muntje op de liniaal die vastzit op de draaischijf van de pick-up (zie figuur 41).
- Kies een toerental en laat de pick-up draaien. De liniaal beweegt nu met het muntje in een cirkelvormige baan. Het muntje blijft in z'n baan dankzij F_{mpz} . Deze kracht is er niet 'vanzelf', maar wordt geleverd door een andere kracht. In dit geval door F_w , de *wrijvingskracht*: Er is wrijving tussen het muntje en de liniaal. Als bij een bepaalde afstand r tussen het muntje en het midden van de draaischijf de wrijvingskracht niet groot genoeg is, dan valt het muntje van de ronddraaiende liniaal af (en 'vliegt rechtdoor').
- Zoek bij verschillende toerentalen telkens de grootst mogelijke straal r , waarbij het muntje nog *nèt* blijft liggen.
- Bereken de snelheid v en de F_{mpz} . Ga na of je steeds op dezelfde F_w uitkomt.
- Herhaal je experiment met een ander muntje.

Een rekenvoorbeeld

Je muntje heeft een massa $m = 3,7$ g ; je pick-up draait met 45 toeren; je vindt als de maximale straal, waarbij het muntje nog *nèt* blijft liggen $r_{\text{max}} = 11$ cm.

$$T = \frac{60}{45} = 1,33\text{s} \quad (29)$$

$$v = \frac{2 \times \rho \times r}{T} = \frac{2 \times \rho \times 0,11}{1,33} = 0,52 \text{ ms}^{-1} \quad (30)$$

$$F_{mpz} = \frac{m \times v^2}{r} = \frac{3,7 \times 10^{-3} \times 0,52^2}{0,11} = 9,0 \times 10^{-3} \text{ N} \quad (31)$$

Als het toerental groter wordt, en T dus kleiner, dan wordt r_{\max} ook kleiner.

42 Vragen en opdrachten

42.1 Geostationaire satellieten bevinden zich op ongeveer 36000 km boven het aardoppervlak. Zoek in Binas de straal van de aarde op.

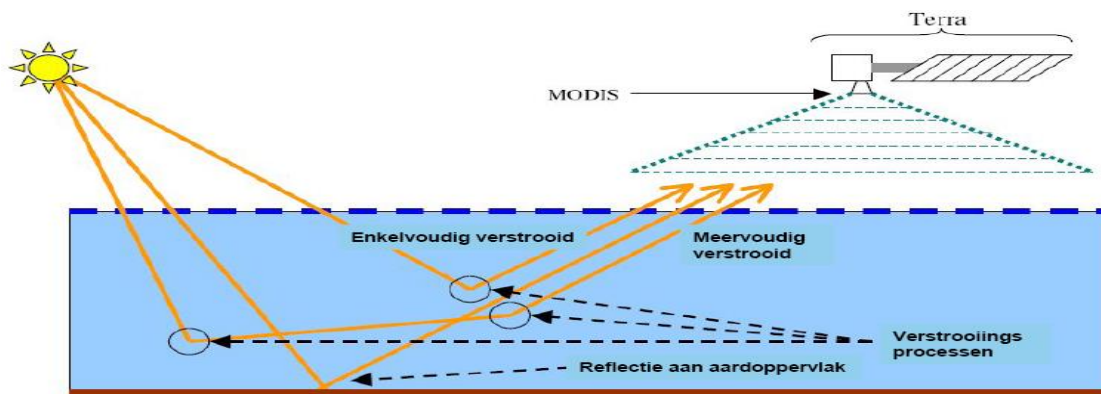
- Bereken de straal r van de omloopbaan van een geostationaire satelliet.
- Bereken de baansnelheid v van een geostationaire satelliet in km/h.

42.2 Leid zelf uit de gegeven formules de 3e Wet van Kepler af.

42.3 Zoek in Binas de massa M van de aarde op en bereken met de 3e Wet van Kepler de straal r van de omloopbaan nu precies.

Tip: houd rekening met de straal van de aarde.

Voor satellieten geldt dit ook: meer rondjes per etmaal om de aarde betekent dat de satelliet dicht boven het aardoppervlak die rondjes draait. Een polaire satelliet, die dicht boven de aarde ronddraait, maakt heel wat meer rondjes per etmaal dan een geostationaire satelliet, die veel verder weg staat.



Figuur 42: Een satelliet meet verstrooid en gereflecteerd zonlicht

Hoe meten satellieten aerosolen?

Satellietinstrumenten doen metingen aan (broeikas)gassen en aerosolen in de aardatmosfeer door het meten van gereflecteerd en verstrooid licht, *radiantie* genoemd. In figuur 44 is te zien waaruit die radiantie bestaat. Een gedeelte van het licht wordt door de atmosfeer verstrooid (enkelvoudig of meervoudig) en een gedeelte wordt direct gereflecteerd door het oppervlak van de aarde. De reflectie en de absorptie van het licht is voor elk gas verschillend.

Anders gezegd: elk gas laat een eigen 'vingerafdruk' achter in het *radiantie-spectrum*.

Ook aerosolen verstrooien licht op een manier die voor elk type aerosol anders is. Figuur 43 laat de 'vingerafdrukken' van een aantal gassen en van aerosolen zien. Op de X-as staat de golflengte uitgezet (logaritmisch) (Let op dat infrarood en ultraviolet in deze figuur als rood resp. violet aangegeven zijn). De witte balkjes geven per gas aan in welk golflengtegebied het gas absorbeert of verstrooit. Op deze manier kunnen uit een radiantiemeting door een satellietinstrument de concentraties van verschillende gassen in de atmosfeer worden bepaald.

In het zonnenspectrum geven de zwarte lijnen (*de Fraunhoferlijnen*) ook aan welke gassen in de buitenste lagen van de zon het zonlicht (dat uit de kern komt) absorberen.

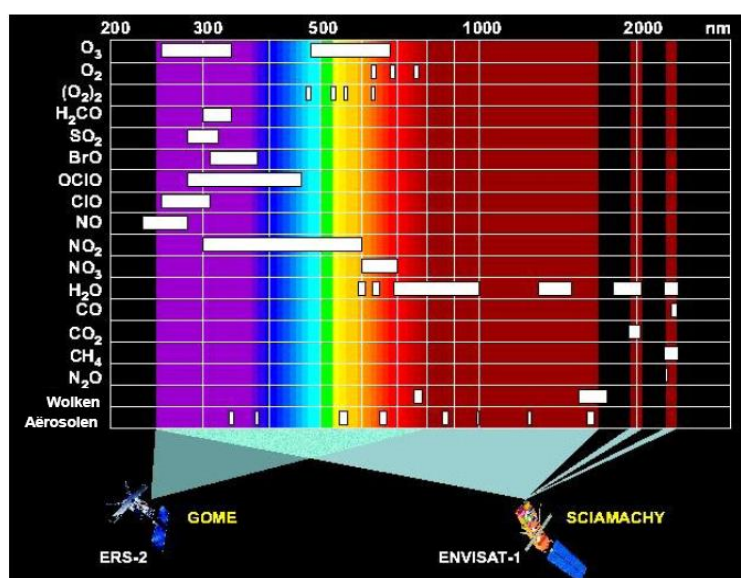
43 Vragen en opdrachten

43.1 Een polaire satelliet maakt 14 rondjes per etmaal.

- Wat is dan de omlooptijd T ?
- Bereken met de 3e Wet van Kepler wat de straal r van de baan van zo'n satelliet is.
- Op hoeveel kilometer boven het aardoppervlak bevindt deze satelliet zich dan?
- Wat is het voordeel van zo'n geringe hoogte?

43.2 Een polaire satelliet heeft na 14 rondjes om de aarde het h ele oppervlak  en keer gemeten. Bij elke overkomst meet de satelliet stroken van een bepaalde breedte. Hoe breed zal  en strook zijn bij de evenaar?

Tip: bedenk eerst wat de omtrek van de aarde bij de evenaar is. (Waarom bij de evenaar?)



Figuur 43: het radiantie-spectrum. Elk gas heeft zijn eigen specifieke plek in dit spectrum.

Satellieten die aerosolen meten

SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CartographY) was een van de tien instrumenten op de Europese milieusatelliet ENVISAT. Deze satelliet draait sinds 2002 op 800 kilometer hoogte rondjes om de aarde. SCIAMACHY deed metingen van verschillende gassen in de atmosfeer, waaronder ozon (O_3) en koolstofdioxide (CO_2) en van aerosolen. Inmiddels werkt SCIAMACHY niet meer.



Figuur 44: de lancering van AURA

Het Ozone Monitoring Instrument (OMI) is een van de vier instrumenten op de satelliet AURA, gelanceerd op 15 juli 2004. AURA maakt dagelijks 14 rondjes om de aarde op een hoogte van 705 km. Bij elke omloop meet OMI een strook met een breedte van 2600 km en zo kan OMI in één dag de hele aarde meten. Daarbij kan OMI een ruimtelijke resolutie bereiken van 13 bij 24 km^2 , d.w.z. dat OMI gebieden, pixels, meet van 13 bij 24 km^2 .

De satellieten TERRA en AQUA hebben allebei een MODIS (Moderate Imaging Resolution Spectroradiometer) aan boord. Beide bevinden zich op een hoogte van 705 km en ze meten de hele aarde in 1 à 2 dagen. MODIS haalt een ruimtelijke resolutie van 10 bij 10 km^2 .

44 Activiteit Wanneer vliegen deze satellieten over jouw school?

De satellieten die aerosolen meten komen dus ook elke dag over jouw school. Als jouw school mee doet (of mee gaat doen) met het GLOBE/KNMI aerosol-meetprogramma, dan doe jij je grondmeting (zie verdiepingsparagraaf 4.7) op het moment dat de satelliet over je school heen 'vliegt'. Je helpt dan het KNMI bij het controleren (valideren) van de satellietmetingen.

Als je school niet meedoet met dit meetprogramma, dan is onderstaand stukje tòch interessant om te ontdekken wanneer satellieten overkomen.

's Nachts kun jij de satelliet wel zien, maar de satelliet meet zelf 's nachts niet, althans geen weerkaatst zonlicht. Je kunt 's nachts bijv. het internationale ruimtestation ISS over zien komen.

Als je zelf een meting vanaf de grond doet, doe je dat bij voorkeur rondom het tijdstip, dat de zon op z'n hoogste punt staat. Het zonlicht legt dan de kortst mogelijke afstand door de atmosfeer af, en de grondmeting is dan het meest betrouwbaar.

Maar...het is ook zinvol om te meten op hetzelfde moment dat de satelliet net het gebied waar jouw school in staat 'fotografeert'. Hoe weet je dat moment?

Werkwijze

Ga naar de website ► zie URL9.

Je krijgt een formulier, dat je moet invullen:

- Selecteer de satelliet met het aerosolinstrument, bijv. AURA of TERRA (zie hierboven).
- Vul de datum in waarvoor je de overvliegtijd wil berekenen
- Vink het vakje 'day' aan (de predictor berekent dan alleen de overvliegtijden bij daglicht)
- Vul hier jouw meetlocatie in.
Breedtegraad = latitude, afgekort lat
Lengtegraad = longitude, afgekort lon

In het voorbeeld hieronder is gevraagd naar een voorspelling voor de TERRA satelliet, voor 7 juli 2015, boven Amsterdam.

Je krijgt de volgende tabel:

GMT		Satellite	Satellite	Viewing	Solar	Relative	Scat ang	Glint	Satellite	Satellite	Dist to	MODIS	MOPIIT	MISR	ASTER				
year	mo	da	hr	mn	sc	azimuth	elevation	zenith	zenith	azimuth	(bk=180)	prob(%)	heading	direction	site (km)	(1165 km)	(320 km)	(180 km)	(30 km)
2015	7	7	10	21	44	99.25	47.66	42.34	33.72	43.69	152.27	0.01	195.56	descend	563.43	+	-	-	-
2015	7	7	11	59	17	61.46	28.63	61.37	29.61	112.56	104.49	0.10	196.86	descend	1029.35	+	-	-	-

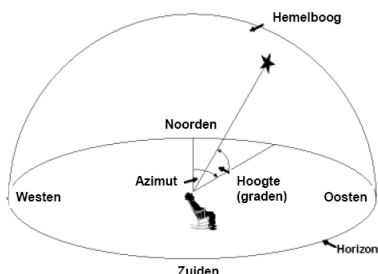
Figuur 45: de tijd van het overvliegen van Terra op 7 juli 2015.

In deze figuur zie je twee berekende overvliegtijden staan voor Amsterdam op 7 juli 2015. TERRA passeert Amsterdam dus 2 keer op deze dag.

In de kolom 'Distance to site', ofwel afstand tot de meetlocatie, zie je dat de satelliet op het tweede tijdstip, 11.59 GMT/UTC (15.59 uur lokale Nederlandse tijd), erg ver verwijderd is van Amsterdam. Dit maakt een goede waarneming van de Amsterdamse atmosfeer lastig. Het eerste tijdstip, 10.21 GMT tijd (12.21 lokale Nederlandse tijd), bevindt TERRA zich dichtbij Amsterdam en heeft het MODIS instrument een goed zicht over Amsterdam.

De eerste kolom na de tijd gaat over het *azimut*. Als je recht vooruit naar het Noorden kijkt (dus naar de noordelijke horizon), dan is het azimut 0° . Deze hoek wordt steeds groter als je naar het Oosten (90°), Zuiden (180°) of Westen (270°) kijkt. Als je buiten staat kun je de hoek ook meten met je vuist: Kijk langs je gestrekte arm naar de horizon, dan is één vuistbreedte ongeveer 10° .

Dus: in de kolom elevation vind je dat op 7 juli 2015, de TERRA satelliet zich om 10.21 op 47° (≈ 5 vuisten) boven de horizon in oostelijke richting (azimuth 99°) bevindt.



Figuur 46: plaatsbepaling van een object aan de hemel vanaf de aarde

45 Vragen en opdrachten

- 45.1 Ga op internet naar ► zie URL10 en zoek gegevens/plaatjes op via Meteosat. Je kunt bijv. plaatjes (in kleur) vinden van de wolken boven Europa van vandaag.
- 45.2 In Binas tabel 20 vind je ook emissie- en absorptiespectra. Zoek naar verschillen en overeenkomsten tussen de spectra in Binas en het radiantie-spectrum in figuur 45. Kijk o.a. naar de golflengtes. Tip: de X-as in het radiantie-spectrum is logaritmisch.
- 45.3 Zoek uit wat Fraunhoferlijnen zijn.
- 45.4 Oefen in de klas met je vuisten, en kijk met hoeveel graden jouw vuist overeenkomt.
- 45.5 Schrijf op wanneer de AURA satelliet de komende week overdag boven je school overkomt op een minimale hoogte van 40° . Geef ook de windrichting aan.
- 45.6 Schrijf op wanneer het ruimtestation ISS de komende week 's avonds of 's nachts op een minimale hoogte van 40° over je huis overkomt. Geef ook de windrichting aan. Probeer, als het onbewolkt is, het ruimtestation te zien.

4.7 GLOBE: meedoen in internationaal aerosolen onderzoek

Leerdoelen

Naast de leerdoelen uit het algemene deel kun je als je dit verdiepingsdeel hebt afgerond ook:

- de verschillende processen benoemen die verantwoordelijk zijn voor de Aerosol Optische Dikte (AOD)
- de GLOBE zonnemeter beschrijven en de werking er van toelichten
- uitleggen waarom meetinstrumenten gekalibreerd moeten worden
- uitleggen waarom metingen met de GLOBE zonnemeter helpen om satellietgegevens te valideren
- het belang uitleggen van uitgebreide langdurige meetcampagnes om betrouwbare voorstellingen over het klimaat te kunnen doen
- de resultaten van de GLOBE zonnemeter interpreteren en vergelijken met de gegevens van GLOBE leerlingen elders op de wereld

Als we meer te weten willen komen over de invloed van aerosolen op de volksgezondheid, dan is het nodig om die aerosolen goed te meten. Het RIVM heeft langs snelwegen en bij industrieterreinen meetinstrumenten staan die meten hoeveel kleine deeltjes daar worden uitgestoten (zie activiteit 4 in paragraaf 3.2). Als we echter geïnteresseerd zijn in de invloed van aerosolen op de stralingsbalans, dan moeten we de hoeveelheid aerosolen in de hele atmosfeer meten, en dus niet alleen dicht bij de grond. Door zonlicht te meten dat door aerosolen wordt geabsorbeerd en verstrooid kunnen we de hoeveelheid aerosolen meten in de gehele atmosfeer.

Meedoen met het KNMI/GLOBE Aerosolen-programma

In Nederland leidt het KNMI de aerosol-meetcampagne. Via het GLOBE programma kunnen scholen meedoen aan deze meetcampagne. Je kunt als groep, als klas, maar ook individueel in het kader van je profielwerkstuk meedoen. Aan het einde van deze verdiepingsparagraaf vind je hier nadere informatie over.

De Aerosol Optische Dikte (AOD)

Licht dringt veel makkelijker door een schone atmosfeer heen dan door een atmosfeer die vervuild is met bijvoorbeeld aerosolen. De aerosolen verstrooien en absorberen licht, waardoor de lucht minder helder wordt. De vervuilde atmosfeer heeft een hogere *optische dikte* dan de schone atmosfeer. De optische dikte van de atmosfeer geeft eigenlijk aan hoe makkelijk licht door de atmosfeer heen dringt. Bij een lage optische dikte dringt licht makkelijk door, bij een hoge

optische dikte dringt licht moeilijk door. De optische dikte van de atmosfeer wordt bepaald door vier verschillende factoren:

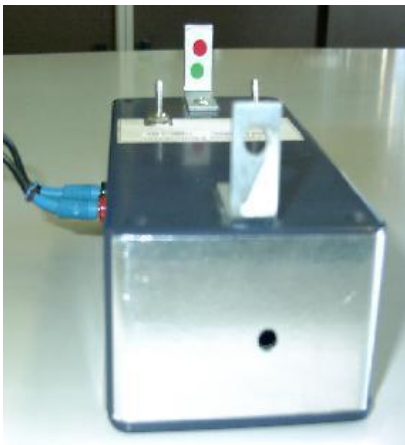
1. Rayleigh verstrooiing (zie proef 17 in paragraaf 3.7)
2. Verstrooiing en absorptie door aerosolen,
3. Absorptie door sporengassen, bijv. ozon,
4. De hoeveelheid gecondenseerde waterdamp.

We kunnen de optische dikte van de atmosfeer bepalen door meting van het zonlicht dat door de atmosfeer heen komt. Als we de bijdrage van de Rayleigh verstrooiing en de ozon-absorptie hiervan aftrekken, dan houden we de bijdrage door aerosolen over. Omdat de verstrooiing door bewolking (de waterdamp) moeilijk te bepalen is, kun je de optische dikte alleen goed meten wanneer het onbewolkt is.

De bijdrage van de aerosolen aan de optische dikte noemen we de Aerosol Optische Dikte (AOD).

De AOD is dus een maat voor de ondoorzichtigheid van de atmosfeer als gevolg van de aanwezigheid van aerosolen.

De AOD van een schone atmosfeer is klein, 0,1 bijvoorbeeld. Van een atmosfeer die sterk vervuild is met aerosolen is de AOD groot, 0,6 bijvoorbeeld. Door meting van de hoeveelheid zonlicht op het aardoppervlak kun je de AOD bepalen van het stuk atmosfeer tussen jou en de zon. Een instrument dat speciaal is ontwikkeld om de AOD te meten is de GLOBE zonfotometer.



Figuur 47: een GLOBE zonfotometer



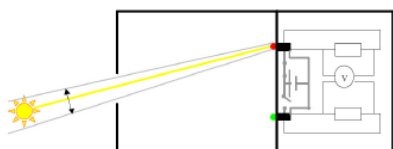
Figuur 48: de binnenkant van de zonfotometer

De GLOBE zonfotometer

De GLOBE zonfotometer is ontwikkeld door wetenschappers die werkzaam zijn bij het GLOBE project in de Verenigde Staten. Het is een eenvoudig te bedienen en niet al te duur apparaat, dat tegen een (klein) stootje kan. De werking van het apparaat is gebaseerd op twee LED's (Light Emitting Diode). In dit apparaat worden de LED's als detectoren gebruikt! Eén LED is vooral gevoelig voor groen licht bij 508 nm en de andere LED vooral voor oranje-rood licht bij 625 nm.

Zodra er zonlicht op één van de LED's valt gaat er een stroom lopen. Hiervoor is wel een aparte stroombron nodig; die wordt geleverd door een 9V batterij. De grootte van de stroom is recht evenredig met de licht-Intensiteit I . De stroom loopt door een weerstand. Met een voltmeter meet je de spanning over die weerstand. Deze spanning, die eveneens recht evenredig is met de Intensiteit, heb je nodig voor de berekening van de Aerosol Optische Dikte (AOD).

In de figuren 47 t/m 49 zie je achtereenvolgens de buitenkant van de zonfotometer, de binnenkant en een schematische voorstelling van de binnenkant. Het zonlicht moet natuurlijk volledig op de LED vallen, maar tegelijkertijd mag er geen ander (strooi-)licht op de LED vallen. Dan meet je immers te veel licht. De LED's zitten daarom in een lichtdicht kastje. De opening aan de voorkant is heel klein (in het



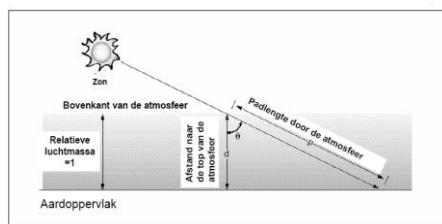
Figuur 49: het schakelschema

schema overdreven groot getekend). Om te zorgen dat het licht precies én volledig op de LED valt is een truc bedacht: bovenop het kastje staat aan de achterkant een plaatje met een rood en een groen cirkeltje, èn een plaatje met een gaatje. Als het zonlicht door het gaatje precies op de rode cirkel valt, dan valt het zonlicht dat door de opening in het kastje gaat, precies op de rode LED! We hebben het meetinstrument dan perfect *uitgelijnd*. Hetzelfde geldt natuurlijk voor het groene cirkeltje en de groen-gevoelige LED.

Het meetprotocol schrijft voor dat je 30 seconden lang meet, en dan de hoogst gemeten spanning noteert. Waarom? Het is onmogelijk om het kastje volkomen stil te houden. Het licht valt dus niet voortdurend echt voor 100% op de LED. Maar gedurende de periode van 30 s was het instrument een deel van de tijd wel perfect uitgelijnd.

Met de zonnemeter meten we een spanning die recht evenredig is met de intensiteit van het (rode of groene) zonlicht. De Intensiteit I wordt gemeten in Wm^{-2} . De Intensiteit geeft dus aan hoeveel energie (in Joule) er per seconde op één m^2 valt.

De Intensiteit hangt af van de golflengte van het licht, dus $I = I(\lambda)$.



Figuur 50: de zonnehoek θ . $\theta = 0^\circ$ als de zon loodrecht boven je staat.

De hoeveelheid zonlicht, die op de LED's in de zonnemeter valt, is afhankelijk van de stand van de zon: hoe hoger de zon staat, hoe meer zonlicht. Daarom moet je de datum, de tijd en de locatie van je meting weten, zodat je de *zonnehoek* θ kunt uitrekenen: zie Figuur 50.

De deeltjes in de atmosfeer zitten niet altijd even dicht bij elkaar: dichtheid en luchtdruk variëren en veroorzaken meer of minder verstrooiing en absorptie.

Om de AOD te berekenen is dus wel wat meer nodig dan alleen de spanning die de zonnemeter aangeeft. We hebben gegevens nodig over de Rayleigh verstrooiing, over de hoeveelheid ozon boven je hoofd, over de luchtdruk en over plaats, datum en tijdstip van de meting. Hoe je al deze grootheden kunt meten wordt uitgewerkt in een meetprotocol. Pas als iedereen die aerosolen meet, op precies dezelfde manier meet, kunnen wetenschappers de uitkomsten goed vergelijken.

46 Proef: Zelf de AOD berekenen

Uit het bovenstaande is duidelijk dat het niet eenvoudig is de AOD zelf te berekenen. In bijlage 8 staat hoe je de AOD berekent aan de hand van alle bovenstaande gegevens. Overleg met je docent of je deze berekening zelf moet proberen te maken.



Figuur 51: een ongekalibreerde thermometer is waardeloos

Model	Wavelength (nm)	Filter	Wavelength (nm)	Filter
02K-001	1.855	1.857	1.861	1.861
02K-001	1.935	1.936	1.936	1.936
02K-001	1.943	1.943	1.943	1.943
02K-001	.....	.....	.....	.....
02K-004	1.946	1.967	1.967	1.967
02K-009	.....	.....	.....	.....
02K-009	1.989	1.989	1.989	1.989
02K-007	1.993	1.993	.....	.....
02K-008	2.017	1.989	1.989	1.989
02K-005	1.110	1.420	1.420	1.420
02K-010	0.690	0.690	0.690	0.690
02K-011	1.019	0.951	.....	.....
02K-012	1.485	0.857	0.857	0.857
02K-014	1.000	0.667	0.667	0.667

Table 30. Calibration constants and units of GLOBE Sun photometers used in the GLOBE Aerosol Monitoring project.

Figuur 52: Kalibratie-constanten voor zonfotometers van scholen in Nederland.

Kalibratie

Instrumenten die wetenschappers gebruiken moeten overal op de wereld dezelfde waarden aangeven. Je vergelijkt een nieuw instrument hiervoor met een ‘standaardinstrument’.

Dit hele proces noemen we het kalibreren van meetinstrumenten.

De zonfotometers die door verschillende scholen gebruikt worden, moeten ook gekalibreerd zijn. De LED's in elke zonfotometer zijn anders. De weerstanden, waarover de spanning ontstaat die je uiteindelijk meet met de zonfotometer, zijn verschillend: de kleurcodes op een weerstand geven o.a. de tolerantie aan; dit is het percentage dat de weerstandswaarde kan afwijken van de waarde, die je verwacht (zie eventueel Binas tabel 16E).

Ook de positie van de LED's in het kastje, de grootte van het gaatje aan de voorkant en nog meer factoren kunnen verschillend zijn voor de verschillende zonfotometers.

In figuur 52 zie je een tabel met Kalibratie-constanten voor een aantal zonfotometers, die op Nederlandse scholen in gebruik zijn. Voor het groene kanaal moeten andere constanten gebruikt worden dan voor het rode kanaal, omdat het twee verschillende detectoren (LED's) zijn.

Validatie

Na de lancering is een satelliet op zichzelf aangewezen. Niemand kan meer een knopje aan of uitzetten, of een metertje een beetje verdraaien. *Hoe* de satelliet meet kan dus niet meer worden veranderd. *Wat* een satelliet meet kan in zekere zin nog wel worden aangepast. Als je heel precies bent, is het namelijk onjuist om te zeggen dat een satelliet meet welke stoffen er in de atmosfeer zitten (omdat de satelliet alleen licht meet). Pas met een berekening op basis van de metingen kun je de concentratie van de stoffen in de atmosfeer bepalen. Die berekeningen zijn meestal niet vanaf het begin optimaal, ze kunnen vaak nog verbeterd worden (dit kan jarenlang doorgaan). Daarom vergelijkt men deze berekeningen aan satellietmetingen met (berekeningen aan) metingen vanaf de grond. Dit noemen we *satellietvalidatie*.

Het KNMI vergelijkt o.a. de gegevens van de satelliet instrumenten MODIS en OMI met de gegevens van middelbare scholen in Nederland die meedoen aan het GLOBE Programma ► zie URL11.

47 Vragen en opdrachten

- 47.1 Waarom is het niet voldoende om met de zonfotometer maar bij één kleur licht te meten?
- 47.2 Maak een lijst met alle grootheden én eenheden, die nodig zijn om de AOD te berekenen.
- 47.3 Noem nog drie meetinstrumenten uit het dagelijks leven, die gekalibreerd moeten zijn vóór je ze kan gebruiken

Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

*Figuur 53: KNMI: Koninklijk
Nederlands Meteorologisch
Instituut*

Bijna iedere Nederlander kent het KNMI van de weersverwachting. Het uitgeven van weersverwachtingen wordt tegenwoordig in Nederland niet meer alleen door het KNMI gedaan, maar ook door commerciële organisaties zoals Weathernews en MeteoConsult. Deze organisaties krijgen de gegevens die nodig zijn voor het maken van een weersverwachting van het KNMI. Daarnaast wordt er bij het KNMI veel onderzoek gedaan naar het weer, om het weer beter te leren begrijpen en beter te kunnen voorspellen. Ook doet het KNMI klimaatonderzoek.

Bij klimaatonderzoek wordt minder gekeken naar specifieke situaties en momenten (Regent het morgen wel of niet in je woonplaats?) en meer naar het weer op de lange termijn en naar gemiddeldes over grote gebieden (zal het de komende tien jaar warmer of kouder worden in West-Europa?). Zoals je in deze module hebt kunnen leren, zijn er veel factoren van invloed op het klimaat. Aerosolen zijn één factor, de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer is een andere heel belangrijke. Omdat de meeste van die factoren elkaar beïnvloeden is het maken van een goed model voor het klimaat zeer ingewikkeld. Factoren kunnen elkaar versterken of juist verzwakken. Het is erg belangrijk voor de wetenschappers om het model dat zij ontwikkelen, telkens te vergelijken met metingen en waarnemingen. Daarom worden er overal in de wereld gegevens verzameld over neerslag, temperatuur, intensiteit van het zonlicht enz. Dat zijn altijd metingen van één bepaalde plek. Alles bij elkaar best veel, maar niet genoeg om het klimaat goed te kunnen bestuderen. Daarom worden er ook metingen verricht met satellieten. Het is vaak veel ingewikkelder om op basis van satellietmetingen tot nauwkeurige gegevens te komen dan op basis van metingen vanaf de grond. Daar staat tegenover dat het grote voordeel van een satelliet is dat die in één dag metingen kan verrichten over de hele aarde. Het KNMI vindt het daarom belangrijk om ook betrokken te zijn bij het ontwikkelen van steeds betere satellietinstrumenten die de verschillende gassen en stoffen in de atmosfeer nog beter kunnen meten.

Het GLOBE Programma

Het GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment) Programma is een internationaal wetenschaps- en onderwijsprogramma, opgericht in 1995 door de toenmalige vice-president van de Verenigde Staten, Al Gore. Momenteel draait het GLOBE programma in 115 landen. Het doel van het GLOBE Programma is scholieren te betrekken bij praktische wetenschap. Ze doen wetenschappelijk relevante metingen aan de atmosfeer (zoals druk, temperatuur, luchtvochtigheid, aerosolen en UV-straling), aan de bodem (zoals bodemprofiel, vochtigheid, vruchtbaarheid, bodemademhaling, bodemmacrofauna), aan het water (pH,

geleidbaarheid, doorzichtigheid, hoeveelheid zuurstof, waterflora en -fauna) en aan de invloed van klimaatverandering op de groei van bomen en planten (eerste knoppen, groei per jaar). Door mee te doen met het GLOBE Programma leer je hoe je gegevens moet verzamelen, verwerken en analyseren in grafieken en tabellen, en uitwisselen via internet met andere scholieren. Je hebt bovendien contact met wetenschappers wereldwijd.

In Nederland doen al vanaf 1995 scholen mee met het GLOBE programma. Het aantal is gestaag gegroeid. Het Nederlandse programma wordt gecoördineerd door Stichting GLOBE Nederland. Meer info is te vinden op de Nederlandstalige GLOBE website ► zie URL11.

Bijdragen aan het satellietonderzoek

Je kunt vanuit school ook je bijdrage leveren aan het klimaatonderzoek bij het KNMI. Door aerosolen te meten met de GLOBE zonfotometer help je het KNMI aan belangrijke gegevens. De gegevens worden gebruikt voor *satellietvalidatie*. Satellietvalidatie is het vergelijken van metingen van een satelliet met metingen vanaf de grond. De reden dat je grondmetingen en satellietmetingen met elkaar wilt vergelijken is dat het eigenlijk een ander soort metingen zijn, hoewel ze toch dezelfde informatie moeten opleveren (bijvoorbeeld hoe groot de AOD is op een bepaalde plek, of hoeveel ozon er is boven Nederland).

Waarin verschilt een satellietmeting dan van een grondmeting? Bij de meeste soorten grondmetingen is het zo dat je vanaf de grond het directe zonlicht meet. Je meet hoe fel of hoe zwak het licht van de zon is door je instrument op de zon te richten. Hoe zwakker het licht, hoe meer gassen en stoffen er in de lucht zitten (dit kwam al eerder in deze paragraaf aan de orde). Uiteindelijk bereken je dus hoeveel stoffen en gassen er in de lucht zitten door een meting van het licht op de lijn van het meetinstrument naar de zon. Strikt genomen moet je niet spreken over een lijn, maar over een zeer dunne bundel.

Een satelliet werkt heel anders. Ten eerste zit een satelliet boven de atmosfeer, in plaats van eronder, en 'kijkt' hij dus naar beneden. Het licht dat de satelliet meet is het zonlicht dat in de atmosfeer of aan het aardoppervlak verstrooid wordt. Het is voor wetenschappers veel ingewikkelder om op basis van deze meting te berekenen hoeveel stoffen of gassen zich in de atmosfeer bevinden. Bovendien meet een satelliet niet in een lijn (zoals je doet vanaf de grond), maar de satelliet 'kijkt' naar een bepaald oppervlak (ter grootte van de pixel van een satelliet) op de aarde en meet het licht dat uit die richting komt. Zodoende wordt de gemiddelde AOD over die pixel bepaald. Een pixel van het satellietinstrument OMI is op zijn kleinst 13 bij 24 km².

Het mooiste zou zijn als je een gebied dat zo groot is als één pixel helemaal vol had staan met instrumenten die tegelijk met de satelliet vanaf de grond meten. Dan zou je pas echt kunnen vaststellen hoe

goed de satellietmeting overeenkomt met grondmetingen. Helaas is dit praktisch en financieel onmogelijk. Meestal zijn er hooguit een paar metingen vanaf de grond die met de satellietmetingen vergeleken kunnen worden.

Via de website van het KNMI GLOBE-aerosolenproject (► zie URL5) kun je de meetgegevens vinden van de verschillende scholen in Nederland die aan het project deelnemen. Ook zijn de OMI aerosolmetingen er te vinden. Voor elke school is er een zogenaamde 'overpassfile' met daarin precies die OMI pixel waarin de school staat. Er is niet voor iedere dag een meting te vinden omdat OMI niet kan meten bij teveel bewolking. Al vanaf 10% bewolking in een pixel is het niet mogelijk om nog goed de AOD te bepalen. Omdat er in Nederland weinig van zulke ideale meetdagen zijn is het voor het project belangrijk dat de GLOBE-metingen als het weer het toelaat ook echt worden gedaan. Bovendien is het belangrijk dat je meet tijdens (of vlak voor/na) de overkomst van de AURA satelliet met het OMI instrument. De reden is dat je anders niet dezelfde luchtmassa meet als de satelliet. Omdat er voortdurend veranderingen plaatsvinden in de lucht kan de hoeveelheid aerosolen behoorlijk variëren van het ene tijdstip tot het andere. Het heeft daarom weinig zin om een satellietmeting van 1 uur 's middags te vergelijken met een grondmeting van 11 uur 's ochtends.

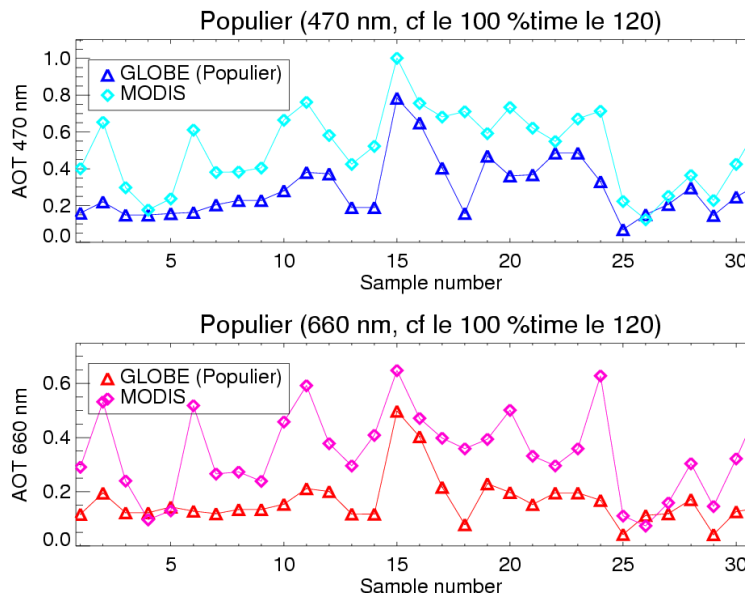
Meedoen aan het KNMI GLOBE-aerosolenproject?

Lijkt het je interessant om zelf bij te dragen aan het onderzoek naar het klimaat? Je kunt meedoen aan het aerosolenproject. Dat kan via je school, als je docent jullie school heeft aangemeld bij GLOBE, of in de vorm van een profielwerkstuk. Zo kun je zelf leren hoe je echt wetenschappelijk onderzoek moet doen, en wat daarbij komt kijken. Als je onderzoek doet, is het belangrijk dat je een goede onderzoeksvraag formuleert. Een voorbeeld van zo'n vraag is: "Hoe hangt de AOD boven mijn school af van de richting van de wind?", of: "Hoeveel wijken mijn grondmetingen gemiddeld af van de metingen van een satelliet?". Als je hiermee aan de slag gaat, zul je merken dat deze vragen eenvoudig lijken, maar moeilijk te beantwoorden zijn. Mocht je niet genoeg metingen hebben verricht om goed antwoord te kunnen geven op je onderzoeksvraag (bijvoorbeeld omdat het weer niet mee zat), dan kun je altijd nog via de KNMI GLOBE-website kijken naar de metingen van alle andere deelnemende scholen.

Als je besluit om aan het project mee te doen, overleg dan met je docent. Je docent kan zich aanmelden via de website ► zie URL11. Hij/zij krijgt dan een wachtwoord waarmee meetgegevens kunnen worden doorgegeven en bekeken. Ook kan de docent voor jou een leerlingenaccount aanmaken zodat je zelf gegevens kunt doorgeven. Deelname aan het GLOBE Programma kost de school een jaarlijks bedrag.

48 Vragen en opdrachten

- 48.1 Ga naar de website ► zie URL5. Klik op 'meetresultaten', en dan op .png bij een school, waar redelijk veel metingen gedaan zijn:
- Welke gegevens staan er allemaal vermeld bij de 'meetserie'.
 - Welke informatie kun je uit de 'grafiek' halen?
 - Wat betekent: de AOD is 0,7 ?
 - Welke informatie levert de 'overpass file'?
- 48.2 Ga naar de website ► zie URL12. Ga naar 'community' en achterhaal of jouw school al meedoet.
- 48.3 Ga naar ► zie URL13 en word vriend van de GLOBE Facebook. Je blijft op de hoogte van alle nieuws rondom GLOBE en kunt zelf ook foto's en berichten posten.



Figuur 54: een vergelijking tussen metingen gedaan door scholieren (met de GLOBE Zonfotometer) en door een satellietinstrument.

EXTRA

- 49.1 Doet jouw school al mee met het KNMI/GLOBE meetprogramma, overleg dan met je docent of je ook metingen kunt doen met de zonfotometer. Uitgebreide info over werking van de zonfotometer en het invoeren van de gegevens is te vinden op ► zie URL11.

5 Informatiebronnen

Literatuur:

Berendsen, H.J.A. (1998) De vorming van het land. Van Gorcum & Comp. Assen. 293 pp.

Berendsen, H.J.A. (2000) Landschap in delen. Overzicht van de geofactoren. Van Gorcum & Comp. Assen. 320 pp.

Berendsen, H.J.A. (2000) Fysisch geografisch onderzoek. Van Gorcum, Assen. 214 pp.

Boxel, J.H. van en Zuylen, G.F.A. van (1989) Klimatologie I voor fysisch geografen. Syllabus Universiteit van Amsterdam.

Boxel, J.H. van (1994) Klimatologie II, warmtebalans van het aardoppervlak en straling. Syllabus Universiteit van Amsterdam.

Dorland, R. van en Geurts, H. (2005) Klimaatverandering. Kosmos Z&K Uitgevers, Utrecht. 128 pp.

Dragt, H. en Hofland, W.A. (1985) De Geo Geordend Basisboek. Meulenhoff Educatief, Amsterdam. 244 pp.

Floor, K. (2003) De verklaring van scheepswolken, openluchtlaboratorium voor wolkenfysici. In: Schip en Werf de Zee.

Floor, K. (2004) Weerkunde, meteorologie voor iedereen. KNMI. 160 pp.

Rahmstorf, S. (2006) Thermohaline Ocean Circulation. In: Encyclopedia of Quaternary Sciences, Edited by S. A. Elias. Elsevier, Amsterdam. 10 pp.

Zuhmdahl, S.S. (1993) Chemistry. D.C. Heath & Co. Lexington. 1123 pp.

Internetsites:

[http://www.rivm.nl/gezondheidenmilieu/themas/Luchtvervuiling/luv
oeffectgezondheid/](http://www.rivm.nl/gezondheidenmilieu/themas/Luchtvervuiling/luv
oeffectgezondheid/)

<http://calipsooutreach.hamptonu.edu>

<http://climate.gsfc.nasa.gov>

<http://earth.rice.edu>

<http://www.kennislink.nl>

<http://www.knmi.nl>

<http://www.wikipedia.com>

<http://steljevraag.nl>

Bijlage 1: maand- en jaargemiddelden temperatuur, De Bilt

De maand- en jaargemiddelde temperaturen (in °C) in De Bilt vind je in een Excel-bestand dat je van je docent krijgt of van het ► vaklokaal NLT kunt downloaden

Bijlage 2: externe data (gegevens) importeren in Excel

Om externe gegevens bruikbaar in Excel te krijgen zijn een aantal handelingen nodig. Simpelweg kopiëren en plakken levert in de meeste gevallen een niet werkbaar Excel-werkblad. Alle data staat dan eigenlijk in een cel geplakt en daarmee kan in Excel niets gedaan worden. Data uit een bestaand Excel-werkblad kopiëren en plakken werkt natuurlijk wel.

Om de KNMI-data geschikt te maken om in Excel te importeren moeten de volgende handelingen worden uitgevoerd:

- Vraag op de KNMI site de gewenste data op. Dit doe je door op de link [Klimatologie/Verleden weer](#) onder het kopje 'Klimaat' te klikken. Dan klik je op [Maandwaarden van KNMI stations](#) onder het kopje 'Databestanden met tijdreeksen van stations' te klikken.
- Als je de gewenste data gekozen hebt, verschijnt er een document met rijen en kolommen data. De kolommen zijn middels komma's en tabs van elkaar gescheiden, het is heel belangrijk hier goed naar te kijken omdat je straks moet aangeven hoe de kolommen van elkaar gescheiden zijn.
- Sla het geopende document met data (via bestand, opslaan als; of via alles selecteren en kopiëren) op in een makkelijk terug te vinden locatie in je eigen directory. Je kunt het bestand een andere voor jezelf handigere naam geven als je er maar voor zorgt dat de extensie (bijvoorbeeld .txt) hetzelfde blijft.
- Open in Excel een nieuw (leeg) werkblad.
- Klik in de menubalk onder 'Data', 'Externe gegevens importeren' op 'Gegevens importeren'. Er verschijnt nu een menu 'Gegevensbron selecteren'.
- Zoek en selecteer het opgeslagen databestand. Soms moet je in het venstertje 'Bestandstypen' onder in het menu 'Alle bestanden' selecteren.
- Nu open je het databestand door hierop dubbel te klikken. Je krijgt dan de Wizard 'Tekst importeren' te zien. In het venster kan je het document zien en hier doorheen scrollen.

- Klik in het rondje 'Gescheiden', de kolommen werden immers gescheiden door komma's en tabs.
- Klik op 'Volgende'. In het volgend menu selecteer je naast het vakje 'Tab' ook het vakje 'Komma'. Je ziet nu in het venster dat de kolommen door lijnen gescheiden worden.
- Klik op 'Volgende'.
- Klik in het volgende menu op 'Voltooien'.
- In het menu dat nu verschijnt kun je aangeven waar je de data wilt hebben in het Excel werkblad. Je kunt er ook voor kiezen de data in een nieuw werkblad te plaatsen. Als het goed is had je al een leeg werkblad geopend, dus klik op 'OK'.
- Nu zijn je data in Excel klaar voor gebruik.
- Zoals je in de tekst boven de dataset kunt zien (MAAND- en JAARGEMIDDELDE TEMPERATUREN (0.1 graden Celsius)), zijn de temperaturen in 0,1 graden Celsius weergegeven. Dus deel alle door jou te gebruiken kolommen nog door 10!
- LET OP: in sommige jaren (tijdens de Tweede Wereldoorlog bijv.) ontbreken bepaalde gegevens. Zorg dat er dan géén '0' of zoiets staat in de kolom temperaturen, maar 'delete' de '0'. Pas op dat je het jaartal wel laat staan. In je grafiek krijg je op deze plek later een 'gat'; dat geeft niet.
- Je kunt nu verder zoals bij Activiteit 9 in paragraaf 3.4 staat.

Lukt het niet of snap je iets niet, vraag dan de docent of ICT-medewerker op school om hulp.

Bijlage 3: tabel bij proef 22

Code	locatie	Voorspelling vuilheid	Weer / bijzonderheden	Vuilheid
A				
B				
C				
Enz.				

Figuur 55: tabel voor invullen resultaten proef 22.

Bijlage 4: Gegevens ballonoplating in De Bilt

De gegevens van de ballonoplating in De Bilt vind je in een Excelbestand dat je van je docent krijgt of van het ► vaklokaal NLT kunt downloaden

Bijlage 5: tabellen bij proef 33

	Gereflecteerd licht (lux)	Albedo	Gereflecteerd licht (2)	Albedo (2)
Wit papier				
Zwart papier				
...				
...				
...				

Figuur 56: tabel voor invullen resultaten proef 33.

	Meetafstand (cm)	Lichtsterkte (lux)
Lamp 1		
Lamp 2		
Buitenlicht		

Figuur 57: tabel voor invullen resultaten proef 33.

Bijlage 7: tabel bij proef 34

	Luxmeter (lux)	Thermometer (⁰ C)
Zonder deksel		
Met doorzichtige deksel		
Met witgekalkte deksel		

Figuur 58: tabel voor invullen resultaten proef 27.

Bijlage 8: het berekenen van de Aerosol Optische Dikte

(bij verdiegingsparagraaf 7)

De totale atmosferische optische dikte a

Rayleigh verstrooiing, absorptie door ozonmoleculen én verstrooiing en absorptie door aerosolen dragen alledrie bij aan de grootte van de optische dikte a .

We kunnen schrijven:

$$a_{\text{totaal}} = a_{\text{Rayleigh}} + a_{\text{ozon}} + a_{\text{aërosol}} \quad (32)$$

De grootte van de Rayleigh verstrooiing hangt af van de luchtdruk: hoe groter de luchtdruk, hoe meer moleculen, hoe meer Rayleigh verstrooiing. Bij de standaardluchtdruk op zeeniveau (p_0 ; in Binas tabel 7 vind je $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa}$) geldt $a_{\text{Rayleigh}} = 0,145$ bij 508 nm en $a_{\text{Rayleigh}} = 0,060$ bij 625 nm.

In het algemeen is de omgevingsdruk p niet gelijk aan de standaarddruk p_0 , en moeten we a_{Rayleigh} nog corrigeren met een factor p/p_0 .

Je kunt dan ook schrijven:

$$a_{\text{Rayleigh}} = 0,145 \times p / p_0 \text{ bij } 508 \text{ nm} \quad (33)$$

en

$$a_{\text{Rayleigh}} = 0,060 \times p / p_0 \text{ bij } 625 \text{ nm} \quad (34)$$

In Nederland kan p variëren tussen 950 mbar (lagedrukgebied) en 1050 mbar (hogedrukgebied).

De relatieve luchtmassa m

Afhankelijk van het tijdstip op de dag, van de dag van het jaar én van de positie van de waarnemer legt het zonlicht een kortere of langere afstand door de atmosfeer af. Deze afstand noemen we *het lichtpad door de atmosfeer*. We gebruiken hiervoor het symbool m .

Als je *nét* buiten de atmosfeer zou meten, dan is het lichtpad 0 ($m = 0$); als de zon loodrecht boven je hoofd staat (in Nederland komt dat nooit voor, tussen de keerkringen wel), dan geldt $m = 1$.

In alle andere gevallen is $m > 1$. Je kunt m precies berekenen met je goniometrische formules als je de zonnehoek θ weet. Er geldt

$$m = \frac{1}{\cos \theta} \quad (35)$$

Met programmaatjes op internet kun je θ berekenen. Kijk op internet:
 ► zie URL14 .Vul de plaatscoördinaten, de datum en de tijd precies in, en je vindt $\cos(\theta)$.

De Wet van Lambert-Beer

De Wet van Lambert-Beer geeft aan hoe je de intensiteit I van een lichtbundel moet berekenen, die (gedeeltelijk) wordt uitgedoofd in een medium door de optische dikte van dat medium. In de scheikunde wordt deze wet geregeld gebruikt. Zie Binas tabel 37E.

Om de AOD te berekenen gebruiken we de wet in een vergelijkbare vorm:

$$I = I_0 \times e^{-a \cdot m} \quad (36)$$

I_0 = de oorspronkelijke intensiteit, dus buiten de aardse atmosfeer, en

A = a_{totaal} uit vergelijking 32.

De functie is een exponentiële functie met grondgetal e .

Als je $m = 0$ invult, komt er uit:

$$I = I_0 \times e^{-a \cdot 0} = I_0 \times 1 = I_0 \quad (37)$$

zoals te verwachten was.

We noemen $e^{-a \cdot m}$ wel de uitdovingsfactor.

In paragraaf 4.7 hebben we gezien dat de spanning U van de zonfotometer recht evenredig is met de intensiteit I . We kunnen dan ook vergelijking 36 herschrijven:

$$U = U_0 \times e^{-a \cdot m} \quad (38)$$

Als je het gaatje in de zonfotometer bedekt, meet je toch nog een héél kleine spanning. We noemen dit de donkerspanning U_d . We moeten de gemeten spanning U hiervoor corrigeren (waarom?). De wet van Lambert-Beer wordt nu:

$$U - U_d = U_0 \times e^{-a \cdot m} \quad (39)$$

U_0 heet de extraterrestrische (ET, buiten-aardse) constante. Dit is de kalibratie-constante.

Het berekenen van de AOD

We berekenen nu de AOD voor het groene kanaal met de volgende gegevens:

$p = p_0 = 1013$ mbar, dus $a_{\text{Rayleigh}} = 0,145$

aozon = 0,05 (deze waarde hangt af van de hoeveelheid ozonmoleculen. Je kunt die niet zelf berekenen)

$\theta = 55,0^\circ$, dus $m = 1/\cos(55,0^\circ) = 1,74$

$U_0 = 1,906$ V, zie de tabel in verdiepingsparagraaf 7 (kijk bij RGK-201).

$U_d = 0,005$ V

en je meet als hoogste waarde in 30 s: $U = 0,950 \text{ V}$.

Nu vullen we in vergelijking 39 U , U_d , U_0 en m in:

$$0,950 - 0,005 = 1,906 \times e^{-a \cdot 1.74} \quad (40)$$

Dan vind je $a_{\text{totaal}} = 0,403$

Tenslotte kun je in vergelijking 32 a_{Rayleigh} , a_{ozon} en a_{totaal} invullen:

$$AOD_{\text{groen}} = 0,403 - 0,145 - 0,05 = 0,208 \quad (41)$$

De lucht is niet echt schoon, maar ook niet ernstig met aerosolen vervuild!!

Opdrachten

- 1 Leg uit waarom geldt dat $1000 \text{ hPa} = 1000 \text{ mbar}$.
- 2 Bereken de Rayleigh optische dikte bij 508 nm voor $p = 980 \text{ mbar}$, 1040 mbar en 1013 mbar .
- 3 Leid de formule voor m af met behulp van de figuur hiernaast
- 4 Reken bovenstaand voorbeeld na.
- 5 Zoek de plaatscoördinaten (NB én OL) van jouw school op.
- 6 Zoek met het bovengenoemde programma op internet (URL14) $\cos(\theta)$ voor het tijdstip dat je deze opdracht maakt (dit moet wél overdag zijn!); bereken m ; bereken de AOD_{groen} met verder de waarden uit het voorbeeld hierboven.
- 7 Bereken met jouw waarde voor m nu ook de AOD_{rood} . Neem $U = 0,875 \text{ V}$ en $U_0 = 1,579 \text{ V}$.
- 8 Heeft jouw school een zonfotometer? Doe dan tijdens de les een echte meting en bereken de beide AOD's.

Bijlage 9: URL's

- ▶ URL 1 RIVM, ongevalideerde meetresultaten
<http://www.lml.rivm.nl/>
- ▶ URL 2 KNMI
<http://www.knmi.nl/>
- ▶ URL 3 Milieudefensie,
<https://milieudefensie.nl/luchtkwaliteit/hoe-vervuild-is-de-lucht-in-mijn-sstraat>
- ▶ URL 4 Kennislink, publicatie klimaatgevolgen uitbarsting vulkaan
<http://www.kennislink.nl/publicaties/klimaatgevolgen-uitbarsting-ijsland-beperkt>
- ▶ URL 5 KNMI, de GLOBE Aerosolen Meetcampagne
<http://www.knmi.nl/globe/index.html>
- ▶ URL 6 RIVM, Nationale atlas volksgezondheid
<http://www.zorgatlas.nl/gezondheid-en-ziekte/sterfte/totale-sterfte/totale-sterfte-per-ggd-regio-2005-2008/> periode 2005-2008
- ▶ URL 7 RIVM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
www.rivm.nl, maar nu zoeken onder Thema's: Milieu en Leefomgeving: Lucht: onder aan pagina: fijn stof.
- ▶ URL 8 KNMI, film ontwikkeling ozongat 2006
http://www.knmi.nl/omi/publ-nl/metingen/ozone/ozongat_film.html
<http://tinyurl.com/knmi-ozongat>
- ▶ URL 9 Earth observatory nasa, Satellite Overpass Predictor
<http://cloudsgate2.larc.nasa.gov/cgi-bin/predict/predict.cgi>
- ▶ URL 10 KNMI, KNMI Operationeel Datacentrum (KODAC)
<https://data.knmi.nl/portal/KNMI-DataCentre.html>
- ▶ URL 11 Het GLOBE Programma in Nederland
www.globenederland.nl
- ▶ URL 12 Internationale website van het GLOBE Programma
www.globe.gov
- ▶ URL 13 Facebook pagina van het GLOBE programma,
<https://www.facebook.com/TheGLOBEProgram>
- ▶ URL 14 NOAA Surface Radiation Research Branch, Solar Position Calculator
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>
- ▶ URL 15 Kennislink: wetenschappelijke informatie voor scholieren
<http://www.kennislink.nl>

- ▶ URL 16 Milieuloket
<http://www.milieuloket.nl>
- ▶ URL 17 Milieu- en Natuurplanbureau dossier fijn stof
<http://www.pbl.nl/>
- ▶ URL 18 ministerie van Infrastructuur en Milieu
<http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ienm#ref-vrom>