Waarom stijgt of daalt de temperatuur in de atmosfeerlagen?

De atmosfeer is verticaal opgedeeld in verschillende lagen. het bijzondere verschijnsel waarover u zult lezen gaat over het feit dat is dat in sommige van deze lagen de temperatuur zal dalen, naarmate je hoger gaat, en in andere lagen de temperatuur zal stijgen naarmate je hoger komt. ondanks dat dit deels aardrijkskundig verklaarbaar is willen wij het op een natuurkundige wijze verklaren.

**Door Christiaan Vlas & Stef Delnoye**

## Wat is de atmosfeer?

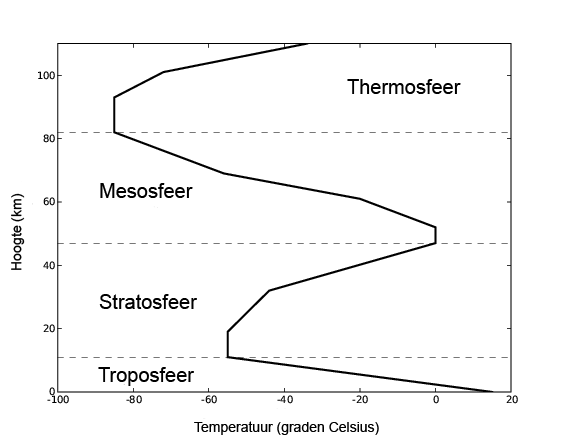
De atmosfeer (ook wel dampkring genoemd) is de luchtlaag om de aarde. De aarde trekt door middel van zwaartekracht lucht aan. De atmosfeer is belangrijk voor het leven op aarde, omdat het een deel van de zonnestraling absorbeert. De aardatmosfeer is 120 km hoog. De atmosfeer is onderverdeeld in vijf lagen.

## Waar onderscheiden de lagen zich in?

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de lagen, op basis van de temperatuur. In sommige lagen gaat, naarmate je hoger gaat, de temperatuur omhoog. Bij andere lagen, vindt het tegenovergestelde plaats.

Tussen elke laag bevindt zich een pauze. De hoogte van deze lagen en pauzes verschilt van plaats tot plaats. Zo zijn deze hoogtes een stuk hoger rond de evenaar dan rond bijvoorbeeld de polen.

De aardatmosfeer bestaat uit de lagen troposfeer, stratosfeer, mesosfeer, thermosfeer en exosfeer. De exosfeer staat niet in figuur 2, omdat de verandering van temperatuur niet verschilt met de thermosfeer (de laag daaronder). Daarom wij nemen de exosfeer niet mee in ons onderzoek.



Figuur 1 *De temperatuur stijgt of daalt, afhankelijk van de laag.*

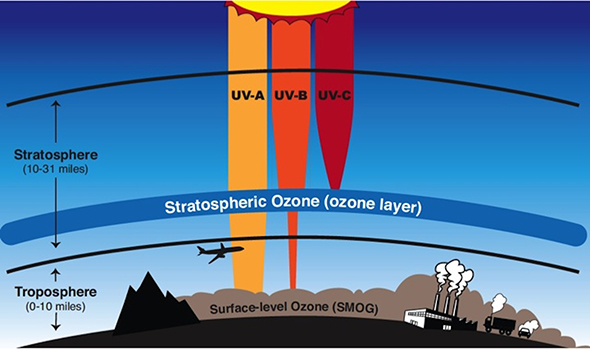
## Troposfeer

De troposfeer is de onderste laag. Dit is ook de laag waarin wolken en neerslag nog bestaan. De troposfeer bevat zo’n 80% van alle lucht in de atmosfeer dus de luchtdruk is in deze laag hoger dan in andere lagen. Er zijn namelijk meer moleculen per volume-eenheid die vaker met elkaar botsen (1).

De temperatuur neemt in deze laag af. Op zeeniveau is de gemiddelde temperatuur nog zo’n 17 graden Celsius, terwijl de temperatuur bij de grens met de stratosfeer al zo’n -52 graden Celsius is. De lucht in de troposfeer wordt niet direct verwarmd door de uv-straling maar UV warmt het aardoppervlak.

Uv-straling bestaat uit drie soorten: UV-A, UV-B en UV-C. UV-A heeft de grootste golflengte en UV-C de kleinste. Hoe kleiner de golflente des te meer schade uv-straling voor de mens kan aanrichten want dit betekent dat de straling meer energie bevat, om huidcellen kapot te maken (7).

De ozonlaag houdt een deel van de uv-straling tegen. Zo wordt UV-C volledig tegengehouden, UV-B deels en UV-A niet (figuur 5).



Figuur 2 *De ozonlaag bevind zich onderaan in de stratosfeer.*

Het aardoppervlak geeft deze warmte vervolgens door aan de lucht. De inkomende zonnestraling heeft een kleine golflengte dus veel energie. De aarde straalt dan infrarood uit dus een grote golflengte, de aarde absorbeert een deel van de inkomende straling en reflecteert het andere deel (9).

Een grotere golflengte gaat gepaard met een lagere energie van het licht. Hoe hoger je komt, des te minder energie de warme lucht heeft om af te staan.

De luchtdruk is binnen de troposfeer op lagere hoogte hoger dan op hogere hoogte. Onder is de dichtheid van de moleculen een stuk hoger. Lager zijn er dus meer moleculen om warmte en bewegingsenergie aan af te staan dan op hogere hoogte (3). Als er meer moleculen in dezelfde inhoud zijn botsen de moleculen ook meer en is de temperatuur ook hoger (8).

Figuur 3 *Deze formule geeft het verband weer tussen de druk (P), de dichtheid (ρ) en de temperatuur (T).   
m= molaire massa.  
z= hoogte.  
gn is de gravitatieconstante en R is de gasconstante. Deze waarden veranderen dus niet. (16)*

De troposfeer is rond de evenaar 13 km dik en rond de polen 6 km. De atmosfeer is dikker bij de evenaar, omdat de lucht bij de evenaar warmer is, en daardoor meer uitzet. Bij de polen is de lucht koud, waardoor de dichtheid omhoog gaat. De zwaartekracht trekt dan harder aan deze lucht (20).

## Tropopauze

De tropopauze is de overgang tussen de troposfeer en de stratosfeer. Hier vindt nauwelijks temperatuurverschil plaats. (17)(18)

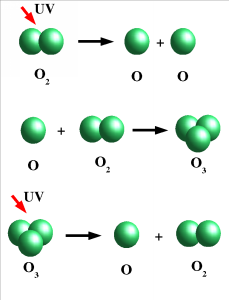
De grens tussen de troposfeer en de stratosfeer wordt bepaald door de positie van de ozonlaag, deze is bij de polen anders dan bij de evenaar.

De tropopauze heeft geen temperatuurverandering omdat de grotere afstand van de aarde en de warmte van de ozon de temperatuur rechttrekken.

## Stratosfeer

In de stratosfeer stijgt de temperatuur als je hoger gaat. Dit komt doordat er in de stratosfeer zuurstof in ozon wordt omgezet, waarbij er warmte ontstaat en aan de omgeving wordt afgegeven (16 & 21).

De ozonlaag is een laag, bestaande uit ozonmoleculen: O3. Het ozon ontstaat als zuurstof onder invloed van uv-straling (met een maximale golflengte van 240 nm komt te staan. Zuurstof splitst zich dan op in twee zuurstofradicalen (twee losse zuurstofatomen). Die kunnen verbinden met zuurstof om zo ozon te vormen (zie figuur 4). De zuurstofradicalen kunnen ook een reactie aangaan met ozon waarbij twee zuurstofmoleculen gevormd worden (16). Als ozon onder uv-straling komt, splitst ozon zich in zuurstof en een zuurstofradicaal. Er kan opnieuw ozon ontstaan. Ozon laat zich sneller breken door uv-straling dan zuurstof, omdat het meer UV op kan absorberen (5).



Figuur 4 *De hierboven beschreven radicaalreactie ziet er zo uit (7).*

Ultraviolette straling bestaat uit fotonen met een maximale golflengte van 400 nm.

Tussen 25 en 35 km hoogte is de verhouding tussen zuurstof en UV optimaal: er is dan het meeste ozon. De hele stratosfeer bestaat deels ozon.

De zuurstofmoleculen in de troposfeer worden niet omgezet naar ozon, omdat de dichtheid te hoog is, waardoor er teveel moleculen zijn om energie aan af te geven. Daarnaast heeft de UV-A te weinig energie.

De zon is de verwarmer van de stratosfeer, dus hoe hoger in de stratosfeer des te dichter bij de zon. De lucht absorbeert dan meer uv-straling. Dus hoe lager in de stratosfeer, des te minder uv-straling is overgebleven (4). De warmere lucht zit in deze laag dus boven de koelere lucht, hierdoor vindt er geen uitwisseling plaats.

De stratosfeer verschilt per hoogte afhankelijk van de plek op aarde: bij de evenaar begint deze op 17 km en op de polen al op 10 km hoogte. Er is hier meer ozon, minder waterdamp en koolstofdioxide.

## Stratopauze

De stratopauze betreft de overgang tussen de stratosfeer en de mesosfeer. De hoogte (48 t/m 55 km) van de stratosfeer wordt bepaald doordat de factoren van zowel de stratosfeer als mesosfeer bijeen komen. Hoe hoger in de stratosfeer, des te meer uv-straling die ozon kan omzetten in warmte. Maar in de stratopauze zakt per hoogte de ozon concentratie, waarbij de uv-straling per hoogte blijft toenemen. De ozonconcentratie is op een gegeven moment zodanig klein dat de temperatuur begint te zakken. Hier begint de mesosfeer. (6).

## Mesosfeer

De mesosfeer is een laag boven de stratosfeer en onder de thermosfeer. Deze strekt zich uit van ongeveer 50 km hoogte tot 80 à 85 kilometer hoogte. De temperatuur daalt op een hoogte van bijna 80 km naar ongeveer -100°C.

De lucht is veel ijler in de mesosfeer dan in de stratosfeer eronder. Er zijn minder luchtmoleculen om inkomende elektromagnetische straling van de zon te absorberen. Dit zijn vooral de ozonmoleculen die ultraviolette straling absorberen en de stratosfeer verwarmen. Maar omdat deze hoeveelheden ozon steeds kleiner worden koelt de lucht hier steeds meer af. (14)

Koolstofdioxide in de mesosfeer helpt ook om deze laag koud te maken. CO2-moleculen absorberen warmte-energie wanneer ze weerkaatsen van andere moleculen. De CO2 geeft een deel van die energie vrij als fotonen in een proces dat stralingsemissie wordt genoemd. Sommige van die fotonen reizen omhoog de ruimte in. Dit voert energie weg van de mesosfeer. (15)

## Mesopauze

De mesopauze is een gebied ongeveer tussen de 80 km hoogte tot ongeveer 90 km hoogte, waarbij de mesosfeer overgaat in de thermosfeer. Dit gebied in de atmosfeer is de temperatuur het koudste gebied in de atmosfeer van de aarde, namelijk ongeveer -100°C.

Vanaf een hoogte van 80 km zijn moleculen in staat om alle zonnestraling lager dan 200 nm te absorberen.(13) Hierdoor begint de temperatuur te stijgen des te hoger je komt. Lees verder voor een uitleg hiervan.

## Thermosfeer

De thermosfeer is de laag boven de mesosfeer en onder de exosfeer. Deze strekt zich uit van ongeveer 90 km tot tussen 500 en 1.000 km hoogte. De thermosfeer ontleent zijn naam aan het Griekse ‘θερμός’, wat warmte betekent. De temperatuur in de thermosfeer kan wel oplopen tot een temperatuur tot 2000°C of hoger.

Zoals je al las onder het kopje mesopauze, zijn moleculen op deze hoogte instaat om zonnestraling helemaal te absorberen. Deze zonnestraling bestaat uit ultraviolette straling, zichtbaar licht en hoogenergetische gammastraling. De temperaturen zijn dus sterk afhankelijk van de zonneactiviteit. Als gasmoleculen deze zonnestralingen absorberen wordt deze energie omgezet in beweging/trillingen. Hoe harder een molecuul beweegt hoe hoger de temperatuur.(10)

Als je met een thermometer de temperatuur zou meten zal het zwaar onder nul aanwijzen. Toch zijn de moleculen behoorlijk warm. De lucht is in de Thermosfeer zo ijl, dat een molecuul wel kilometers kan reizen voordat deze tegen een andere molecuul aanbotsen. Ook als je er zelf zou rondzweven zonder pak zou je het ook niet warm hebben, omdat er gewoon veel te weinig deeltjes rondzweven die tegen je huid zouden botsen om je een warm gevoel te geven. (11)

### Temperatuur meten

De is dus niet zomaar te meten meet een normale thermometer. Hoe meten we dan wel de temperatuur in deze sfeer?

Een indirecte manier om de temperatuur in de thermosfeer te meten is door middel van het Doppler effect. De straling afkomstig van de atomen vertoont bij spectraalanalyse een blauw- dan wel roodverschuiving, die een maat geeft voor de snelheid van de atomen en dus de temperatuur. (12)

Een andere manier is door de dichtheid van deeltjes te bepalen. Hier wordt het ISS ruimte station voor gebruikt. Deze draait namelijk haar rondjes door de Thermosfeer. Deze wordt afgeremd en aangetrokken door de aarde. Door het verlies aan hoogte te meten kun je de wrijving met de thermosfeer en daarmee de dichtheid uitrekenen. Aan de hand van die dichtheid kan men de temperatuur afleiden. (12)

Een directere manier is door complexe meetinstrumenten in de thermosfeer te sturen en zo de snelheid van de moleculen afleiden. (12)

## Samenvatting

In dit artikel werd duidelijk waarom de temperatuur in de sommige atmosfeerlagen stijgt en in andere lagen daalt, naarmate de hoogte toeneemt.

In de troposfeer daalt de temperatuur, omdat het aardoppervlak de lucht in deze laag verwarmt. Hoe hoger, des te minder warmte de lucht heeft om af te geven. De lucht wordt niet direct verwarmt, omdat de ozonlaag een groot deel van de inkomende uv-straling verwarmt.

De overgang van de troposfeer en de stratosfeer noemt men de tropopauze. In de stratosfeer stijgt de temperatuur, omdat er in deze laag wel alle soorten uv-straling aanwezig zijn, waardoor de zuurstofmoleculen boven in de laag veel meer uv-straling opvangen dan onder in de laag. Zuurstof wordt dan omgezet in ozon, waardoor warmte ontstaat. Boven in deze laag ontstaat dus meer warmte, dan onder.

De stratopauze is de overgang van stratosfeer naar mesosfeer. In de mesosfeer is er een daling van de ozonconcentratie, hierdoor wordt er minder zonnestraling geabsorbeerd, dus zakt de temperatuur tot wel -100°C!

De overgang van de mesosfeer naar de thermosfeer heet de mesopauze. De temperatuur van de thermosfeer stijgt omdat de moleculen op deze hoogte in staat zijn om de zonnestraling helemaal te absorberen, waardoor ze al deze energie in warmte kunnen omzetten.

## Bronnen

(1) [de atmosfeer (plaatinfo.nl)](https://www.plaatinfo.nl/begrippen/de-atmosfeer.htm)

(2) [Stratosfeer | www.meteoschoonebeek.nl](http://www.meteoschoonebeek.nl/stratosfeer?msclkid=a1c89bd5b5a311eca551400650f70479)

(3) [Natuurkunde.nl - elektromagnetische golven](https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/51592?msclkid=5b7978d0b5a211eca461c0b20c3c6e80)

(4) [Stratosfeer - Wikipedia](https://nl.wikipedia.org/wiki/Stratosfeer)

(5) [Ozonlaag - Wikipedia](https://nl.wikipedia.org/wiki/Ozonlaag)

(6) <https://en.wikipedia.org/wiki/Stratopause>

(7)<https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/ozon>

(8) <https://en.wikipedia.org/wiki/Troposphere>

(9) [Inversie (meteorologie) - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Inversion_(meteorology))

(10) [Thermosphere (stringfixer.com)](https://stringfixer.com/nl/Thermosphere)

(11)<https://nl.myubi.tv/5234-what-is-the-temperature-of-the-exosphere>

(12)<https://www.wetenschapsforum.nl/viewtopic.php?t=194546>

[The Thermosphere - Windows to the Universe (windows2universe.org)](https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/thermosphere.html&dev=)

(13)[The Upper Mesosphere and Lower Thermosphere: A Review of Experiment and Theory - R. M. Johnson - Google Boeken](https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=hqbUkhgODGkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=mesosphere+and+thermosphere&ots=NiLNSlO5Gk&sig=VCN6D7lUbRkAUB5AMDcxyvZYEu0&redir_esc=y#v=onepage&q=mesosphere%20and%20thermosphere&f=false)

(14)[Temperature in the Mesosphere - Windows to the Universe (windows2universe.org)](https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/mesosphere_temperature.html)

(15)[CO2 | klimaatgek](https://klimaatgek.nl/wordpress/co2/)

(16) <https://en.wikipedia.org/wiki/Stratosphere>

(17) <https://nl.wikipedia.org/wiki/Tropopauze>

(18) <https://en.wikipedia.org/wiki/Tropopause>

(19) Lydolp, Paul E. (1985) The Climate of Earth (blz.12)

(20)<https://physics.stackexchange.com/questions/338603/why-is-the-tropopause-at-a-higher-altitude-at-the-equator>

(21) [The Stratosphere | Center for Science Education (ucar.edu)](https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/stratosphere)