Lessamenvatting aërosolen en vuile lucht

<u>Wat zijn aërosolen?</u>

- vaste of vloeibare deeltjes die in de lucht zweven
- diameter tussen 10nm en 100um
- type aërosolen
    - stof (diameter groter dan 1um)
    - roet (diameter kleiner dan 1um)
    - sulfaat (diameter kleiner dan 1um)
    - zeezout (diameter groter dan 1um)
    - organisch (diameter kleiner dan 1um)
- concentraties variëren (per cm^3 paar honderd tot miljoen deeltjes)
    - tijdstip dag
    - plaats op aarde
    - lengte van tijd dat een aërosool in de atmosfeer blijft
    - sterk vervuild woongebied
    - onbewoond gebied
    - brand
    - regenbui
    - harde wind
- voorbeelden van aërosolen
    - bosbranden (roet en organisch materiaal)
    - woestijnzandstormen (stof)
    - industrie (sulfaat en roet)
    - verbranding fossiele brandstoffen door autoverkeer (roet)
    - zee (zeezout)
    - vulkaanuitbarstingen (stof en sulfaat)
- alle type aërosolen behalve zeezout (natuurlijk) kunnen zowel natuurlijk zijn als antropogeen (door menselijke activiteit)
- antropogene aërosolen zijn in te schatten met behulp van
    - satellietmetingen
    - aerosolmodellen
    - informatie over bosbranden, landbouwactiviteit en industriële activiteit
- grootste massa's aan aërosolen in de atmosfeer komt door woestijnzand
- het langst in de lucht blijven hangen de aërosolen die vrijkomen bij vulkaanuitbarsting (boven 10km in de stratosfeer)
- aërosolen hebben grote invloed op het klimaat
    - spelen een rol bij wolkenvorming
    - dragen bij aan broeikaseffect
    - weerkaatsen zonlicht de ruimte in
- aërosolen hebben invloed op de gezondheid
    - fijn stof (vaste deeltjes kleiner dan 10um) dringen diep de longen in (ademhalingsproblemen)
- aërosolen worden gemeten door hun effect op het absorberen of weerkaatsen van licht
    - absorptie van zichtbaar licht plus

        - absorptie van infrarood licht (vooral roet)
        - absorptie van ultraviolet licht (vooral stofdeeltjes)
    - gemeten vanaf de grond of m.b.v. satellieten
        - satelliet kan boven alle plaatsen meten
        - waarnemer vanaf de grond nauwkeuriger en kan eerde inspelen op onverwachte situaties
    - meten door verzamelen luchtmonsters m.b.v. snuffelpalen

<u>Vuile lucht</u>

Vuile lucht is slecht voor de gezondheid

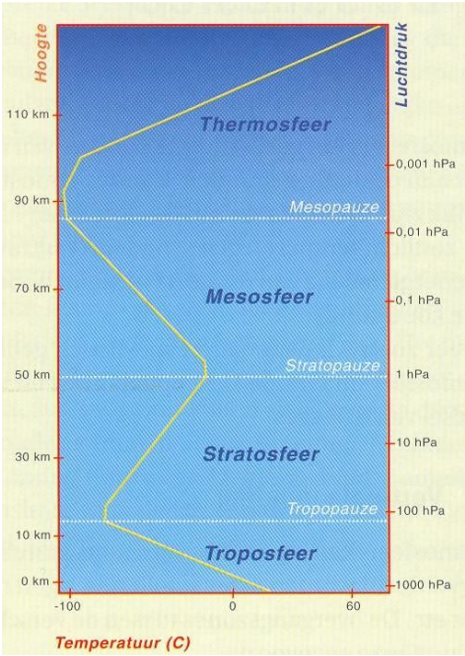
- uitlaat auto
    - vaste deeltjes
        - roet
    - gassen
        - NO_x
        - SO_2
        - O_3 (in onderste laag atmosfeer)

Stikstofoxiden en ozon zijn de belangrijkste luchtvervuilende gassen vooral in verstedelijkt gebied.

Nederland met het vele verkeer behoort tot gebieden op aarde met meeste vervuiling door stikstofoxide (komt vrij bij processen op hoge temperaturen in motoren).

Hoge Raad heeft plannen voor aanleg nieuwe wegen, extra spitsstroken, tunnelingangen en bouwplannen nieuwbouwwijken afgekeurd.

Zie filmpje Lubach op zondag over stikstofprobleem (NO_x en NH_3)
https://www.youtube.com/watch?v=7sNBUBlnJo8&feature=youtu.be



Ozon bevindt zich in de troposfeer en in de stratosfeer.

Ozon in de troposfeer ontstaat door een chemisch proces en onder invloed van zonlicht uit zuurstof, stikstofoxiden, methaan en koolstofmonoxide.

Gassen komen in de troposfeer door

- industrie
- verkeer
- landbouw

Ozon, roetdeeltjes en stikstofoxiden dringen diep in de luchtwegen door en zorgen voor lichamelijke klachten.

<u>Klimaatverandering</u>

- Broeikaseffect door CO_2, waterdamp en methaan. Nu versterkt broeikaseffect door verbranden fossiele brandstoffen en productie methaan. Een zeer sterk broeikasgas is N_2O (lachgas). Broeikaseffect leidt tot opwarmen aarde.
- Toename CO_2 vooral door verbranding fossiele brandstoffen (aardgas, aardolie en steenkool)
- Toename methaan in de atmosfeer (houdt 25x beter warmte vast dan CO_2)
    - ontdooien permafrost, waardoor in vochtige omgeving anaerobe afbraak van organisch materiaal, bovendien komt CH_4 gas vrij uit de bevroren grond
    - methaanbacteriën behoren tot de archaeabacteriën (enkelvoudig celmembraan, zie schema, spreek uit als archea)
    - leven in extreme omstandigheden (koud en zout)
    - deel CH_4 oxideert tot CO_2
    - herkauwers produceren door vergisting in de pens veel methaan, dragen 14% bij aan toename van de broeikassen
    - ook rijstbouw draagt bij aan toename CH4 concentratie
- Gevolgen van het opwarmen van de aarde:
    - smelten landijs
    - uitzetten zeewater
    - gevolg stijging zeespiegel (10-20 cm) en overstromingen
    - warmer water leidt tot meer wolken en meer regen, grotere orkanen, meer extreem klimaat, waardoor meer rampen, droogte of overstromingen, voedseltekort, doden etc.
    - smelten landijs zorgt ook voor minder zout water bij de polen, waardoor verplaatsing water van de evenaar naar de polen stagneert. Hierdoor minder verdeling warmte over de aarde
    - verandering biodiversiteit (minder soorten (uitsterven) en migratie en emigratie van soorten)
    - voor een stabiel ecosysteem is het belangrijk dat er veel soorten organismen zijn.

Mogelijk toekomstige stijging van de gemiddelde temperatuur van 1,4 tot 5,8^{0}C.
Niveau van de zeespiegel kan mogelijk stijgen met 9 tot 88 cm.

De stralingsbalans

Energiehuishouding van de atmosfeer: hoeveel energie komt er van de zon de aardse atmosfeer in en hoeveel gaat er weer uit, de ruimte in.

Zon produceert energie (elektromagnetische straling) door kernfusie. Een deel van de energie ligt opgeslagen in de vorm van fossiele brandstoffen.

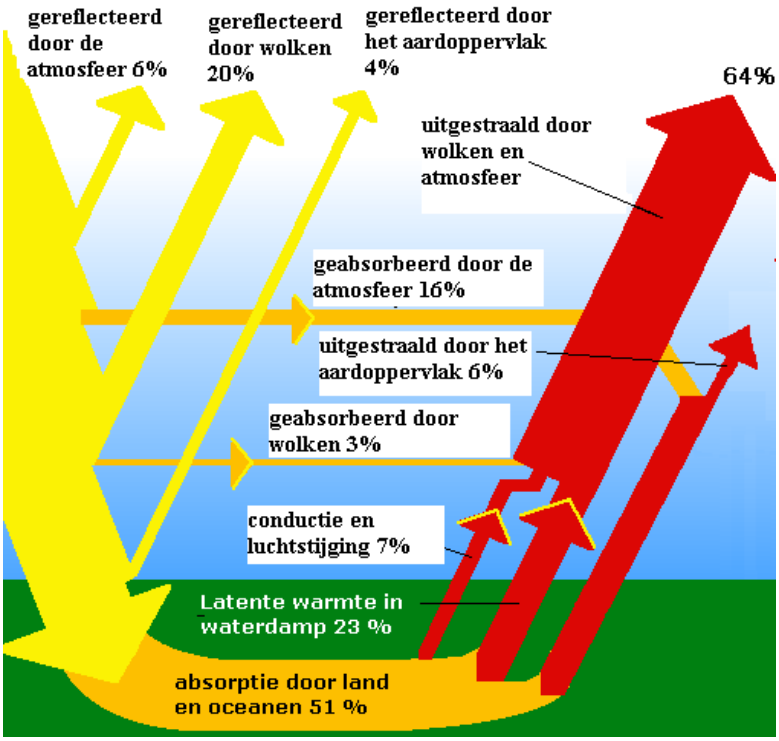
Een klein deel bereikt de aarde. Hiervan wordt een deel gereflecteerd en de rest wordt uiteindelijk als warmtestraling uitgezonden de ruimte in.

Reflectie door atmosfeer en de wolken

Absorptie door atmosfeer, wolken en aardbodem en oceanen.

Absorptie zorgt ervoor dat aardbodem, het water en de vegetatie worden verwarmd.

Aardoppervlak en atmosfeer zenden geabsorbeerde energie weer als infrarode (warmte-) straling de ruimte in. Een klein deel rechtstreeks, het merendeel via allerlei kringlopen in de atmosfeer. Wolken bevatten bijvoorbeeld latente (verborgen) energie. Er is namelijk energie nodig om ijs en water te verdampen.



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

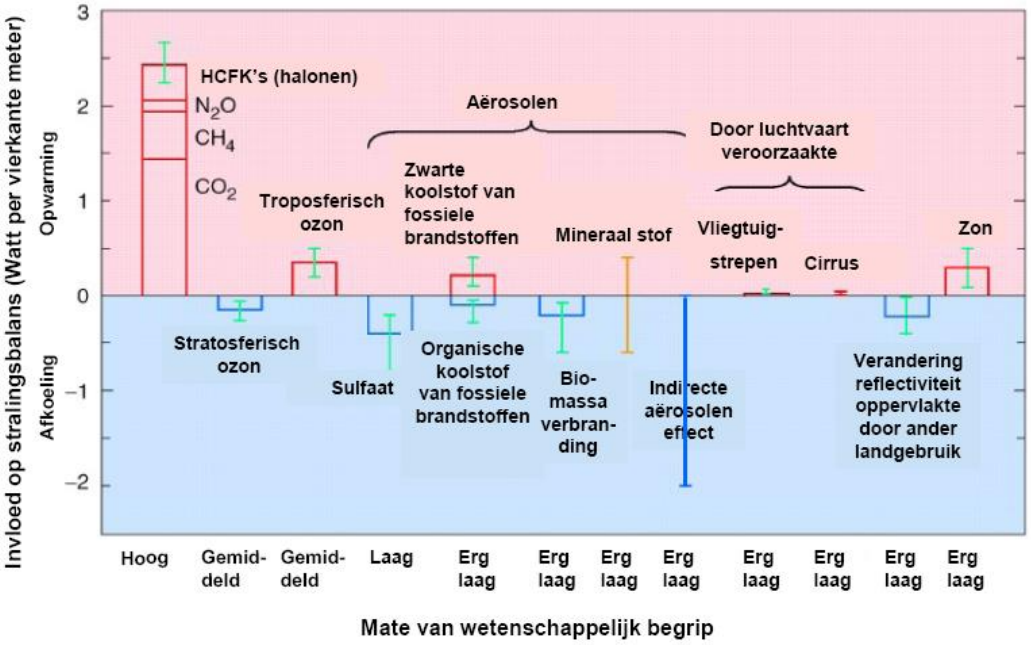
Aerosolen kunnen als condensatiekernen fungeren. Wolken worden gevormd rond condensatiekernen.

Mate van temperatuurverandering door wolkenvorming

- hoeveelheid en type bewolking
    - veel middelbare en lage bewolking resulteert in netto afkoeling vanwege het feit dat dit type bewolking veel zonlicht reflecteert en weinig infrarood uitzendt
- broeikasgassen zoals koolstofdioxide en methaan houden extra energie vast, omdat ze warmtestraling weer terugkaatsen naar de aarde

<u>Invloed van aërosolen op het klimaat</u>

De toename van (Broeikas)gassen en aërosolen in de atmosfeer is een belangrijke oorzaak van de klimaatverandering.



In bovenstaande figuur betekent een positieve waarde een temperatuurstijging, terwijl een negatieve waarde voor een temperatuurdaling staat.

Effect broeikasgassen is goed begrepen. Minder duidelijk is de rol van de aërosolen.

.

Invloed aërosolen op klimaat

- direct effect is reflecterende en absorberende eigenschappen
    - reflecterend koelt af
    - absorberende door bijvoorbeeld roet warmt op
- indirect effect is de rol bij de vorming van wolken doordat ze als condensatiekernen fungeren
    - wolken met hoog gehalte condensatiekernen hebben een grotere reflectiecapaciteit waardoor ze zorgen voor afkoelen van de atmosfeer

Aanwezigheid aërosolen heeft netto temperatuurdaling van 0,5 ^{0}C.

De grootte van de temperatuurdaling hangt af van:

- aerosolgrootte
- hoogte waarop ze zich bevinden
- de vorm van de deeltjes
- het soort aerosolen
- de afstand afgelegd vanaf de bron (hoe grotere afstand de langer beïnvloeden ze het klimaat)

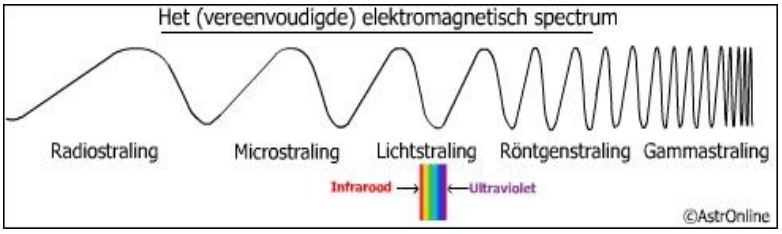
Aerosolen in de troposfeer hebben een verblijf van een paar uur tot hooguit een paar dagen.

- wind
- regen

Bij vulkaanuitbarsting

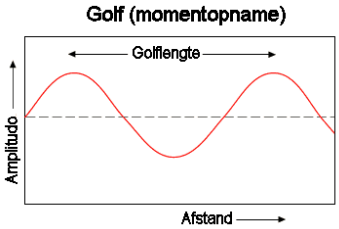
- deeltjes van verschillend afmetingen
- zwaardere deeltjes troposfeer
- kleinere deeltjes in de stratosfeer (kunnen jaren in de atmosfeer blijven hangen)
- groter vulkaanuitbarstingen in het verleden hebben een verkoelende werking over een periode van jaren

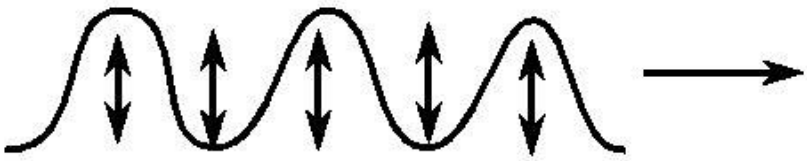
<u>Elektromagnetische straling</u>



Hierboven zijn de verschillend soorten elektromagnetische straling weer gegeven.

Zichtbaar licht ligt tussen rood en blauw licht in (675 nm- 480 nm).





Met een prisma kunnen we licht splitsen in de verschillende kleuren.

Elektromagnetische straling heeft een deeltjeskarakter en een golfkarakter.

Hieronder is aangegeven dat blauw licht meer energie bevat dan rood licht. Hoe korter de golflengte hoe meer energie de straling bevat.

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

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

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:
$E = (6{,}63 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^{8} / 675 \cdot 10^{-9}) = 2{,}9 \cdot 10^{-19}$ J ,
terwijl voor blauw licht geldt:
$E = (6{,}63 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^{8} / 480 \cdot 10^{-9}) = 4{,}1 \cdot 10^{-19}$ J .

De lucht is blauw door de Rayleigh verstrooiing. Watermoleculen en luchtmoleculen verstrooien het licht in de atmosfeer. Blauw licht word meer verstrooid, waardoor de lucht er blauw uitziet.

In de avond moet het zonlicht een langere weg door de atmosfeer afleggen. Rood wordt minder verstrooid en blijft dus nog volop in de bundel. De lucht kleurt dan rood.

Rayleigh verstrooiing is veel efficiënter bij licht van korte golflengte.

Aerosolen meten met satellieten en met de GLOBE zonfotometer

De maat waarin aerosolen die zich in de atmosfeer bevindt wordt uitgedrukt is de aerosol optische dikte (AOD). Hoe meer aerosolen hoe meer licht wordt verstrooid.

Dikte wordt gemeten met door met licht de verstrooiing te meten.

- Satellieten (in de lucht)
- GLOBE Zonfotometer (op de grond)

Hoofdstuk 4

Paragraaf 1 Luchtvervuiling en gezondheid

Mensen in de buurt van drukke wegen

- hebben grotere kans om te overlijden aan hart- of longaandoeningen
- hebben meer luchtwegaandoeningen zoals astma
- hebben een daling van de levensverwachting van een jaar
- kans op kindersterfte neemt toe in zeer vervuilde regio's

Samenstelling lucht:

- stikstof
- zuurstof
- edelgassen
- koolstofdioxide

Samenstelling wordt mede bepaald door allerlei processen

- vulkaanuitbarstingen
- bloei van planten
- menselijke activiteiten
    - industrie
    - veehouderij
    - andere processen waarbij fossiele brandstoffen worden gebruikt

Luchtverontreiniging kun je bijna niet ontwijken (mondmasker?).

Mechanismen om deeltjes uit het lichaam te verwijderen:

- grotere deeltjes worden opgevangen in het slijm van hogere luchtwegen (neus, keel, luchtpijp en bronchiën)
- oplosbare deeltjes lossen op in het slijm en kunnen in het bloed worden opgenomen en schadelijk zijn voor de organen
- niet oplosbare deeltjes worden met slijm door trilhaarepitheel omhoog gebracht naar de keelholte en worden ingeslikt
- sommige verontreinigingen kunnen dan in spijsverteringskanaal terechtkomen
- andere verontreinigingen verlaten je lichaam via hoesten, niezen of je neus snuiten
- kleine deeltjes kunnen verdere doordringen dan luchtpijp en bronchiën en komen in de longblaasjes waar ze schade aanrichten
- macrofagen (bepaalde witte bloedcellen; vreetcellen) ruimen een deel van de deeltjes op en afgevoerd naar bloedvaten of lymfklieren
- deeltjes die in de longen blijven zorgen voor verslechtering ademhaling, aantasting van de luchtwegen of infecties door micro-organismen

Acute effecten bij kortdurende blootstelling

- gedurende korte tijd sterke toename luchtverontreinigende stof bijvoorbeeld bij smogperiode
- verhoogde ozonconcentratie kunnen tot acute gezondheidsklachten leiden vooral bij mensen in risicogroepen
    - hoesten en benauwdheid
    - verergering luchtwegklachten en hart- en vaatziekten
    - meer astma-aanvallen
    - ziekenhuisopnames
    - hoger medicijngebruik
    - afname longfunctie

Klachten verdwijnen meestal weer als concentratie daalt

Chronische effecten bij langdurige blootstelling

Chronisch effecten treden op na jarenlange blootstelling aan relatief lage concentraties luchtverontreinigingen

- geen herstelperiode
- effecten zijn vaak blijvend
- luchtwegklachten
- verminderde longfunctie
- verergering van luchtwegklachten
- vroegtijdige sterfte aan hart- en vaatziekten

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

Fijn stof

Aerosolen kleiner dan 10 micrometer noemen we fijnstof.

- Omvang 2,5 tot 10 um is PM10 (particulate matter)
- Omvang kleiner dan 2,5 um is PM2,5
- Kleiner dan 0,1 um is EC (elementaire koolstof)

Grootte en chemische samenstelling bepalen de schadelijkheid.

Fijn stof uit de bodem is minder schadelijk dan fijnstof afkomstig van het verkeer.

Fijnstof verkeer

- Opwaaiend wegenstof
- Slijtagedeeltjes uit motoren en remmen
- Dieselroet

Er is geen veilige ondergrens voor fijnstof. Deeltjes kleiner dan 0,1 um veroorzaken waarschijnlijk ook bloedklontering, hetgeen mogelijk verklaring is voor groter aantal hartziekten bij mensen die langs drukke wegen wonen.

Ozon

Verkeer en industrie stoten koolwaterstoffen, stikstofoxiden en koolstofdioxiden uit.

Ozon ontstaat doordat deze stoffen chemische reacties aangaan onder invloed van zonlicht.

Ozon is schadelijk

- Tast longweefsel aan
- Bij planten beschadigd het de bladeren en remt de groei
- Acute blootstelling zoals bij veel smog zijn irritatie van luchtwegen en ogen, duizeligheid, misselijkheid of hoofdpijn
- Klachten nemen toe als hoeveelheid en de duur van blootstelling toenemen

Smog is vettige mist en bevat onder andere ozon, zwaveldioxide en roet.

Stikstofdioxide

Grootste deel NOx in de lucht is afkomstig van het verkeer. De hieronder beschreven effecten zijn waarschijnlijk niet alleen veroorzaakt door NO2 maar ook door andere stoffen die in de lucht aanwezig zijn.

- NO2 dringt door tot de kleinste vertakkingen van de luchtwegen
- Bij hoge concentraties veroorzaakt het irritatie aan ogen, neus en keel
- Bij blootstelling aan lage concentraties wordt een lagere longfunctie waargenomen
- Toename van astma-aanvallen en ziekenhuisopnamen
- Grotere gevoeligheid voor infecties
- Slecht geventileerde tunnels tijdens de spits bevatten hoge concentraties NO2

Hoofdstuk 4

Paragraaf 2 De atmosfeer van de aarde

De atmosfeer (dampkring) is het gasvormige omhulsel rondom de aarde.

- Chemische eigenschappen zijn de reacties die in dampkring plaatsvinden
    - Reacties met waterdamp
    - Reacties onder invloed van straling
- Fysische eigenschappen
    - Temperatuurverloop
    - Luchtdrukverloop
    - Gehalte aan waterdamp op verschillende hoogtes
    - Zwaartekracht voorkomt dat gassen naar het heelal ontsnappen

Atmosfeer

- Merendeel gassen
- Kleine hoeveelheden vloeibare bestanddelen (druppels)
- Kleine hoeveelheden vaste bestanddelen (ijskristallen en stofdeeltjes)

Gassen

- Concentratie van meeste gassen wereldwijd gelijk
- Aandeel zware gassen is kleiner hoger in de atmosfeer dan aandeel lichte gassen en andersom
- Waterdamp, koolstofdioxide en ozon kunnen in sterk wisselende hoeveelheden voorkomen
    - Dag tot dag
    - Plaats tot plaats
- Waterdampgehalte varieert tussen 0 en 5 volumeprocent
    - Hangt af van luchttemperatuur
    - Warme lucht kan meer waterdamp bevatten dan koude lucht
    - Koude gebieden is hoeveelheid waterdamp verwaarloosbaar klein
    - Nederland percentage waterdamp winter 0,5% en in zomer 1,5%
    - In de tropen percentage waterdamp is 3-4%
    - Waterdamp concentratie is afhankelijk van de hoogte
    - Boven 10 km nauwelijks waterdamp
- Volume percentage ozon erg klein (5.10^{-6} %)
    - Ozon absorbeert straling met golflengtes tussen 200 en 320 nm
    - Voorkomt dat deze UV straling oppervlakte bereikt
    - Straling heeft muterende werking en is dus schadelijk gezondheid
    - UV straling is verantwoordelijk voor ontstaan en afbraak van ozon
    - Meeste ozon tussen 15 en 50 km hoogte (piek 30 km)
        - Lager dan 15 is te weinig UV om ozon te laten ontstaan (is al geabsorbeerd)
        - Boven 50 is het aantal luchtmoleculen te klein om ozon te laten ontstaan
- Vloeibare en vaste stoffen

- Waterdruppels en ijskristallen (regen, hagel, sneeuwbuien)
- Aerosolen
  - Meeste dicht bij aardoppervlak
  - Tussen 15 en 30 km weer toename door aerosolen van vulkaanuitbarstingen

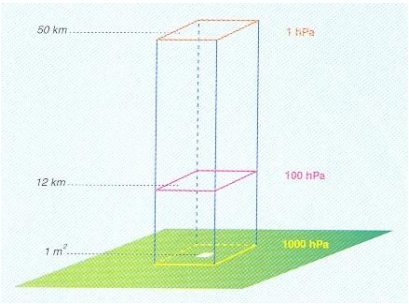
Verschillende lagen in de atmosfeer

Twee factoren hebben grote invloed op processen in de atmosfeer:

- Luchtdruk
- Temperatuur

Luchtdruk

- Kracht die het gewicht van een luchtkolom in de atmosfeer uitoefent op een eenheidsdoorsnede ($1m^2$) van het aardoppervlak.
- Eenheid is Pascal (1 Pa is $1NN^{-2}$)
- 1 millibar (mbar) is 1hPa
- Luchtdruk is de som van alle drukken die de gassen in de lucht elk afzonderlijk uitoefenen
- Luchtdruk is afhankelijk van dichtheid en samenstelling van lucht
- Aardoppervlakte 1 m^3 lucht is 1,25 kg
- Zeeniveau gemiddelde luchtdruk 1013 hPa
- Luchtdruk neemt af met toenemende hoogte
- Normaal lucht van hoge druk naar lage druk, echter zwaartekracht voorkomt dat lucht naar boven stroomt
- Evenwicht opwaartse gerichte kracht en zwaartekracht: hydrostatisch evenwicht
- Barometer meet luchtdruk



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

Temperatuurverloop

- Atmosfeer wordt in verschillende lagen verdeeld op basis van temperatuurverloop t.o.v. hoogte
    - Temperatuur kan toenemen, afnemen of gelijk blijven
- Troposfeer
    - Gemiddelde hoogte 13 km (koude polen 8 km; warme tropen 16 km)
    - Het weer speelt zich hier af
    - Lucht wordt van onderaf verwarmd
    - Temperatuur neemt met toenemende hoogte af (0,65^{0}C/100m)
    - Bijna al het water in de atmosfeer is in de troposfeer
        - Vaste toestand (sneeuw en ijs)
        - Vloeibare toestand (wolkendruppels, regen en mist)
        - Gasvormig (waterdamp)
    - Bovenzijde is tropopauze (isotherme laag 5 km dik) met een temperatuur van min 56^{0}C
- Stratosfeer
    - Begrenst door stratopauze op ongeveer 50 km hoogte
    - Temperatuur neemt geleidelijk toe
    - Gevolg van vrijkomen warmte bij omzetting van zuurstof in ozon
    - Ozon wordt afgebroken en gevormd onder invloed van UV licht
    - Op hoogte tussen 25 en 35 km is verhouding intensiteit zonnestraling en aantal zuurstofmoleculen optimaal voor maximale ozonconcentratie
- Mesosfeer
    - Begrenst door mesopauze op 90 km hoogte
    - Temperatuur daalt tot min 100^{0}C
- Thermosfeer
    - Strekt zich uit tot 650 km
    - Zeer ijle lucht
    - Temperatuur neemt toe met de hoogte
    - Op 200 km hoogte tussen 100^{0}C en 600^{0}C
- Exosfeer
- Interplanetaire ruimte

Toestand atmosfeer wordt gemeten met behulp van

- Grondobservaties
- Satellietwaarnemingen
- Rond 12 en 24 uur weerballonnen (helium gevuld)
    - Meten gegevens bovenlucht
    - Hoogte 20-30 km
    - Vlucht duurt 1 a 2 uur
        - Temperatuur
        - Luchtvochtigheid
        - Luchtdruk
        - Windrichting
        - Windsnelheid

Hoofdstuk 4

Paragraaf 3 Ozon

Ozon

- Troposfeer
- Stratosfeer

In de troposfeer is het schadelijk voor de gezondheid.

Lage ozon

Verkeer en industrie produceren:

- Koolwaterstoffen
- Koolstofmonooxide (CO)
- Stikstofoxiden (NOx)

In dieselmotoren en benzinemotoren komen stikstofoxiden vrij als er stikstof is (N2). Dit vindt alleen plaats bij hoge temperaturen.

$$N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$$

Bij slecht afgestelde motoren veel stikstofoxiden en koolstofmonooxiden.

Katalysator bestaat uit keramiek (poreus) waarop allerlei metalen zoals platina etc. wordt zijn aangebracht en wordt gebruikt om de uitlaatgassen in stikstof en koolstofdioxiden om te zetten.

$$2NO(g) + 2CO(g) \rightarrow N_2(g) + 2CO_2(g)$$

en:

$$2NO(g) + 4CO(g) \rightarrow N_2(g) + 4CO_2(g)$$

Helaas niet 100% efficiënt dus toch nog CO en NOx in de atmosfeer. NO wordt in de troposfeer omgezet in NO2. O.i.v. zonlicht treden chemische reacties op van zuurstof met NO2 waarbij ozon ontstaat.

$$2\ NO\ (g) + O_2\ \rightarrow 2NO_2\ (g)$$

$$NO_2(g) + h \cdot f\ (= E) \rightarrow NO(g) + O(g)$$

$$O_2(g) + O(g) \rightarrow O_3(g)$$

Hoge ozon (stratosfeer)
Aantasting van de hoge ozonlaag door NOx en chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's).

Gat in de ozonlaag

- Vooral in de lente het grootst
- Vorming vindt plaats door UV straling zuurstofmoleculen splitst in zuurstofatomen
- Onderstaande reacties vinden plaats bij de vorming van ozon. Ook waterdamp, stikstofoxiden en methaan zijn hierbij betrokken.

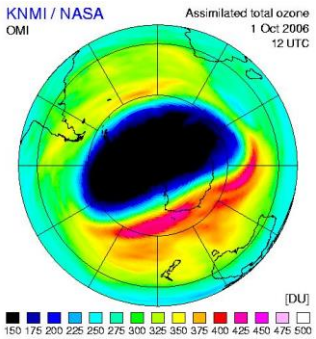
  $$O_2 + h \cdot f(=E) \rightarrow O + O(\lambda < 242\,nm)$$

  $$O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$$

  M is een neutraal gas dat als katalysator optreedt (bijvoorbeeld stikstof)

  $$O_3 + h \cdot f(=E) \rightarrow O_2 + O(\lambda < 310\,nm)$$

  $$O_3 + O \rightarrow 2O_2$$
- CFK's zijn betrokken bij de afbraak van ozon
- Het zijn inerte gassen
  - Reageren nergens mee
  - Lossen niet op in water
  - Gunstig kookpunt
  - Worden bijna niet afgebroken
  - Lange levensduur (100-200 jaar)
  - In 1 a 2 weken naar de tropopauze
  - Transport naar ozonlaag verloopt trager (10-15 jaar)
- Toegepast als
  - drijfgas in spuitbussen,
  - vulgas in schuimrubber en piepschuim
  - koelvloeistof in koelkasten



Hoe verloopt de afbraak?

- dissociatie van CFK's o.i.v. UV
- er ontstaan chloor radicalen (reactieve deeltjes)
- vervolgens wordt ozon afgebroken o.i.v een chloor radicaal
- de chloorradicaal komt weer vrij en kan weer meer ozon afbreken!

$$CF_2Cl_2 + h \cdot f\ (= E) \rightarrow CF_2Cl + Cl$$

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

$$ClO + O_3 \rightarrow Cl + 2O_2$$

Een andere katalysator is NO

- komt dit in de hogere atmosfeer terecht dan:

$$NO(g) + O_3(g) \rightarrow NO_2(g) + O_2(g)$$

$$NO_2(g) + O_3(g) \rightarrow NO(g) + 2O_2(g)$$

$$2O_3(g) \rightarrow 3O_2(g)$$

Afbraak ozon vooral rond poolgebieden om een drietal redenen:

- extreme koude gedurende en kort na het winterseizoen
- de hoeveelheid licht die dan weer beschikbaar is na de poolnacht
- geringe aanvoer van ozon vanuit gematigde breedte

Afbraak verloopt als volgt:

- Op grootte hoogte is het op 20 km min 85 graden Celsius en lager.
- Daardoor kunnen wolken ontstaan waarin ijskristallen zich vormen.
- IJskristallen binden zoutzuurgas en chloornitraat. Deze stoffen ontstaan bij de afbraak van CFK's.
- Zoutzuurgas en chloornitraat worden gevangen in ijskristallen en reageren met elkaar.
- Salpeterzuur vriest vast en chloorgas ontsnapt in de stratosfeer.
- Chloorgas wordt door zonlicht in radicalen gesplitst.
- Radicalen breken ozon af.

Waarom het probleem vooral in vroege lente?

- Als de temperatuur stijgt in het late voorjaar en de zomer zijn er geen ijsdeeltjes meer om zoutzuurgas en chloornitraat te vangen
- In de arctische winter is er geen UV straling beschikbaar om CFK moleculen te splitsen (donker; poolnacht)
- Het is in de winter en vroege lente zo koud dat er geen lucht met verse ozon van de gematigde breedten kan toestromen om het ozontekort aan te vullen

- Eind oktober wordt het gat enigszins gedicht door verse aanvoer van ozon van de gematigde breedten
- Rond half september verdwijnt de meest ozon (2-3%), rond half oktober is 60% van alle ozon boven Antarctica afgebroken
- Door ozongat is de temperatuur in de stratosfeer 10 graden lager
- Omdat minder ozon en dus minder absorptie UV licht dus minder opwarming
- Boven Noordpool zelfde effect maar minder, omdat minder warm en meer uitwisseling ozon met gematigde breedten
- Door maatregelen is de ozonlaag zich aan het herstellen (in de loop van de 21e eeuw

$$HCl(g) + ClONO_2 \rightarrow HNO_3 + CL_2(g)$$

$$Cl_2(g) + h \cdot f \rightarrow 2Cl$$

Genomen maatregelen:

- CFK houdende spuitbussen verbieden
- alternatieven voor koelvloeistoffen in koelkasten, vriezers en airco's
- belangrijk is de afgedankte apparatuur goed te recyclen

Paragraaf 4 Het huidige klimaat

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

- de hoeveelheid inkomende straling
- de breedtegraad
- wind en zeestromen
- het albedo
- het broeikaseffect

Inkomende zonnestraling

- over langere periodes kan de hoeveelheid straling variëren (ijstijden en warme perioden)
- straling wordt bepaald door stralingsintensiteit (zonneconstante; de hoeveelheid stralingsenergie per vierkante meter op de gemiddelde afstand aarde-zon)
- op korte tijdschaal variaties in zonneconstante door zonnevlekkencycli (periode 11 jaar)
- echter de 2,5miljoen jaar zonneconstante nagenoeg gelijk

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
- dit komt doordat de hoek waarmee een bundel zonnestralen het aardoppervlak raakt kleiner wordt
    - grotere hoek meer energie op een kleiner oppervlak en wordt de temperatuur hoger
    - afstand van de zonnestralen door de atmosfeer wordt dan groter en dus meer weerkaatsing
    - de seizoenen worden verklaart doordat de aarde om de zon draait en de aardas scheef staat waardoor de hoek waarmee de zonnestralen het aardoppervlak raken verandert in de loop van het jaar

Wind en zeestromen

- wind- en zeestromen zorgen ervoor dat de beschikbare warmte over de aarde wordt verdeeld
- Nederland
    - heeft profijt van de warme golfstroom (in de zomer niet te warm, in de winter niet te heet)
    - ook de winden zorgen voor een meer gematigd klimaat (op het noordelijk halfrond waaien ze in westelijk richting en nemen warme lucht mee)
- Golfstroom gaat van evenaar naar de polen, het zoute water koelt af en zakt naar de bodem door de grotere dichtheid, via de bodem gaat het water weer naar de evenaar.

- het smelten van het ijs op de polen maakt het water zoeter waardoor het minder zoute water niet goed meer zinkt en de circulatie stopt
- de temperatuur in Noordwest Europa gaat dan dalen

Albedo

- IJskappen zorgen voor lagere temperatuur op aarde
- een wit oppervlak zorgt voor reflectie van zonlicht
- een hoog albedo betekent een grote reflectie en dus afkoeling
- koude luchtstromen verplaatsen zich voor een deel naar lagere breedte waardoor een deel van de Noordelijke ijszee koud blijft
- door opwarming van de aarde smelt er meer ijs, waardoor de albedo lager wordt en het nog warmer wordt