**§3.1 Wat zijn aërosolen?**

Aërosolen zijn kleine vaste of vloeibare deeltjes die in de lucht zweven.

5 categorieën: - stof - roet - sulfaat - zeezout - organisch aërosol

Grote verschillen aërosol-concentraties, zowel tijdstip op de dag als plaats op aarde.
-> regen (uitregenen aërosolen) en wind

Aërosolen blijven ongeveer een week in de atmosfeer.

Bronnen:

* Bosbranden → roet en organisch aërosol
* Woestijnzandstormen → stof
* Industrie → sulfaat en roet
* Autoverkeer → roet
* Zee → zeezout
* Vulkaanuitbarstingen → stof

*Natuurlijk* aërosol en *antropogeen* aërosol (= door menselijke activiteit veroorzaakt).

Concentraties van aërosolen in lucht meten:

* Satelliet (meet absorptie en weerkaatsing)
* Zonfotometer (meet intensiteit zonlicht)
* Snuffelpalen (chemische analyse luchtmonsters)

Aërosolen hebben invloed op de gezondheid. Fijnstof drinkt diep in de longen door.

* Longklachten
* Hartklachten
* Hoesten
* Benauwdheid

**§3.3 Vuile lucht**

Er komt veel roet vanuit de uitlaat in de atmosfeer.

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

Stoffen die een negatieve rol voor de mens spelen:

* Stikstofoxiden (NO en NO2, samen ook wel NOx)
* Zwaveldioxide (SO2)
* Ozon (O3)

Belangrijke bronnen van deze vervuilende gassen:

* Gemotoriseerde voertuigen (meer dan 50% vd uitstoot)
* Elektriciteitsopwekking (ong. 25% vd uitstoot)
* Andere industriële bronnen en verwarming van huizen (ong. 20% vd uitstoot)

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

Stikstofoxiden ontstaan bij processen in (diesel)motoren, bij zeer hoge temperatuur.

Ozon ontstaat onder invloed van zonlicht uit zuurstof, stikstofoxiden, methaan en koolstofmonoxide.

**§3.4 Klimaatverandering**

Wereldwijd stijgt de gemiddelde temperatuur. Deze temperatuurstijging heeft een aantal duidelijk meetbare gevolgen:

* Sneeuw- en ijsbedekking van de aarde is afgenomen.
* Zeewater zet uit en zeespiegel stijgt.
* Groeiseizoen van planten is steeds langer aan het worden.
* Er komen steeds meer zuidelijke soorten planten en dieren in Nederland voor.

Vooralsnog ziet het er naar uit dat de temperatuur wereldwijd met 1,4 ◦C tot 5,8 ◦C zal stijgen.

**§3.5 De stralingsbalans**

Door *kernfusieprocessen* in de zon worden er voortdurend grote hoeveelheden energie geproduceerd, die in de vorm van elektromagnetische straling de ruimte ingezonden worden.

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.*



Aërosolen kunnen als *condensatiekernen* fungeren. D.w.z. de waterdamp condenseert rondom een vast aërosol-deeltje en op deze manier ontstaan (extra) wolken.

Lage bewolking: afkoelend effect (reflecteerd veel zonnestraling, zend weinig IR-straling uit).

Hoge bewolking: opwarmend effect vanwege de lage temperatuur ervan

**§3.6 Invloed van aërosolen op het klimaat**

Veel gassen en aërosolen storen de stralingsbalans en spelen dus een rol bij de klimaatverandering.

Positieve waarde: temperatuurstijging
Negatieve waarde: temperatuurdaling
Streepjes geven aan hoe onzeker bepaalde effecten nog zijn.

Links wordt inmiddels wetenschappelijk begrepen, rechts niet.
Effect van broeikasgassen (uiterst links) wordt dus behoorlijk goed begrepen.
Bijdrage van aërosolen wordt nog slecht begrepen door:
*Indirecte aërosolen-effect:* de invloed van aërosolen op het klimaat in hun rol als condensatiekernen.

Directe effect aërosolen: reflecterende en absorberende eigenschappen.

Reflecterende deeltjes hebben een verkoelende werking -> reflecteren zonlicht naar ruimte.
Absorberende aërosolen (bijv. roet): opwarmend effect -> absorberen energie van de zon.

Het netto effect van de atmosferische opwarming of afkoeling hangt af van:

* Aërosolgrootte
* Hoogte waarop de aërosolen zich bevinden
* Vorm van de deeltjes
* Soort aërosol
* Afstand afgelegd vanaf de bron

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

Lichte deeltjes (bijv. Sahara-zand) blijven langer in de troposfeer dan zwaardere deeltjes.

**§3.7 Elektromagnetische straling**

Verschillende soorten elektromagnetische straling hebben verschillende *golflengtes,* λ.

Andere golflengte is andere kleur licht (tabel 19A).

Lichtdeeltje = *foton*.

*Ef = h ⋅ f = h ⋅* $\frac{c}{λ}$

*Ef* = fotonenergie in Joule

*h* = constante van Planck in J ⋅ s

*f* = frequentie in Hz (s-1 )

*c*  = lichtsnelheid in m/s

*λ*  = golflengte in m

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

***Rayleigh verstrooiing***

Moleculen in de lucht verstrooien het zonlicht dat erop schijnt. Dit verstrooien betekent dat een luchtmolecuul een lichtdeeltje (foton) afbuigt en in een willekeurige andere richting verder stuurt.

Dit effect is sterker voor fotonen met een kortere golflengte. Blauw licht wordt dus sterker verstrooid dan geel of rood licht. Met name blauw licht wordt sterk verstrooid en dat betekent dat veel blauwe fotonen eerst een paar keer van richting zijn veranderd voordat ze ons oog bereiken. Blauwe fotonen zien we dus van alle kanten komen, waardoor de hemel in alle richtingen blauw lijkt.

Wanneer de zon laag aan de hemel staat, leggen de zonnestralen een langere weg af door de atmosfeer. De mate van verstrooiing is dan dus sterker, waardoor niet alleen blauw licht, maar ook violet, groen en geel worden verstrooid. Alleen oranje en rood licht blijven dus over en die kleuren de hemel rood.

**§3.8 Aërosolen meten**

*Aërosol optische dikte (AOD*): de maat waarin de hoeveelheid aërosolen in de atmosfeer wordt uitgedrukt.

AOD wordt bepaald door te meten hoeveel zonlicht door de aërosolen wordt verstrooid en geabsorbeerd.

Veel licht wordt verstrooid en geabsorbeerd -> veel aërosolen in de lucht -> hoge AOD.

*Satelietvalidatie:* berekeningen aan satellietmetingen vergelijken met berekeningen aan metingen vanaf de grond.

**§3.9 Een logaritmische schaalverdeling**

*Logaritmische schaalverdeling*: schaalverdeling waarbij niet de getallen zélf regelmatig oplopen, maar de machten van 10.

**§4.1 Luchtvervuiling en gezondheid**

Als deeltjes niet goed uit het ademhalingssysteem worden verwijderd kan dit leiden tot ophoping van deeltjes in de longen.

Kleine deeltjes kunnen doordringen tot de longblaasjes, waar ze longschade veroorzaken.

*Acute effecten bij kortdurende blootstelling:*

* Hoesten en benauwdheid
* Verergering van luchtwegklachten
* Verergering van hart- en vaatziekten
* Meer astma-aanvallen

De klachten verdwijnen meestal weer zodra de concentratie van de stoffen in de lucht weer daalt.

*Chronische effecten bij langdurige blootstelling:*

* (verergering van) luchtwegklachten
* Verminderde longfunctie
* Vroegtijdige sterfte aan luchtwegklachten en hart- en vaatziekten

Doordat er geen herstelperiode is (de blootstelling is constant), zijn de effecten vaak blijvend.

Vervuilende stoffen: fijnstof, ozon, stikstofdioxide

Fijnstof

Alle aërosolen die kleiner zijn dan 10 micrometer noemen we fijn stof:

2,5 tot 10 micrometer: PM10 (PM: ‘Particulate Matter’ = uit deeltjes bestaande stof)

Kleiner dan 2,5 micrometer: PM2,5

Kleiner dan 0,1 micrometer: EC (elementair koolstof)

Ozon

Mensen en dieren: tast longweefsel aan.

Planten: beschadigt bladeren en remt de groei.

Stikstofdioxide (NO2)

Grootste deel afkomstig van het verkeer.

* Effecten op de longen bij astmatici
* Toename allergische ontstekkingsreacties in luchtwegen
* Toename vroegtijdige sterfte

**§4.2 De atmosfeer van de aarde**

Atmosfeer (dampkring) = gasvormig omhulsel rondom de aarde.

*Gassen in de atmosfeer*: tabel 34.

*Vloeibare en vaste stoffen in de atmosfeer:* waterdruppels, ijskristallen en aërosolen.

*Hydrostatisch evenwicht*: evenwicht tussen de opwaarts gerichte kracht van hoge naar lage luchtdruk en de neerwaarts gerichte zwaartekracht.

Tropopauze: lucht wordt van onderaf verwarmd via het aardoppervlak.

Stratosfeer: zuurstof wordt omgezet in ozon waarbij warmte vrij komt.

Thermosfeer: lucht wordt verwarmd door de zon.

**§4.3 Ozon**

Ozon komt voor in de troposfeer en de stratosfeer.

Lage ozon (troposfeer)

In de troposfeer is ozon een luchtvervuilend gas. Het verkeer en de industrie stoten allerlei gassen uit, waaronder stikstofoxiden.

1. Stikstofmonoxide reageert met zuurstof tot stikstofdioxide.
2 NO + O2 → 2 NO2
2. Door de absorptie van elektromagnetische straling (E= *h ⋅ f* ) valt een stikstofdioxidemolecuul uiteen in een stikstofmonoxidemolecuul en een los zuurstofatoom.
NO2 + *h ⋅ f* → *NO + O*
3. Zuurstofatoom reageert met zuurstofmolecuul tot ozonmolecuul.
O2 + O → O3

Hoge ozon (stratosfeer)

In de stratosfeer beschermt ozon ons tegen schadelijke UV-straling.

Vorming:

1. Energierijke UV-straling (korte golflengten) splitsen zuurstofmolecuul in zuurstofatomen.

O2 + *h ⋅ f* → *O + O*

1. Zuurstofatoom reageert met zuurstofmolecuul m.b.v. katalysator K.

*O2 + O + K* →O3 + K

Door luchtvervuiling wordt de hoge ozonlaag aangetast door stikstofoxiden (NOx) en chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK’s)

Natuurlijke afbraak:

1. O3 + *h ⋅ f* → O2 + O
2. O3 + O → 2 O2

Afbraak van ozon door CFK’s:

1. Freon-12 (CF2CL­2) wordt onder invloed van UV-straling gedissocieerd.

CF2Cl­2 + *h ⋅ f (=E)* → CF2Cl­+ Cl

1. Ozonmolecuul wordt afgebroken doordat het chlooratoom met een zuurstofatoom bindt.

Cl + O3 → ClO + O2

1. Zuurstofatoom bindt zich aan ozonmolecuul en vormt 2 zuurstofmoleculen.

ClO + O3 → Cl + 2 O2

Chloorradicaal (zeer actief deeltje) keer steeds weer actief terug in het proces. Hierdoor kan één chloorradicaal ongeveer 1000 ozonmoleculen vernietigen, voordat het via andere chemische reacties verwijderd wordt.

Afbraak van ozon door stikstofmonoxide:

1. Stikstofmonoxide reageert met ozon tot stikstofdioxide en zuurstof.

NO + O3 → NO2 + O2

1. Ozon reageert met stikstofdioxide, waarbij stikstofmonoxide en zuurstof vrijkomen.

NO2 + O3 → NO + 2 O2

1. Stikstofmonoxide werkt dus als katalysator. Netto wordt ozon afgebroken tot zuurstof.

2 O3 → 3 O2

In de ozonlaag boven Antarctica zit een gat (oftewel, te weinig ozon).

Dat de afbraak van ozon juist het grootst is rond de poolgebieden en in de lente heeft te maken met:

* *Extreme koude gedurende en kort na het winterseizoen.*

Zoutzuurgas en chloornitraat (ontstaan bij afbraak van CFK’s) worden ingevangen door ijskristallen waar ze met elkaar reageren tot salpeterzuur en chloormoleculen. Deze chloormoleculen worden door het zonlicht gesplitst in 2 chloorradicalen en de eerder beschreven reacties vinden plaats.

* *Hoeveelheid licht die weer beschikbaar is na de poolnacht.*

Wanneer het donker is worden er nauwelijks CFK-moleculen gesplitst tot zoutzuurgas en chloornitraat omdat er geen UV-straling beschikbaar is. Zodra de lente aanbreekt komt er zonlicht ter beschikking waardoor de afbraak van ozon weer op gang komt.

* *Geringe aanvoer van ozon vanuit de gematigde breedten.*

In de winter is het boven Antarctica zo koud dat er geen lucht met verse ozon kan toestromen. Er ontstaat door de extreme koude een min of meer afgesloten vat van oude lucht boven Antarctica. Aan het begin van de lente warmt de lucht weer genoeg op om de luchtstromen weer in gang te zetten.

Temperatuur in de stratosfeer daalt door het ozongat. 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.

Dus: vorming van ozon in troposfeer en afbraak van ozon in stratosfeer is slecht.

**§4.4 Het huidige klimaat**

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

* Aërosolen (§3.6)
* Hoeveelheid inkomende zonnestraling
* Breedtegraad
* Wind- en zeestromen
* Albedo
* Broeikaseffect

De hoeveelheid inkomende zonnestraling

Deze wordt bepaald door de stralingsintensiteit van de zon, dat wordt aangegeven met de zogenaamde *zonneconstante*.

*Zonneconstante =* hoeveelheid stralingsenergie per vierkante meter op de gemiddelde afstand aarde-zon. (momenteel 1365 Wm-2).

Zonneconstante kan op korte termijn niet de oorzaak zijn van grote klimaatveranderingen (blijft lang gelijk).

Geografische breedte: tussen evenaar en noord-/zuidpool

Mate waarin het aardoppervlak wordt opgewarmd neemt met toenemende breedte af.

Dit komt doordat de hoek waarmee een bundel zonnestralen het aardoppervlak raakt (vanaf de evenaar naar pool) steeds kleiner wordt.

Grote hoek → meer energie op kleiner oppervlak → hogere temperatuur.

Kleine hoek → lange weg die de zonnestralen afleggen → meer weerkaatsing → lagere temperatuur.

Wind- en zeestromen

Deze zorgen ervoor dat de beschikbare warmte over de aarde verdeeld wordt. Golfstroom transporteert warm tropisch water naar het noorden -> Noordwest Europa heeft mild klimaat.

Albedo

Hoe hoger het albedo, hoe meer zonnestraling gereflecteerd wordt, hoe lager de temperatuur op aarde.

IJskappen reflecteren veel. Wanneer het ijs smelt wordt het albedo kleiner, waardoor er minder gereflecteerd wordt en de temperatuur toeneemt.

Broeikaseffect

Een half procent van de atmosfeer bestaat uit broeikasgassen (CO2, CH4 en H2O) die het vermogen hebben de warmte die de aarde uitstraalt vast te houden → broeikaseffect.

Zonder broeikaseffect zou gem. temperatuur o paarde -18◦C zijn, dus leven op aarde onmogelijk.

De mens versterkt het natuurlijke broeikaseffect door de grootschalige uitstoot van broeikasgassen, waardoor de temperatuur stijgt.

**§4.5 Aërosolen en wolkenvorming**

De volgende grootheden geven aan hoeveel waterdamp er in de lucht aanwezig is:

* *Dampspanning* (e): kracht die door de waterdampmoleculen in de lucht wordt uitgeoefend op 1 m2 van het aardoppervlak, uitgedrukt in Pascal (Pa).
* *Verzadigingsdampspanning* (es): dampspanning op het moment dat de lucht de maximale hoeveelheid vocht bevat (=verzadigd) bij een bepaalde temperatuur.
* *Relatieve luchtvochtigheid* (U): verhouding tussen heersende dampspanning en verzadigingsdampspanning.

$$U= \frac{e}{e\_{s}} ∙100\%$$

* *Dauwpuntstemperatuur* (Td): Temperatuur waarbij waterdamp begint te condenseren door afkoeling van de lucht zonder dat er vocht wordt toegevoerd of afgevoerd (bij gelijkblijvende luchtdruk).
* *Natteboltemperatuur*: Temperatuur waarbij waterdamp begint te condenseren doordat er waterdamp aan de lucht wordt toegevoegd.

Om waterdamp te laten condenseren en druppelvorming te krijgen, zijn er condensatiekernen nodig die het proces van druppelvorming op gang te brengen.

Condensatiekernen zijn aërosolen waarop waterdamp kan condenseren.

Hoge aërosolconcentratie → veel condensatiekernen → eerder wolken dan bij lage concentratie.

Wolken die ontstaan bij een hoge aërosolconcentratie vormen kleinere druppeltjes. Deze voegen zich minder snel samen tot grotere druppels, waardoor het langer duurt voordat ze uitregenen.

*Aërosolen beïnvloeden het klimaat doordat ze verantwoordelijk zijn voor meer wolkenvorming en voor een langere levensduur van wolken.*

Grote aërosolconcentratie → grotere druppeldichtheid in wolk → hoger albedo → meer reflectie.

Wolken verminderen ook afkoeling → absorberen infrarode uitstraling → emitteren (warmte naar boven en beneden uitstralen).

Hoge (koude) wolken absorberen meer warmtestraling dan lage (warmere) wolken.

Veel middel en lage bewolking → netto afkoelend → veel zonnestraling gereflecteerd en weinig infrarode straling geëmitteerd.

De verbrandingsgassen van scheepsmotoren vormen rookpluimen, waarin zich meer condensatiekernen bevinden dan in de omgevende lucht (lucht op oceaan is schoon, weinig luchtvervuiling door mens). Waterdamp uit omgevende lucht wordt naar rookpluim toegetrokken en bindt zich aan aanwezige condensatiekernen → wolkensporen.

Boven Middellandse Zee of Oostzee geen scheepswolken → lucht komt van land → bevat al veel condensatiekernen.

Vliegtuigen stoten warme lucht met een hoog gehalte aan waterdamp uit. → lucht eromheen is erg koud → koude lucht kan weinig waterdamp bevatten → extra waterdamp condenseert.

Streep begint eindje achter vliegtuig → warmte van uitlaat belemmert wolkenvorming.

**§4.6 Satellieten**

Geostationaire satellieten

* Draaien op grote hoogte boven de evenaar met de aarde mee.
* Zelfde omlooptijd als aarde (1 rondje per 24 uur).
* Communicatie-doeleinden en weersatellieten.

Polaire satellieten

* Geringe hoogte (1000 km of minder).
* Rondjes om aarde via de polen.
* Ong. 14 rondjes per 24 uur.
* Registreren elektromagnetische straling.

Middelpuntzoekende kracht → om een voorwerp in een cirkelbaan te laten bewegen.

Gravitatiekracht → in geval van satelliet is dit de kracht die de Fmpz levert.

$$r^{3}= \frac{G ∙ M ∙ T^{2}}{4 ∙ π^{2}}$$

*r* = straal van satellietbaan

*G* = gravitatieconstante

*M* = massa aarde

*T* = omlooptijd

Satellieten meten gereflecteerd en verstrooid zonlicht, radiantie.

Hiermee wordt concentratie (broeikas)gassen en aërosolen in atmosfeer bepaald.

**§4.7 De GLOBE Zonfotometer**

Optische dikte geeft aan hoe makkelijk licht door de atmosfeer heen dringt.

Lage optische dikte → licht dringt makkelijk door

Hoge optische dikte → licht dringt moeilijk door

Optische dikte hangt af van:

* Rayleigh verstrooiing (§3.7)
* Verstrooiing en absorptie door aërosolen
* Absorptie door sporengassen, bijv. ozon
* Hoeveelheid gecondenseerde waterdamp

Gemeten zonlicht – bijdrage Rayleigh verstrooiing – ozonabsorptie = bijdrage aërosolen

Verstrooiing door bewolking (waterdamp) is moeilijk te bepalen → optische dikte is alleen goed te meten wanneer het onbewolkt is.

Bijdrage van aërosolen aan optische dikte is AOD (aërosol optische dikte).

*De AOD is een maat voor de ondoorzichtigheid van de atmosfeer als gevolg van de aanwezigheid van aërosolen.*

GLOBE zonfotometer: instrument om AOD te meten.