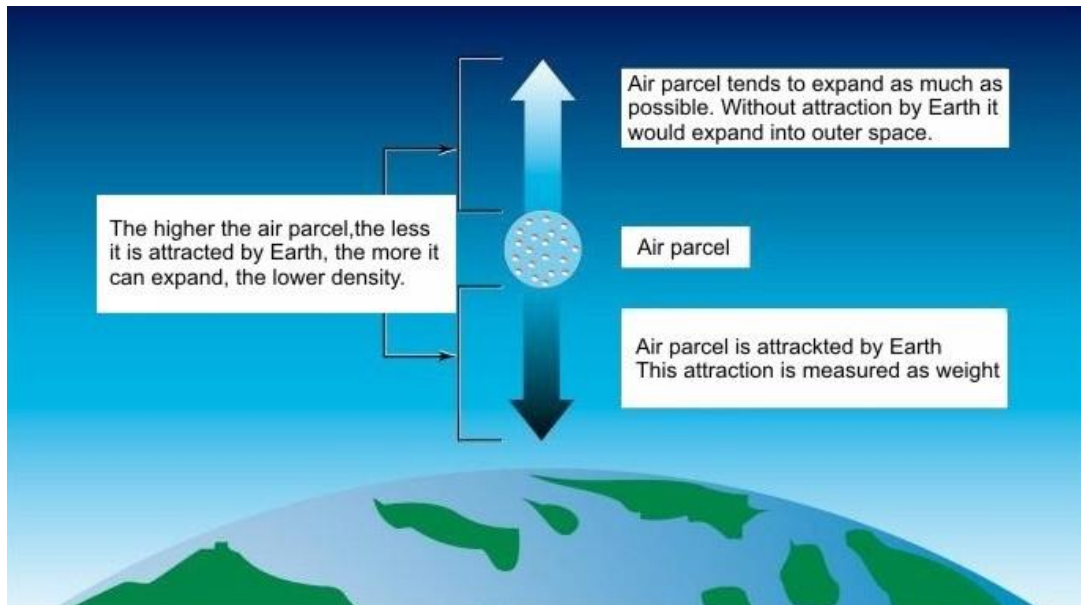


# De atmosfeer



## Samenstelling

- ca. 78% moleculair stikstof ( $N_2$ )
- ca. 21% moleculair zuurstof ( $O_2$ )
- ca. 1% al het overige :
  - water ( $H_2O$ ),
  - ozon ( $O_3$ ), koolstofdioxide ( $CO_2$ ), koolstofmonoxide (CO),
  - radon (Rn), xenon (Xe), krypton (Kr), argon (Ar), neon (Ne),
  - helium (He), waterstof ( $H_2$ ).

### **Tot op 85 km : homosfeer**

De samenstelling is nagenoeg onafhankelijk van de hoogte wegens efficiënte menging door convectie, subsidentie, turbulentie.

### **Boven 85 km : heterosfeer**

Samenstelling verandert met de hoogte.

Zwaardere moleculen (zuurstof en stikstof) blijven laag, lichtere gaan hoog (helium en waterstof).

**Totale massa** van de atmosfeer is geschat op  $5.3 \times 10^{18}$  kg.

Zonder aantrekkingskracht van de aarde zou de atmosfeer vrij expanderen tot in de interplanetaire ruimte. Dit is een zeer belangrijk basisprincipe bij vrije gassen :

**een vrij gas heeft de neiging een zo groot mogelijk volume in te nemen**

Maar elk pakketje lucht wordt door de aarde aangetrokken. Deze aantrekkingskracht heet het gewicht.

Dichter bij het aardoppervlak is dat gewicht groter. De luchtmassa wordt dan sterker naar het aardoppervlak gedwongen en samengeperst.

Verder van het aardoppervlak is dat gewicht kleiner. De luchtmassa wordt dan minder sterk naar het aardoppervlak gedwongen en kan een groter volume aannemen.

1 m<sup>3</sup> lucht bevat minder lucht op grotere hoogte dan dicht bij het aardoppervlak.

## Dichtheid van de atmosfeer (soortelijke massa)

Luchtdichtheid is luchtmassa per eenheid van volume ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
Van de atmosfeermassa zit

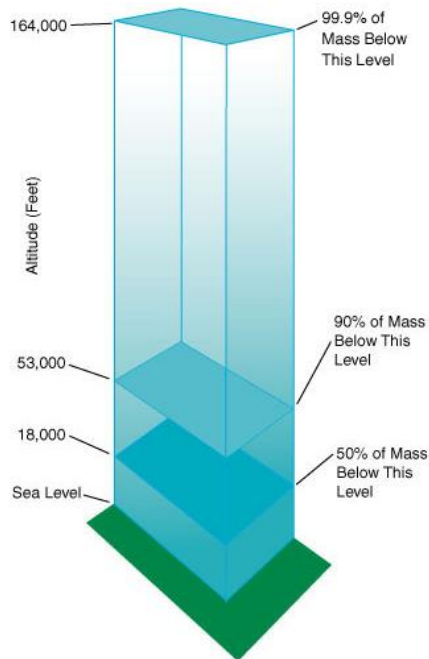
ca 50% beneden 6 km  
ca 75% beneden 11 km  
ca 90% beneden 16 km  
ca 99,9% beneden 50 km

Op MSL is de luchtdichtheid gemiddeld  $1,225 \text{ kg}/\text{m}^3$   
of ca  $10^{18}$  moleculen/ $\text{m}^3$ .

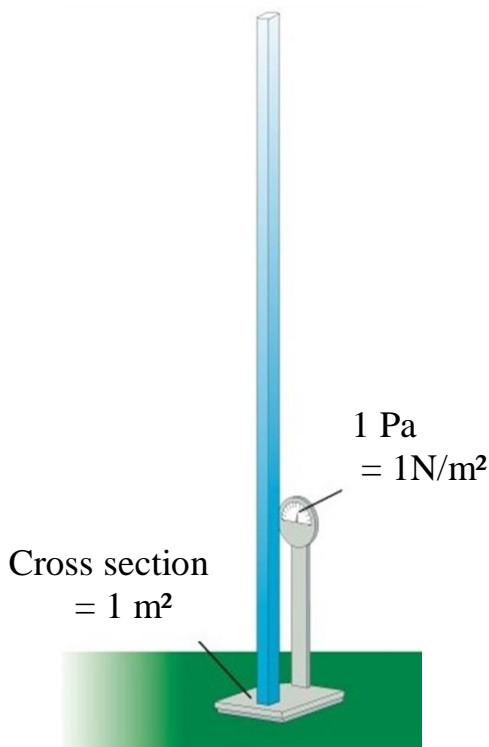
Op ca 12 km ca  $10^6$  moleculen/ $\text{m}^3$ .

De atmosferische dichtheid neemt af met de hoogte.  
Op ca 7 km is ze nog slechts de helft van haar MSL-waarde

(MSL = mean sea level = gemiddeld zeeniveau)



## Atmosferische druk



Het gemiddelde gewicht van een kolom atmosferische lucht boven een oppervlak van  $9 \text{ m}^2$  op MSL is gelijk aan:

$$911925 \text{ N} = 9 \times 101325 \text{ N}$$

Het gemiddelde gewicht van een kolom atmosferische lucht boven een oppervlak van  $4 \text{ m}^2$  op MSL is gelijk aan:

$$405300 \text{ N} = 4 \times 101325 \text{ N}$$

Dat is steeds  $101325 \text{ N}$  per vierkante meter:

$$101325 \text{ N}/\text{m}^2 = 101325 \text{ Pa} = 1013.25 \text{ hPa}$$

### **definitie**

De atmosferische druk op een gegeven plaats en ogenblik is het totale gewicht van een luchtkolom met een dwarsdoorsnede van  $1 \text{ m}^2$  boven die plaats en op dat ogenblik.

Gewicht wordt uitgedrukt in Newton (N). In sommige landen kilogram-force (kgf):  
Atmosferische druk is gewicht per  $\text{m}^2$  en wordt uitgedrukt in Pascal :  
Andere gebruikte eenheden zijn millibar (mb) en hectopascal (hPa):

$$\begin{aligned} 1 \text{ kgf} &= 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N} \\ 1 \text{ Pa} &= 1 \text{ N}/\text{m}^2 \\ 1 \text{ mb} &= 100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} \end{aligned}$$

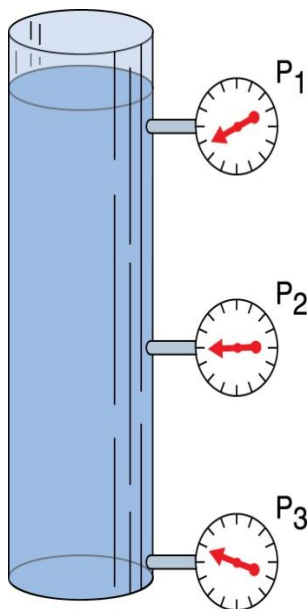
De atmosferische druk op MSL is gemiddeld  $101325 \text{ Pa}$

## Opmerking

Verwar een gewicht van 1 kgf niet met een massa van 1 kg. Op zeeniveau en in standaard omstandigheden heeft een massa van 1 kg een gewicht van 1 kgf. Maar op grotere hoogte heeft die zelfde massa van 1 kg een gewicht dat kleiner is dan 1 kgf. Aan boord van een satelliet in een baan om de aarde heeft diezelfde massa van 1 kg een gewicht van 0 kgf !!

## Verband met de hoogte

Op grotere hoogte is de hoger beschouwde luchtkolom minder lang, en is de lucht ijler. Het gewicht van die kolom wordt dus kleiner met de hoogte: **De atmosferische druk neemt af met de hoogte.**



Op MSL :  
**1013.25 hPa** = 1013.25 mb (= 10332.3 kgf)

Op ca 2 km : 75% van de MSL-waarde  
Op ca 5-6 km : 50% van de MSL-waarde  
Op ca 11 km : 25% van de MSL-waarde

Het verband tussen druk en hoogte is ongeveer exponentieel. **Op ca 6 km is ze nog de helft van haar MSL-waarde.**

Een handige vuistregel voor gebruik bij niet te grote hoogteverschillen is:

$$\Delta p = \rho g \Delta h$$

Hierin is  $\rho$  de luchtdichtheid in de beschouwde omgeving en  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

Op zeeniveau geldt  $\rho \approx 1.225 \text{ kg/m}^3$ , zodat  $\rho g \approx 12$  en

$$\Delta h \approx \frac{\Delta p}{12}$$

Op ca 6 km is  $\rho$  nog maar de helft van de MSL-waarde, zodat op die hoogte

$$\Delta h \approx \frac{\Delta p}{6}$$

Op ca 12 km is  $\rho$  nog maar een kwart van de MSL-waarde, zodat op die hoogte

$$\Delta h \approx \frac{\Delta p}{3}$$

## Barometers

Zie blz. 38

### Kwikbarometer

- Bij gelijke dwarsdoorsnedes is op zeeniveau het gewicht van een atmosferische kolom even groot als het gewicht van een kwikkolom van 76 cm hoog.
- De hoogte van de kwikkolom kan gebruikt worden als indicatie voor de druk.
- Temperatuurcorrectie
- zwaartekrachtcorrectie

### Aneroidbarometer

Een (bijna) luchtledige, luchtdichte, flexibele 'doos' wordt meer of minder samengedrukt naargelang de druk hoger of lager is. Het juiste materiaal en juiste vormgeving kan dit omzetten in een bruikbare aanwijzing van de druk.

## Partieeldrukken

De atmosferische massa is een samenstelling van verschillende gassen volgens welbepaalde percentages (zie hoger). Elk van deze gassen draagt volgens dezelfde percentages bij tot de atmosferische dichtheid. Neem de zuurstof weg uit de atmosfeer en de dichtheid vermindert met ca 21%.

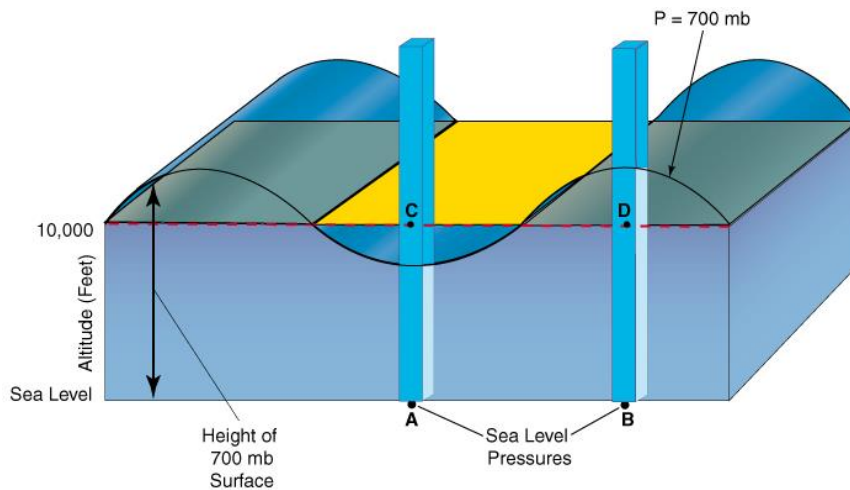
Op dezelfde manier is de atmosferische druk de som van de partiële drukken van de samenstellende gassen. Ca 21% van de lucht is zuurstof. Dat betekent dat de partiële druk voor zuurstof 21% bedraagt van de atmosferische druk. Neem weer die zuurstof weg uit de atmosfeer en de atmosferische druk vermindert met 21%.

Op MSL is partiële druk van zuurstof dus ca 210 hPa. Stikstof draagt 78% bij of bijna 800 hPa, alle andere atmosferische gassen samen ongeveer 1%.

Menselijke longen hebben een zuurstofdruk nodig van minstens 160 hPa, of een atmosferische druk van minstens 760 hPa. Dat is de atmosferische druk op ca 2,5 km. Op grotere hoogtes is pressurisatie noodzakelijk (luchtvaart!).

### Drukoppervlakken

Vlakken van gelijke druk zijn geen platte vlakken !

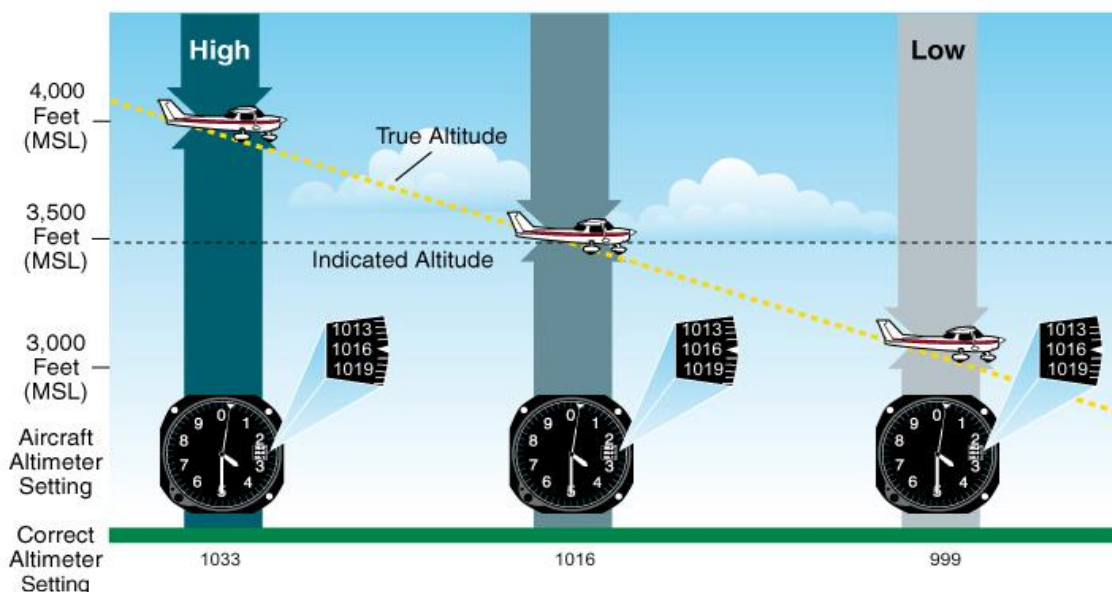


### Hoogtemeting in luchtvaart

Tijdens een vlucht is de *indicated altitude* gelijk aan de ISA-altitude overeenkomend met de statische druk op het vluchtniveau. Dat wil zeggen dat het vliegen op een vaste aangeduide hoogte niet overeenkomt met een constante geometrische hoogte

Constant indicated altitude = constant static pressure !

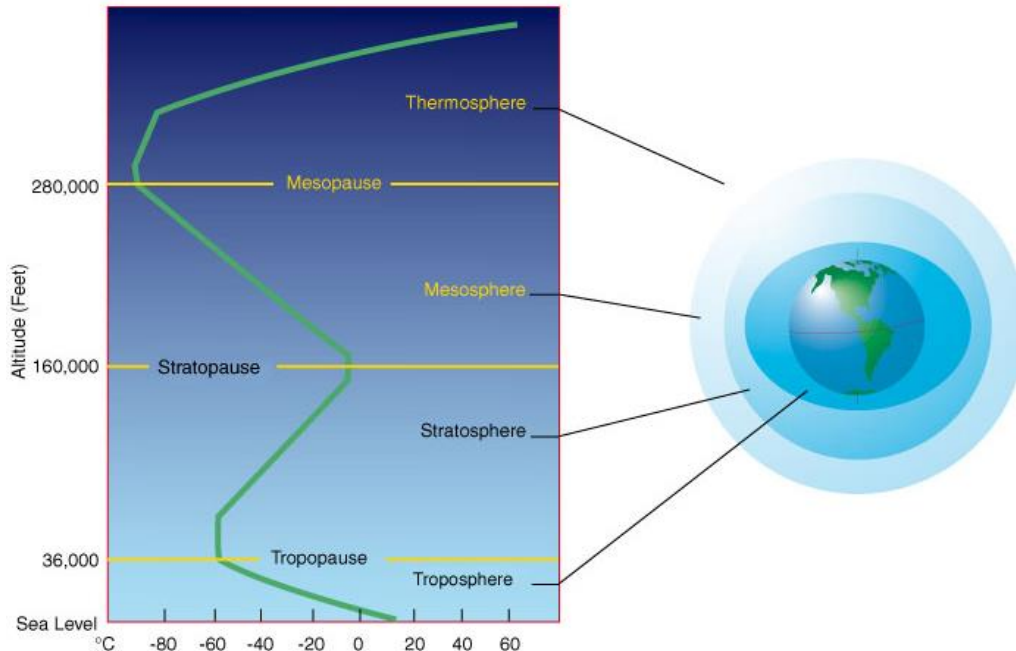
Dat is geen probleem op grote hoogte, maar op lagere hoogte moeten correcties worden aangebracht voor omstandigheden die afwijken van de standaardatmosfeer.



Op lagere hoogte (beneden 5000 ft) :  
for each hPa of surface pressure below (above) standard,

decrease (increase) indicated altitude by 31 ft

## Temperaturen van de atmosfeer



MSL-waarde : 15°C

### **Troposfeer :**

van de aardoppervlakte tot op

7 km (23 000 ft) at the poles,  
11 km (36 000 ft) mean latitude,  
17 km (56 000 ft) at the equator.

*Vooraf opgewarmd door absorptie van warmte uitgestraald door het aardoppervlak.* Dat is de reden van de dalende temperatuur met de hoogte. Dat geeft meteen goede verticale menging.

Bevat ca 80% van de atmosferische massa.

Waterdamp (1 to 5% of volume) praktisch volledig in de troposfeer. Als bron van mist, wolken, ijs, regen, ... van groot belang voor luchtvaart.

**Tropopause** : Bovengrens van de troposfeer. De temperature is er ca -56°C.

**Stratosfeer** : van tropopause tot ca 50 km (160,000 ft).

Temperatuur neemt toe met de hoogte, dat beperkt turbulentie en menging.

**Stratopause** : Bovengrens van de stratosfeer. De temperatuur is er ongeveer 0°C.

**Mesosfeer** : van stratopause tot ca 85 km (280,000 ft).

Temperatuur neemt af met de hoogte.

De meeste binnendringende meteoroiden branden hier op.

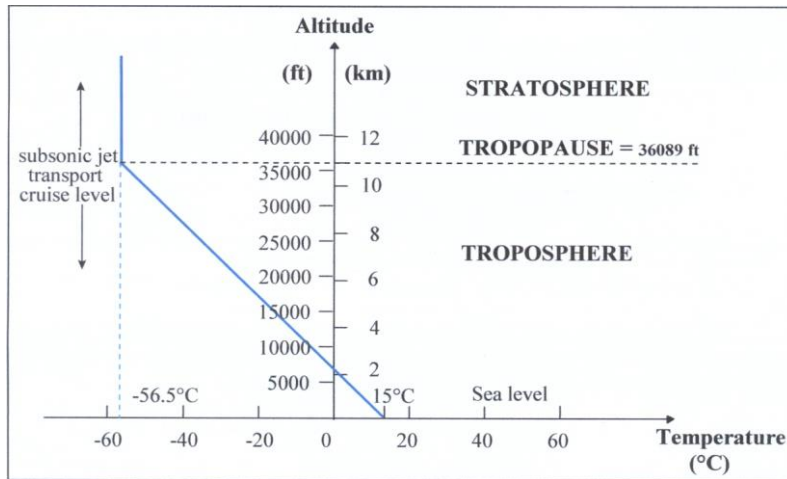
**Mesopause** : Bovengrens van de mesosfeer, de temperature is er het laagst -100°C.

Troposfeer, stratosfeer en mesosfeer samen vormen ongeveer de homosfeer.

**Thermosfeer** : vanaf mesopause tot op enkele honderden kilometers.

Temperatuur neemt toe met hoogte tot ongeveer 1500 °C.

Het hoogste gedeelte bestaat nog enkel uit helium en waterstof (exosfeer), en wordt beschouwd als een doorgangszone naar de interplanetaire ruimte.



Tot aan de tropopause (11 km = 36090 ft) neemt de ISA-temperature af met

$$1.98 \approx 2^{\circ}\text{C per 1000 ft.}$$

Boven de tropopause tot op 20 km, is de ISA-temperature constant gelijk aan ca -56.5°C

### Verband tussen dichtheid, druk en temperatuur

De universele gaswet geeft een verband tussen dichtheid, temperatuur en druk.

$$p = R\rho T$$

$$\text{druk(Pa)} = 287 \times \text{dichtheid} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{temperatuur(K)}$$

$$\text{druk(hPa)} = 2.87 \times \text{dichtheid} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times [\text{temperatuur}(^{\circ}\text{C}) + 273]$$

# Globale luchtcirculatie

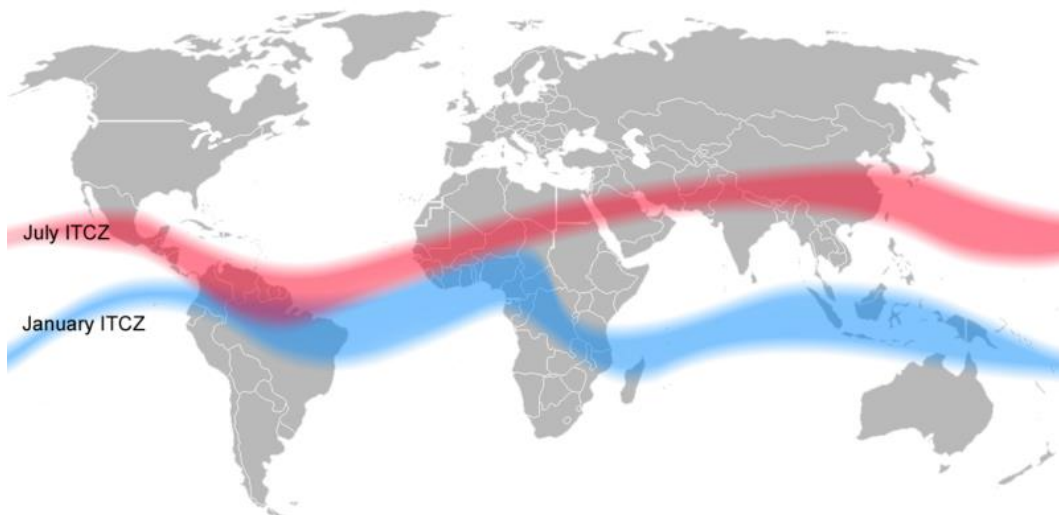
De **thermische evenaar** : de gordel rondom de Aarde van hoogste gemiddelde jaarlijkse temperatuur. Ligt gemiddeld tussen 4°N en 6°N.

Lokale topografie, oceaanstromingen, gebergtes zorgen ervoor dat de thermische evenaar niet overal samenvalt met de geografische evenaar.

Soms wordt de thermische evenaar per seizoen bepaald. In dat geval verschuift hij met de seizoenen tussen de Kreeftskeerkring en de Steenbokskeerkring. (bespreek invloed van aardashelling)

De **intertropische convergentiezone (ITCZ)** is de zone met stijgende luchtbewegingen (ook doldrums genoemd) in de buurt van de thermische evenaar.

De ITCZ verplaatst zich gedurende het jaar onder invloed van de zonnestand. De ligging ervan ijlt ongeveer drie maanden na op de hoogste stand van de zon.



De relatief hoge temperatuur resulteert in stijgende lucht, lage luchtdruk. Erg onstabiel, de ene keer erg droog, en dan weer erg nat met buien en krachtige onweerswolken.

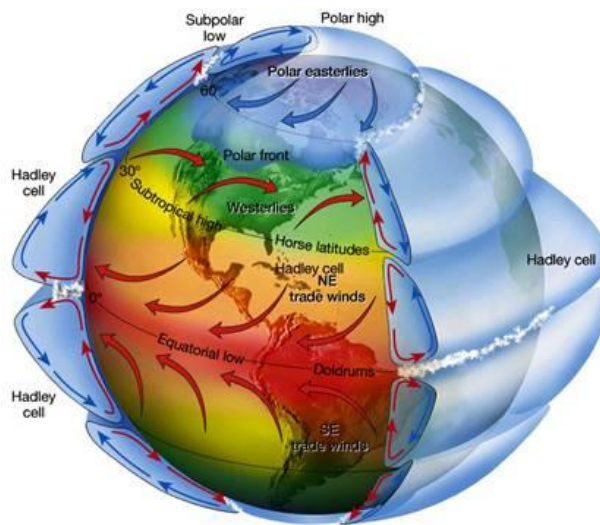


## Hadleycel :

In de ITCZ stijgt warme, natte lucht op tot de tropopauze, daarna richting polen. Rond de 30<sup>ste</sup> breedtegraad daalt de afgekoelde (en droge?!) lucht weer, waardoor meestal aan de oppervlakte een hogedrukgebied ontstaat (woestijnen!). Daarna terug richting evenaar (corioliseffect, **oost-passaat**).

## Polaire cel

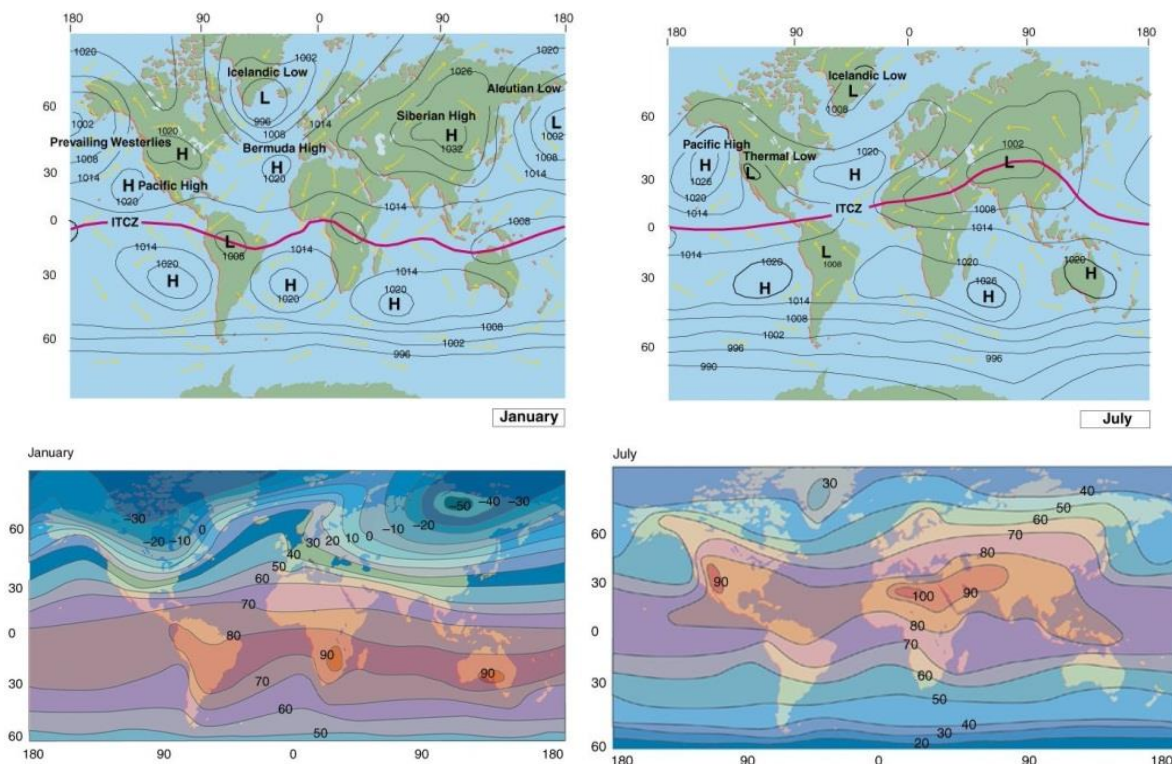
Een polaire cel wordt aangedreven door de koude en droge lucht boven de poolgebieden, die over het aardoppervlak naar warmere gebieden van de polen weg stroomt (corioliseffect, **polaire oostenwind**). Rond de 60<sup>ste</sup> breedtegraad is die lucht warm genoeg om daar op te stijgen tot aan de tropopauze (rond 8 km hoog). Daarna gaat het terug richting polen. Aan de polen is de weer afgekoelde lucht koud genoeg om weer te dalen, waardoor er boven de polen een bijna permanent hogedrukgebied ligt.



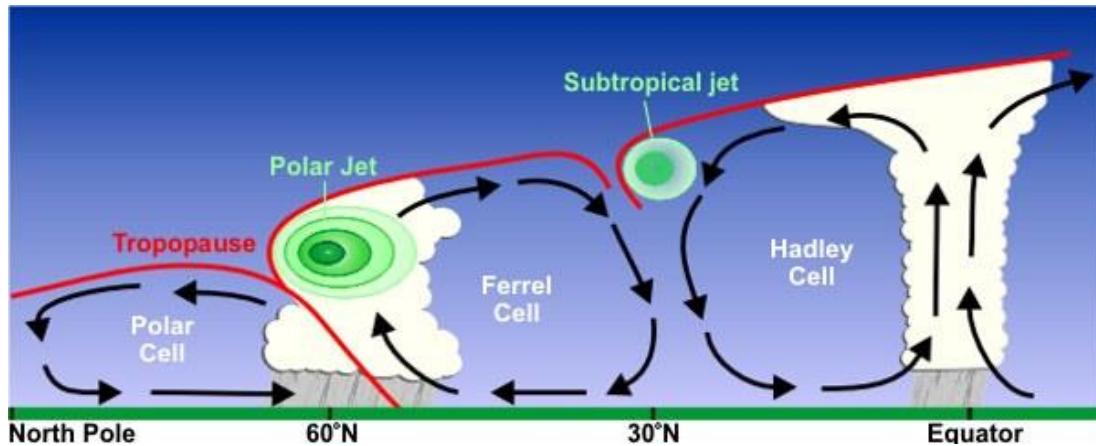
In de winter kan op het noordelijk halfrond de polaire cel soms veel verder naar het zuiden reiken, bijvoorbeeld tot voorbij Midden-Europa, dat op die manier in het polaire hogedrukgebied terecht komt. Dit heet een Siberisch hoog (koude noordenwind, zonnig).

De gezamenlijke activiteit van een Hadleycel en een Polaire cel geeft aanleiding tot een **Ferrelcel** (tussen ca 30° en 60°). Hadleycellen en polaire cellen zijn gesloten systemen. Ferrelcellen zijn minder duidelijke atmosferische fenomenen. De luchtcirculatie in de Ferrelcellen is ingewikkelder en onregelmatiger dan in de andere cellen. Corioliseffect doet de wind in de Ferrelcellen wel naar het oosten afbuigen, wat dan overwegend westenwind geeft, maar die westenwind wordt vaak onderbroken door andere windrichtingen. Op gematigde breedte verandert het weer daardoor meer dan in de tropen of poolgebieden.

Als de thermische evenaar het verst van de echte evenaar vandaan ligt, in de herfst en lente, kan een van de Hadleycellen over de evenaar heen liggen. Tijdens de noordelijke herfst ligt de noordelijke Hadleycel over de evenaar heen. Vanop het noordelijke halfrond gaat de passaat naar het ZW maar als hij de evenaar passeert keert hij naar het ZO.

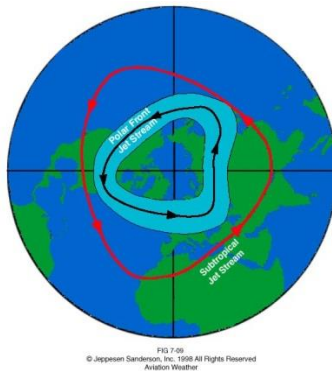


# Straalstromen



Lintvormige baan van hoge windsnelheid (< 60 kt, kan oplopen tot 200 kt).

- Meestal van W naar O, met golven (Rosby)
- Soms zichtbaar als zeer langgestrekte banden van hoge bewolking
- Een paar duizend km lang
- Een paar honderd km breed
- Enkele km dik



**Polaire straalstroom** (zeer belangrijk voor 'ons' weer):

7-12 km hoogte  
tussen 30°N en 60°N

**Subtropische straalstroom:**

10-16 km hoogte  
Rond 30°N

De polaire straalstroom wijst enigszins de ligging aan van het polaire front

## Winter

Als de polaire straalstroom ten zuiden van ons land ligt, dan ligt ons land ten noorden van het polaire front. In heel het gebied ten noorden van de straalstroom overheerst het koude weer en brengen depressies meestal sneeuw teweeg. Geen grootschalige stormen. In de winter ligt de polaire straalstroom soms tot boven Spanje.

Bevindt de straalstroom zich echter ter hoogte van ons land dan is de winter eerder zacht. Een storm is zeker niet uitgesloten (vb januari 2007). Ons land ligt dan dicht bij het polaire front.

## Lente

Als de lente aanbreekt en het zachter weer wordt, verplaatst de straalstroom zich naar het noorden. Als hij over ons land komt, of er vlak langs gaat, zorgt dat voor veel regen en wind en soms ontstaan er stormen. Voorjaarsstormen.

## Zomer:

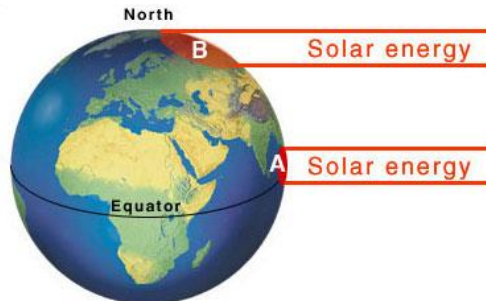
Als de straalstroom zich tijdens de zomer over ons land bevindt, hebben we geen mooi zomerweer. Regelmatig regengebieden en frisse lucht vanuit zee. Ligt de straalstroom eerder noordelijk bv boven Scandinavië, dan betekent dat meestal warm, droog en standvastig zomerweer. Soms is de straalstroom zelfs helemaal niet terug te vinden op de weerkaarten.

**Herfst:**

Stormseizoen bij uitstek. De straalstroom vaak in onze buurt. Hierdoor invloed van lagedrukgebieden, die veel regen en wind meebrengen

# Aard en temperatuur van de bodem

De gemiddelde (over een jaar) temperatuur van een zekere plaats op aarde hangt af van de van de **afstand door de atmosfeer** die de zonnestraling moet afleggen om de het aardoppervlak te bereiken. Dit is in belangrijke mate gekoppeld aan de **geografische breedte**.



De zonne-energie die de atmosfeer binnen dringt, wordt voor het de aardoppervlakte bereikt :

- gedeeltelijk gereflecteerd (wolken)
- gedeeltelijk geabsorbeerd (water, stof, ozon)

De zonne-energie die het oppervlak bereikt, wordt door het aardoppervlak :

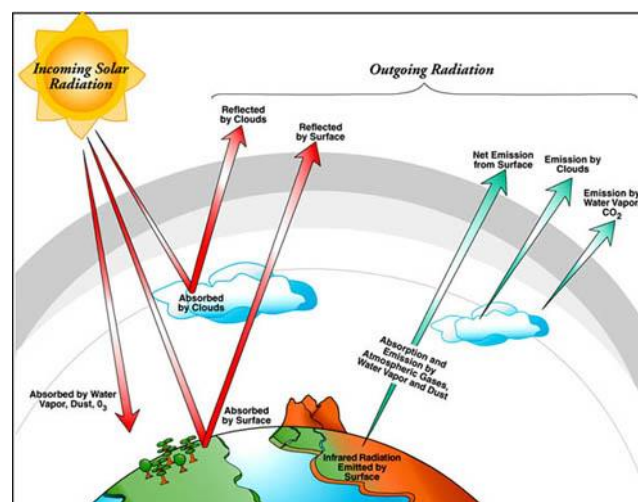
- gedeeltelijk gereflecteerd,
- gedeeltelijk geabsorbeerd.

De door de aarde geabsorbeerde energie veroorzaakt :

- verhoging van de temperatuur van de bodem
- en/of
- verdamping van water, smelten ijs
- en/of
- andere fysische, biologische of chemische processen
- en/of

Een belangrijk deel wordt terug uitgestraald. Deze terug uitgestraalde energie is nooit nul ! Het wordt bovendien groter naarmate de temperatuur van de bodem hoger is. Deze uitgestraalde energie wordt gedeeltelijk opgenomen door de lucht, die daardoor extra opwarmt.

De aarde bezit zelf een interne warmtebron, wat ook bijdraagt aan de gemiddelde temperatuur van de onderste atmosfeerlagen (-20°C naar 15°C).



De door de aarde geabsorbeerde energie kan dus op vele wijzen 'verwerkt' worden afhankelijk van de bodem. De **aard van de aardbodem** (water, zand, sneeuw, ...) is daarbij zeer belangrijk.

### **Als de bodem bestaat uit water** (meer, zee, ocean)

Een deel van de geabsorbeerde warmte verhoogt de watertemperatuur.

Alhoewel water slecht warmte geleid, door belangrijke interne beweging (stromingen, golfbeweging en wind) wordt de warmte tot op grotere diepte gebracht. Zo stockeert een wateroppervlak warmte. **Water stockeert warmte door convectie**, niet door conductie.

Nog een ander deel van de geabsorbeerde warmte doet water verdampen. Watermoleculen verlaten de vloeistof en gaan vrij bewegen tussen de luchtmoleculen. Deze 'vrije' watermoleculen vormen de waterdamp.

Het terug uitgestraalde deel van de geabsorbeerde warmte verhoogt de temperatuur van de lucht in de nabijheid van het wateroppervlak. De verwarmde lucht stijgt en brengt de warmte zo tot op grotere hoogte, wat gecompenseerd wordt door dalende koelere lucht. **Op die wijze stockeert lucht warmte door convectie**, niet door conductie (lucht is een slechte geleider)

Hoe hoger de temperatuur van het water, des te meer damp wordt gevormd.

Hoe hoger de temperatuur van de lucht des te meer waterdamp ze kan bevatten zonder vorming van wolken (saturatie, condensatie).

Dit alles betekent dat wateroppervlaktes en lucht in contact met een wateroppervlakte slechts kleine schommelingen vertonen in temperatuur (dagelijkse, seizoenale, maritiem klimaat).

### **Als de bodem bestaat uit zand** (woestijnen).

Een deel van de geabsorbeerde warmte verhoogt de zandtemperatuur.

Zand is een slechte geleider en *vertoont helemaal geen interne beweging*. Enkel de opperste laag wordt verwarmd en *geen warmte wordt naar diepere lagen afgevoerd*. Dat leidt tot snelle en belangrijke dagelijkse en seizoenale variaties. **Zand stockeert zo goed als geen warmte**.

Maar ook de verhoogde zandtemperatuur verhoogt op zijn beurt de temperatuur van de onderste luchtlagen. De zo opgewarmde lucht begint eventueel te stijgen (convectie), wat gecompenseerd wordt door dalende koelere lucht. Op die wijze wordt de warmte in de hoogte verspreid. **Lucht stockeert warmte door convectie**, niet door conductie (lucht is een slechte geleider)

De temperatuur van de onderste luchtlaag volgt de temperatuur van het zand, waardoor er snelle en belangrijke dagelijkse en seizoenale temperatuurschommelingen zijn (continentaal klimaat). Temperatuur inversion komt heel dikwijls voor gedurende de nacht en in de ochtend wegens de lage oppervlakte temperatuur.

### **Als de bodem bestaat uit sneeuw**

Het grootste deel van de ontvangen zonnestraling wordt gereflecteerd.

Bovendien geleid sneeuw helemaal geen warmte naar de bodem toe noch andersom.

Een sneeuwbodem warmt ook niet op en koelt niet af, heeft een nagenoeg constante temperatuur. Extreme koeling van de onderste lagen van de atmosfeer. Inversie.

### **Als de bodem bestaat uit ...**

De hoger vermelde oppervlaktes zijn extremen.

Er zijn nog veel andere soorten. Rots, bitumen, beton, verschillende soorten en hoeveelheden vegetatie, ... .

Begroeiide en donkere oppervlakten zoals bossen en asfalt absorberen veel, reflecteren relatief weinig.

Witte oppervlaktes (sneeuw, ijs) absorberen dan weer weinig of niets en reflecteren hoofdzakelijk.

### **Rol van de wind**

Lucht is slechte geleider.

Lucht wordt door de bodem opgewarmd of afgekoeld. Hoe groter het temperatuurverschil des te efficiënter de warmteoverdracht. Maar zodra beide zelfde temperatuur hebben, is er geen netto warmteuitwisseling meer.

Wind kan warmte (en vocht) afvoeren of aanvoeren.

Als overdag de zon de bodem opwarmt, voert wind die gedeeltelijk af en draagt die als het ware over aan de lucht. De warmteoverdracht van bodem naar lucht, wordt zo in stand gehouden. Op dezelfde wijze verhoogt wind de verdamping vanuit een vochtige bodem.

Na zonsondergang koelt de aarde af door straling. In de winter gemakkelijk tot onder 0°C.

De lucht erboven koelt veel trager af. Er ontstaat eventueel inversie. Is de lucht vochtig, dan kan condensatie optreden, als de lucht afkoelt tot aan het dauwpunt. Dan treedt dauw op. Wind voert eventueel de koudere lucht af en voert warmere lucht aan.

### Rol van de bewolking

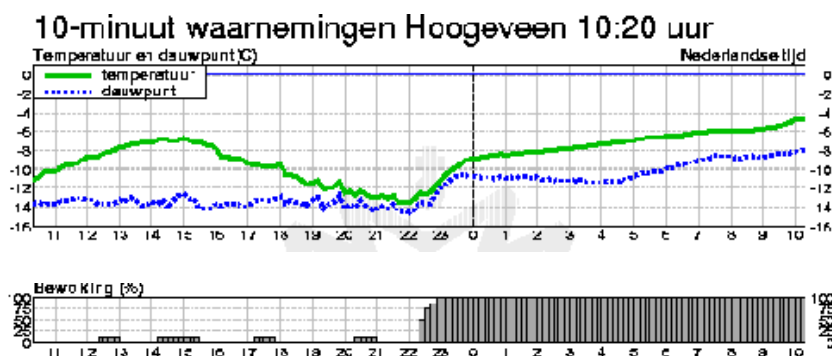
Naast de wind speelt ook de bewolking een grote rol bij de nachtelijke afkoeling.

In wolken zitten waterdruppeltjes en ijskristallen. Het water in die wolken, zowel in vaste als in vloeibare vorm, absorbeert vrijwel alle straling die door het aardoppervlak wordt uitgezonden.

Afhankelijk van de temperatuur van de wolken, en dus van de hoogte waarop ze zich bevinden, zal de bewolking op haar beurt een groot deel van de straling weer terugstralen naar het aardoppervlak.

Dit verklaart het verschil in temperatuur na een heldere en na een bewolkte nacht. In een heldere nacht kan de aardse straling ongehinderd in de wereldruimte verdwijnen, waardoor sterke afkoeling optreedt. Is het daarentegen bewolkt, dan wordt die straling onderschept en in meerdere of mindere mate teruggestraald. Daarbij moet nog in rekening gebracht worden dat de atmosfeer zelf ook warmte uitstraalt, gedeeltelijk ook naar het aardoppervlak toe.

Ook kan het zijn dat nog een gedeelte van de straling die het aardoppervlak bereikt, gereflecteerd wordt. Dat hangt sterk van de aard van het oppervlak af. *De hoeveelheid door de aarde uitgezonden straling is ongeveer even groot als de door de atmosfeer naar het aardoppervlak gezonden hoeveelheid straling. De straling uitgezonden door de wolken ligt in de orde van een tiental procenten van deze waarden. Wolken spelen dan ook een grote rol bij de nachtelijke afkoeling.* Of er uiteindelijk meer energie uitgestraald wordt door het aardoppervlak dan er ontvangen wordt, hangt sterk van de bewolking af. Een geringe hoeveelheid bewolking is al voldoende om de balans te laten doorslaan naar een situatie waarbij het aardoppervlak meer straling ontvangt dan kwijt raakt, waarbij de nachtelijke afkoeling sterk vermindert of stopt. Een voorbeeld van een gedurende de nacht oplopende temperatuur bij het binnendringen van bewolking geeft de figuur hieronder.



Het zal duidelijk zijn dat hierbij ook de wind weer een rol speelt; die bepaalt mee of er meer warmte wordt toegevoerd of wordt afgevoerd. Verder speelt de terreïnvloed ook weer mee. Het geheel is dus een tamelijk ingewikkeld en vooral subtiel proces. Kleine veranderingen of verschillen hebben grote invloed. Dat blijkt ook uit vergelijking van plaatsen waar mist en/of gladheid ontstaat. Er treden vaak grote verschillen op over kleine afstanden.

# Luchtsoorten

Lucht die zich gedurende **voldoende tijd** min of meer **in rust** bevindt boven een **uitgestrekt en homogeen oppervlak (brongebied)**, neemt geleidelijk de temperatuur en de vochtigheid van dat oppervlak over. (Uitgestrekt = honderden tot duizenden km<sup>2</sup>)

Op die wijze ontstaan **luchtsoorten** :

Horizontaal : homogeen in temperatuur en vochtigheid op elke hoogte

Vertikaal : van enkele honderden meter tot enkele km; soms tot aan de tropopause.

Soorten **brongebied** : woestijnen, oceanen, ijsvlaktes, toendra, ...

Geschikte brongebieden zijn :

de polaire hogedrukgebieden,  
subtropische hogedrukgebieden,  
equatoriale lagedrukzone

Afhankelijk van het brongebied heet de luchtsoort

**Arctisch (A)** : lucht uit de poolstreken

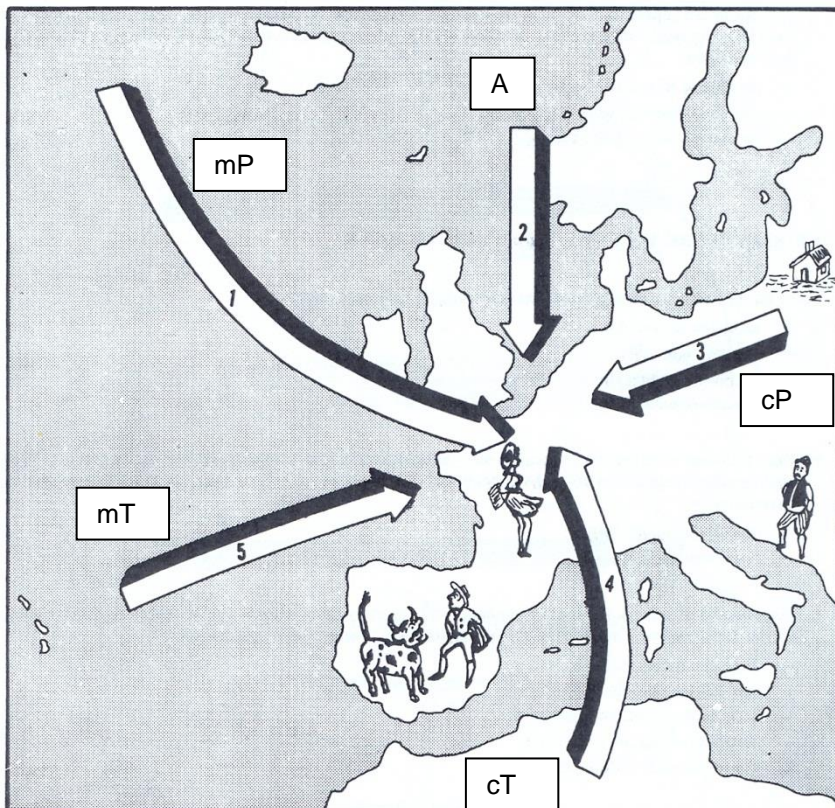
**Polair (P)** : lucht van gematigde breedten

Maritiem-polair (mP) of continentaal-polair (cP)

**Tropisch (T)** : lucht uit de subtropen

Maritiem-Tropisch (mT) of continentaal-Tropisch (cT)

**Equatoriaal (E)** : lucht uit de equatoriale lagedrukzone



## Koude en warme luchtmassa

Bij een warme luchtmassa is de luchttemperatuur op waarnemingshoogte (1,5 meter boven het aardoppervlak) hoger dan de temperatuur van het aardoppervlak. **Bij warme massa koelt het aardoppervlak de onderste luchtlaag af.**

Bij een koude luchtmassa is de luchttemperatuur op waarnemingshoogte (1,5 meter boven het aardoppervlak) hoger dan de temperatuur van het aardoppervlak. **Bij koude massa warmt het aardoppervlak de onderste luchtlaag op.**

Dezelfde luchtsoort kan zich op de ene plaats als koude massa voordoen en op een andere als warme massa.

Voorbeelden :

Als een luchtsoort van over het land komt en over zee gaat of andersom.

Een welbepaalde luchtsoort kan over dag een koude massa zijn (kouder dan de bodem) en 's nachts een warme (warmer dan de bodem).

## Koude massa

Bij koude massa wordt de onderste luchtlaag opgewarmd.

Beweging naar het zuiden

Beweging van koud continent naar warmere zee.

Naarmate de temperatuur onderaan toeneemt, wordt de luchtmassa meer en meer **onstabiel**.

Dit kan dan leiden tot convectie. Compensatie met subsidentie.

Degelijke verticale menging :

**Beter zicht**, stof en condensatiekernen over hogere laag verdeeld

**Buiig**, hogere en snellere wind wordt naar beneden gebracht

Bij voldoende vochtigheid vorming van **convectieve bewolking (cumulus en cumulonimbus)**. Deze bewolking bedekt nooit de gehele hemel (wegens compenserende subsidentie).

## Warme massa

Bij warme massa wordt de onderste luchtlaag afgekoeld.

Beweging naar het noorden

Beweging van warm continent naar koudere zee.

Koele lucht wil zakken. Naarmate de temperatuur onderaan afneemt, wordt de luchtmassa meer en meer **stabiel**.

Weinig verticale menging :

**Matig tot slecht zicht, eventueel mist**

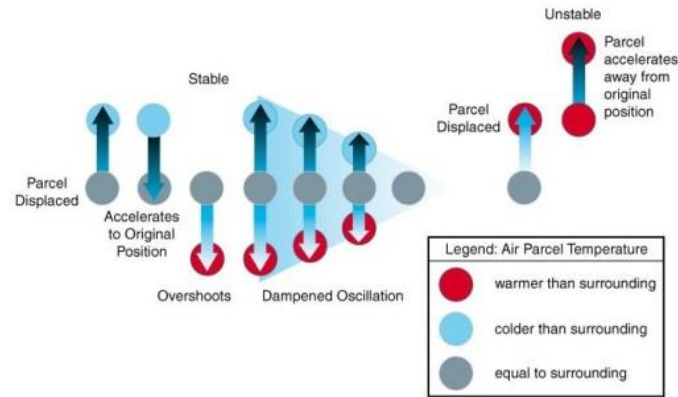
**Regelmatige wind**

Bij droge lucht eventueel een wolkenloze hemel zijn.

Bij een front zal de warme massa echter opgetild worden, waardoor de gehele luchtmassa condenseert en uitgestrekte, gelaagde bewolking ontstaat, **stratus** en **stratocumulus**.

## Stabiliteit

Weerstand tegen verticale beweging



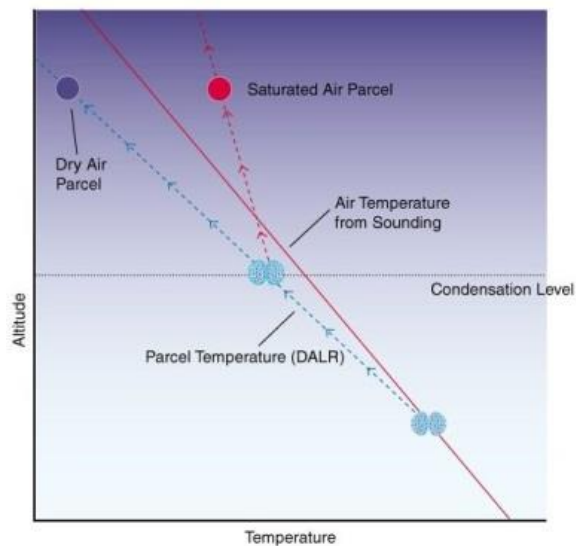
Een luchtbel : verwaarloosbare warmteuitwisseling met de omgeving

Bij optilling : afkoeling (waarom?)

Bij daling : opwarming (waarom?)

Temperatuur van de omgeving neemt ook af met de hoogte

Temperatuur luchtbel <=> temperatuur omgeving



### Het weer in enkele luchtsoorten

Het weer, wordt in de eerste plaats bepaald door de luchtsoort en de weg die ze volgde.

#### Maritiem tropische lucht (mT)

overwegend warme en vochtige massa afkomstig van de subtropische zone (anticyclon v.d. Azoren)  
noordelijke beweging : langzame afkoeling aan de bodem, stabilizerend.

Eens boven het continent in de zomer:

- overdag eventueel transformatie in koude massa.
- verandering van de bewolkingssoort van St en Sc naar Cu en eventueel Cb.
- onweders

Eens boven het continent in de winter:

- bijzonder stabiel karakter.
- stratus, mogelijk hardnekkige mist en motregen
- zicht vrij slecht

De temperatuur en vochtigheid zijn in deze luchtsoort doorgaans hoger dan in elke andere luchtsoort.

#### Continentaal tropische lucht

afkomstig van N-Afrika, in de zomer ook uit de Balkan.  
vooral belangrijk voor zuidelijk Europa  
warmste en droogste luchtsoort die ons land kan bereiken.  
doorgaans slecht zicht (groot stofgehalte).

in het algemeen wolkeloos zijn, afgezien van enkele Cumuli, die 's zomers in de namiddag kunnen ontstaan als de luchtsoort koude massa is geworden.

### Maritiem polaire lucht

Afkomstig uit Noord Atlantische Oceaan.

Is de luchtsoort die het meest in onze omgeving voorkomt.

In de zomer koude massa met gebroken bewolking, enkele buien en goed zicht.

In de winter vaak warme massa, omdat zij over een kouder continent trekt. Cumu wordt strati

### Continentaal polaire lucht

In de winter

overwegend koude massa

weinig bewolking

goed zicht (behalve eventueel stralingsmist)

In de zomer

Eerder warme massa

weinig bewolking

goed zicht

### Arctische lucht

In het brongebied (polaire anticycloon) eerder warme massa

Wordt koude en onstabiele massa tijdens de tocht naar het zuiden.

Meestal gepaard met harde tot stormachtige NW-winden.

Cumulus, cumulonimbus, regen, sneeuw, hagel.

Buiten de buien zeer goed zicht.

# Wind

## Krachten die de lucht in beweging zetten

### Gradientkracht

Veroorzaakt door drukverschil (plaat dwars in een luchtstroom of waterstroom, surfplank, vleugel, ...)

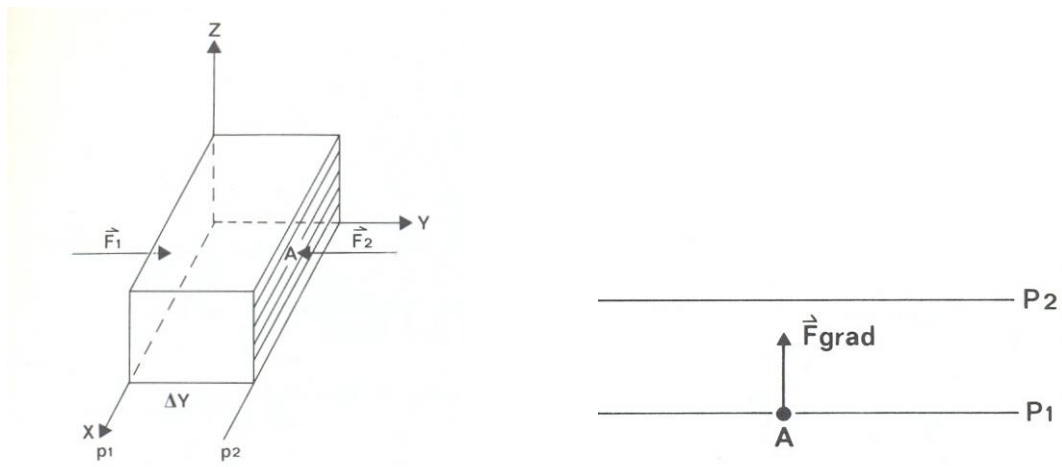
Drukverschil per afstandseenheid :  $G$  ( $G = \Delta p / \Delta y$ )

Luchtdichtheid :  $\rho$

De gradientkracht werkend op 1 kg lucht is :

$$F_p = \frac{G}{\rho}$$

(is groter in ijlere lucht ?)

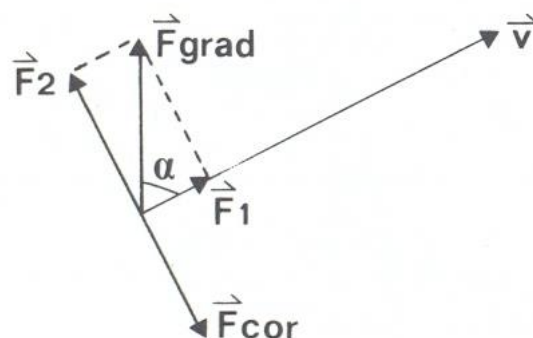


### Corioliseffect

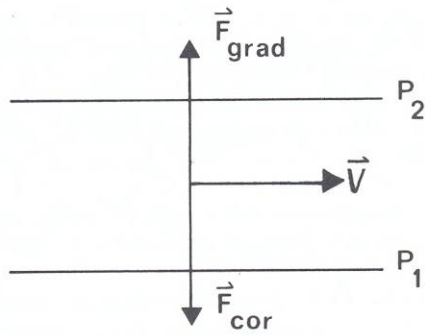
De aarde wentelt om haar as aan  $15^\circ$  per uur of  $15''$  per seconde of  $\omega = 0,0000727$  rad/s

Dat leidt tot een schijnbare kracht per kg massa van

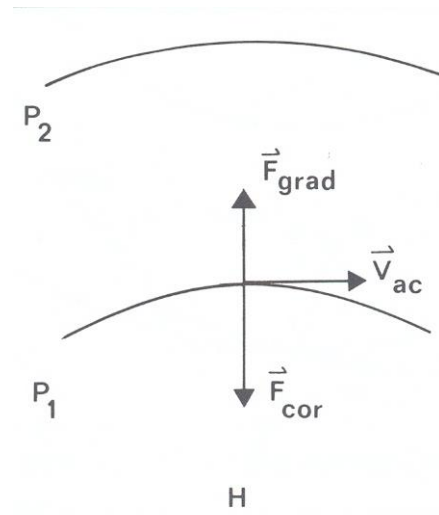
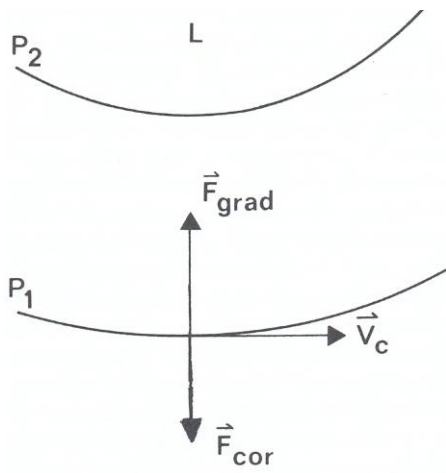
$$F_{cor} = 2\omega v \sin Lat$$



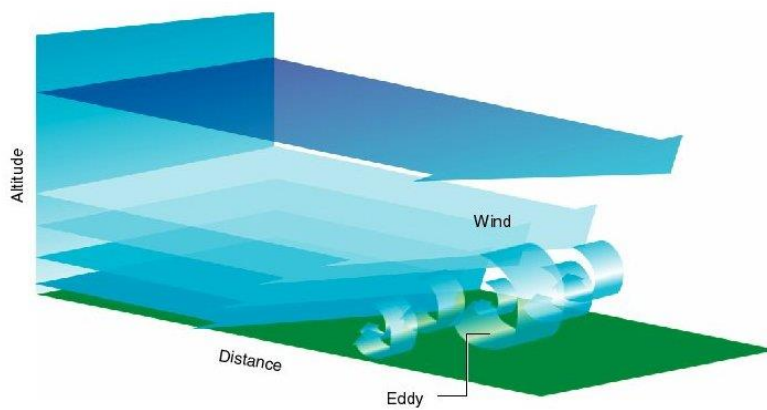
### Geostrofe wind

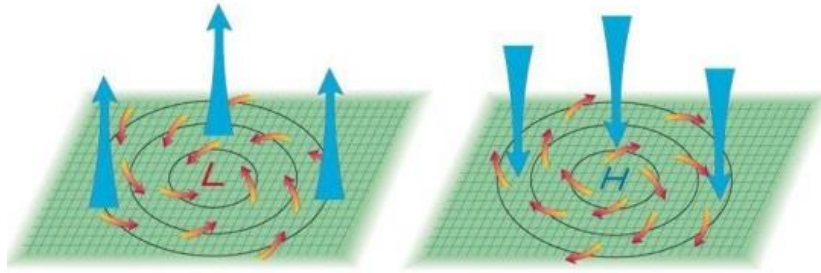


Gradient wind

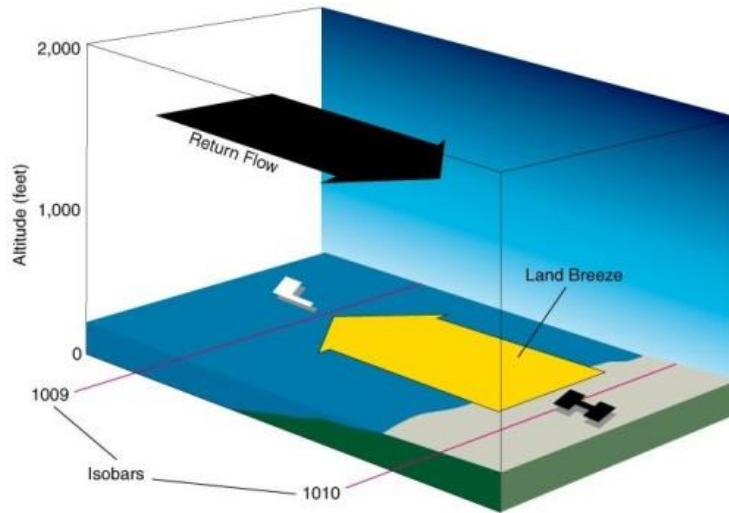


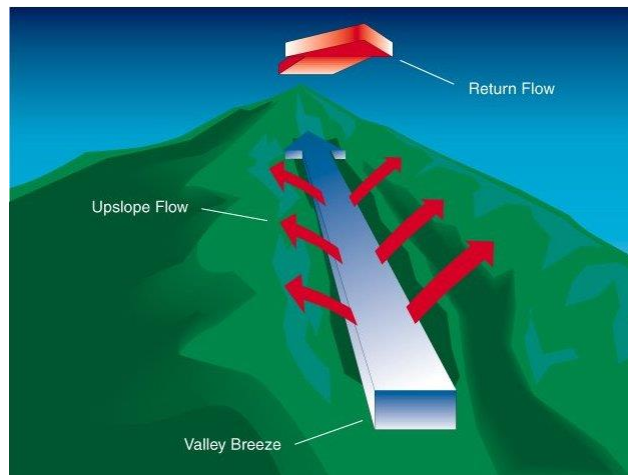
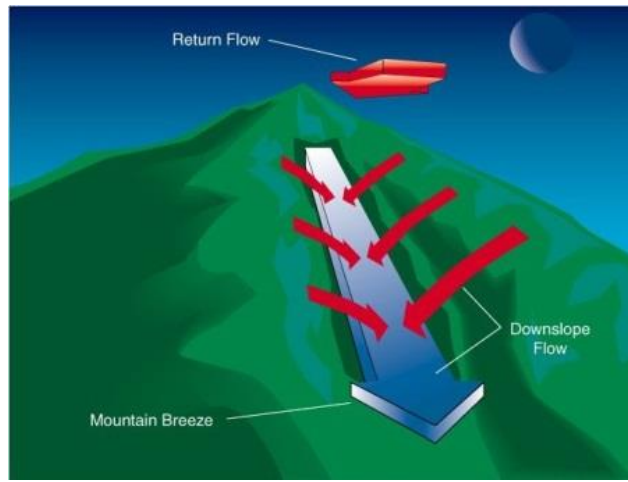
Wrijvingskracht



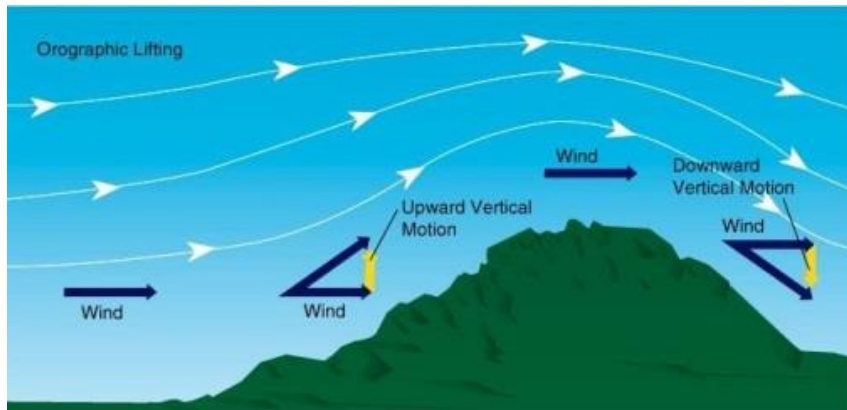


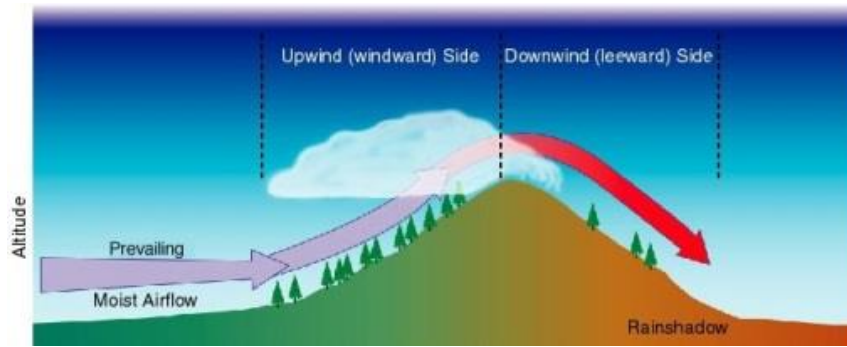
Bries



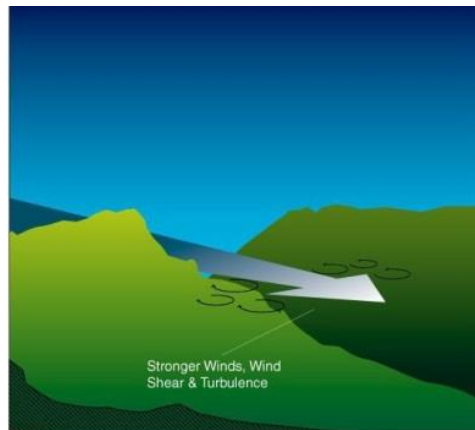


Orografische optilling

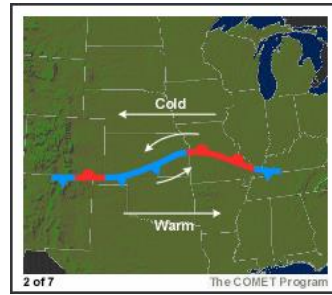
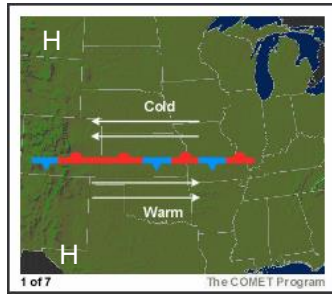




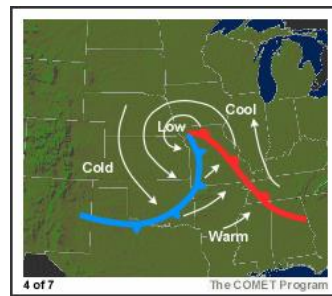
Venturi effect



# Fronten

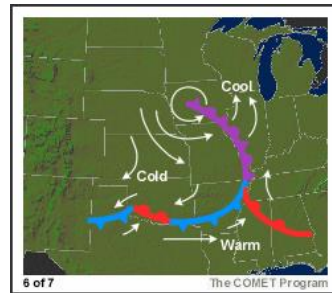


Aan het polaire front (kwasi-stationair)

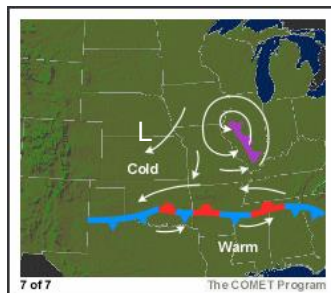


Regelmatig ontstaat er een onstabiele golf

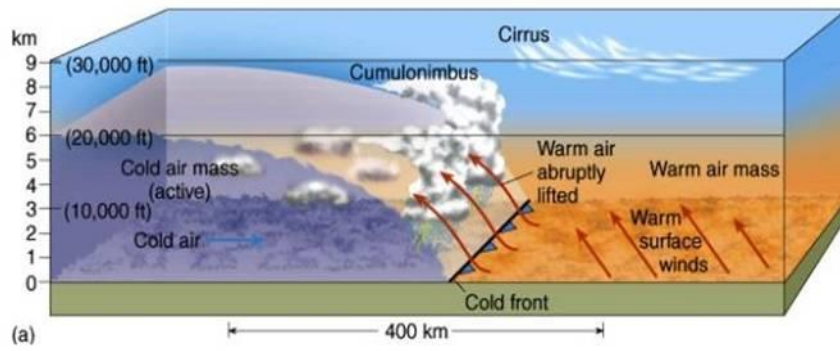
- kern van lage druk
  - beweging rondom die kern
  - snelheden nemen toe
- eerst vooral van de warmere lucht  
daarna haalt de koudere lucht de warmere in



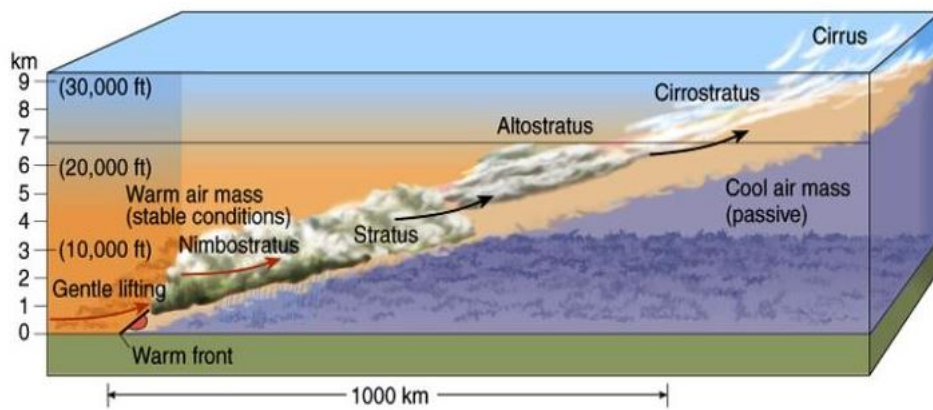
Als de koudere lucht de warmere heeft ingehaald, wordt deze laatste de hoogte ingestuwd.



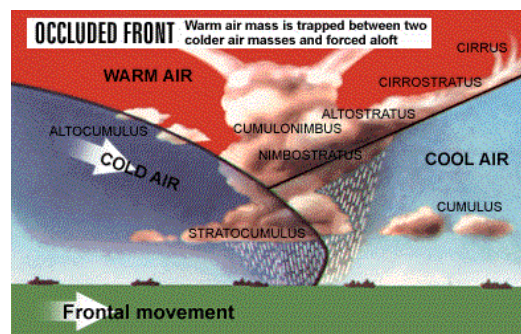
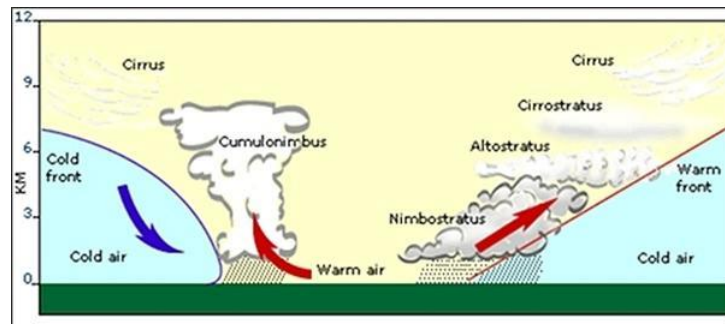
## Koufronten



## Warm front

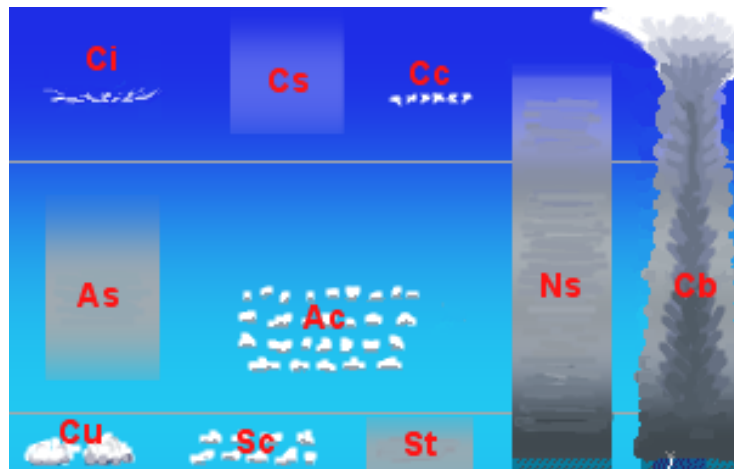


## Occlusie

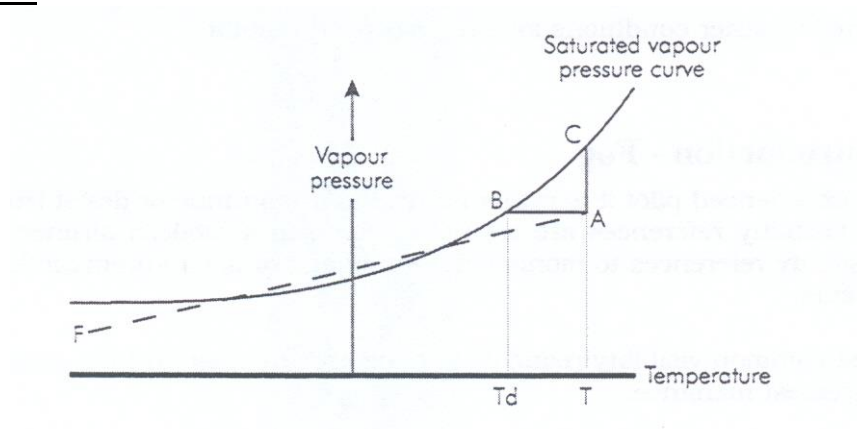


<b>Fenomeen</b>	<b>Vóór Warmte Front</b>	<b>Doortocht Warmte Front</b>	<b>In warme sector</b>	<b>Doortocht Koufront</b>	<b>Achter het Koufront</b>
luchtdruk	geleidelijk dalend	onderbroken dalend	niet of langzaam dalend	plots stijgend	langzaam stijgend
wind	toenemend krimpnd van SW naar SSW of SSE	wisselend in richting en snelheid; ruimend naar SW tot W	stabiele richting SW tot W	plots ruimend naar NW; rukwinden	Geleidelijk ruimend naar N; daarna terug naar NW
temperatuur	langzaam stijgend	gevoelig stijgend (niet plots)	geen wijziging	plots dalend	geen wijziging of langzaam dalend
vochtigheid	langzaam stijgend	snel stijgend	weinig verandering; soms verzadigd lucht	plots stijgend	plots en veranderlijk dalend
wolken	achtereenvolgens Ci, Cs, As en Ns	Ns	lage stratus of mist	Cb, grote Cu, Ns	Ac, evoluerend naar Cu en eventueel naar Cb
neerslag	Vrij continu regen of sneeuw	hevig regen of sneeuw, stoppend na de doortocht	soms motregen of ijsnaalden	hevige regen, sneeuw, hagel	buien, regen of sneeuw met opklaringen
zicht	goed, vermindert bij nadering van het front	slecht	slecht tot zeer slecht	slecht	zeer goed (behalve in de buien)

# Wolkensoorten



## Vochtigheid in de lucht



Mengverhouding :

°C	- 40	- 20	- 10	0	10	20	40
g/kg	0,1	0,7	1,8	3,8	7,5	15	50

De hoeveelheid waterdamp die lucht kan bevatten hangt af van de temperatuur.  
Waterdamp is een gas

**Dampspanning** = partiële druk van de waterdamp

Bij elke temperatuur hoort een grootst mogelijke dampspanning (**maximum dampspanning**) hogere temperatuur kan de dampspanning (partiële druk van damp) groter worden.

**Condensatie** (=druppelvorming)

Waterdruppels zijn *vloeistof*

Condensatie treedt op als de maximum dampspanning bereikt is : vochtige lucht.

Als dampspanning kleiner dan maximum : 'droge' lucht

Een luchtmassa A kan tot condensatie gebracht worden door :

- haar temperatuur te doen zakken tot aan dauwpunt : van A naar B
- waterdamp toe te voegen : van A naar C
- vermenging met een andere luchtmasse F (streepjeslijn)

Microscopisch kleine druppels vallen niet wegens Brownse beweging  
Grotere druppels hebben een grotere massa en dus groter gewicht.

Bij voldoende grote massa beginnen ze eventueel te vallen.  
Vallen betekent snelheid opbouwen  
Een grotere snelheid betekent grotere luchtweerstand (evenredig met kwadraat van de snelheid)  
Het gewicht blijft daarbij nagenoeg constant.

Kan luchtweerstand gelijk worden aan gewicht ?

$$\frac{G}{D} \approx \text{const} \times \frac{d}{v^2}$$

Als  $d$  voldoende klein is kan  $G$  kleiner zijn dan  $D$ !

### Verdamping

Lijzijde van een obstructie (Föhn)  
Subsidentie (daallucht) : temperatuur stijgt,

### Hoge wolken:

Polair : >10000 ft  
Gematigd : >16000 ft  
Tropisch : >20000 ft

### Cirrus (Ci)



zeer ijl en doorzichtig  
In de vorm van haken, draden of strengen.  
Soms verspreid over de hele hemel.  
Zijdeachtige glans.  
Soms de laatste resten van het aanbeeld van een cumulonimbus.

Ijskristallen  
Grotere ijskristallen, valsnelheid groter, slierten (vezelachtig uitzicht)

Vaak een teken van stabiel weer.  
Wanneer cirrus oplost, duidt dat meestal op een overgang naar een beter weertype.  
Wanneer cirrus zich uitbreidt en minder doorzichtig wordt, wijst dat op een nakende verandering van weertype.  
Dikwijls gepaard aan een naderend warmtefront.  
Cirrus in de vorm van een aambeel is dikwijls voorbode van een slechter weertype.

Van bovenaf is doorheen Ci-bewolking de grond of de lagere bewolking goed te zien.

### Cirrostratus (Cs)



Doorzichtige of doorschijnende, witachtige wolkenluiser met vezelachtig (haarachtig) of effen uiterlijk, bestaande uit ijskristallen, die de hemel geheel of gedeeltelijk bedekt. Omtrek van de zon nog te zien.

Trekt zeer traag voorbij.  
Verandert nauwelijks van vorm.  
Vaak in combinatie met Ci en Cc

Bestaat dikwijls uit verschillende boven elkaar liggende lagen.  
Van bovenaf gezien lijkt ze op Ci

Regelmatig zijn er bij dit type bewolking prachtige optische verschijnselen te zien.

Halo,



bijzonnen,



Toenemende cirrostratus kondigt meestal een naderend warmtefront aan, of in ieder geval slechter weer.  
Wanneer cirrostratus als een vliesje over de gehele hemel bedekt is, dan zit een weersomslag er voorlopig niet in.

### **Cirrocumulus (Cc)**



R. Sluijter

Een laag van dunne witte wolken (wolkjes), vrij regelmatig geschikt.  
 Ijskristallen en/of onderkoelde waterdruppels.  
 Komt niet vaak voor. Ziet er vaak uit als golfjes in de lucht.  
 Dun genoeg om de zon of de maan te zien staan

In de wolk : lichte mist

Wijst op onstabiliteit in de hogere luchtlagen, eventueel op het naderen van een storing.

## **Middelhoge wolken:**

Polair : 6500 - 13000 ft

Gematigde : 6500 - 23000 ft

Tropisch : 6500 – 26000 ft

### **Altostratus (As)**



R. Sluijter



F. Magdelijns

Lijkt erg op cirrostratus. Maar grijs- of blauwachtige kleur, nooit wit.  
 Horizontaal uitgestrekt : geheel of gedeeltelijke bedekking van de hemel  
 Vrij dikke laag : honderden tot duizenden voet  
 Streperig, vezelachtig of effen uiterlijk.  
 De zon is te zien als door een matglas.

Geen haloverschijnselen

Bestaat uit :

Bovenaan : ijskristallen

Onderaan : waterdruppels (al of niet onderkoeld)

Tussenin : ijskristallen, sneeuw (kristallen en/of vlokken), onderkoelde waterdruppels

Neerslag is aanwezig ook onder de wolk. Wanneer die de grond bereikt, is ze van langere duur

Als langzaam de bewolking dikker wordt, is een weersverslechtering op komst.

### **Alto cumulus (Ac)**



Bestaat uit stroken, min of meer afgeplatte ballen, rollen, enz., die soms voor een deel een vezelachtig uiterlijk hebben of geen structuur vertonen en die al of niet gescheiden zijn.

De wolkjes laten de zon nog redelijk goed door.

Wit of grijs, met enig schaduweffect.

Tegen de avond kan de zon het een geelachtige kleur geven.

Waterdruppels en dus weinig doorschijnend en duidelijk afgelijnde contouren

Bij zeer lage temperatuur kunnen zich toch ijskristallen vormen ten koste van druppels (contouren vervagen dan)

Wanneer altostratus restanten zijn van een oude storing, dan duidt deze bewolking vaak op mooi weer. Door de invloed van een naderend hogedrukgebied is dit type bewolking dan aan oplossing onderhevig.

Kan bestaan uit twee of meerdere lagen.

Indien het zich uitbreidt en de zon er niet meer doorheen komt, dan volgt een regenstoring.

Tijdens onstabiel weer krijgt altostratus vaak de vorm van torentjes of kantelen. Vooral bij warm zomerweer is dit vaak een voorbode van een onweersstoring.

## Lage wolken

Polair : <6500 ft

Gematigd : <6500 ft

Tropisch : <6500 ft

### Stratus (St)



Min of meer gesloten uniforme laag (soms in flarden).

Eerder donker en dreigend.

Door toenemende wind of stijgende temperatuur verandert mist vaak in een laag stratus.

Zeemist kan boven land overgaan in stratus.

De zon en de maan is nog net door de bewolking zichtbaar.

Stratus produceert vaak niet meer dan wat lichte regen, motregen, ijsnaalden of motsneeuw.

Deze bewolking gaat gepaard met cumulus in geval van naderend slecht weer.

### Stratocumulus (Sc)



R.J. Drent

Grijs of wit en heeft altijd donkere delen.  
Soms ligt de stratocumulus in langgerekte parallelle banen naast elkaar.  
Dikwijls verschijnen er gaten in de bewolking.  
Stratus gaat vaak over in stratocumulus.

Stratocumulus wijst meestal op een inversie. Dikwijls vergezeld van cumulus.  
Als stratocumulus niet gevormd wordt door uitspreidende cumulus, dan duidt dit meestal op mooi en standvastig weer.  
Dit weertype is vaak van lange duur.

### **Cumulus (Cu)**



R. Sluijter



R. Sluijter

Ook wel aangeduid als "mooi weer wolkjes".  
Het zijn afzonderlijke, over het algemeen dichte wolken met scherpe omtrekken.  
Zij ontwikkelen zich in verticale richting in de vorm van kopjes, koepels of torens waarvan het bovenste, opbollende gedeelte dikwijls op een bloemkool lijkt.  
De door de zon beschenen delen van deze wolken zijn meestal verblindend wit.  
De onderzijde is betrekkelijk donker en vrijwel horizontaal (condensatieniveau).

Bestaat hoofdzakelijk uit waterdruppels

Cumulus duidt op stabiel, helder, zonnig en droog weer.  
Na een koufrontpassage wil cumulus nog wel eens snel toenemen.  
Wanneer cumulus snel een opbollende bovenkant krijgt, kan het uitgroeien tot een cumulonimbus.

### **Nimbostratus (Ns)**



© R.K. Pillsbury

Grijs en donker, verspreid over de hele hemel. Flinkke verticale afmetingen (soms tot ca25000 ft)  
De basis van de bewolking is duidelijk lager dan bij altostratus.  
Schermt de zon af.

Onder het eigenlijke Nimbostratusdek zijn er vaak nog lage wolkenflarden.

Waterdruppels, sneeuw

Neerslagzone onder de wolk (regen sneeuw hagel), die niet steeds de grond bereikt

Neerslag laat niet lang meer op zich wachten.

Vaak langdurige regen, soms motregen.

In de wolk

slecht zicht : minder dan 50 m

Gevaar voor ijsafzetting

Matige turbulentie

Boven de wolk

Uitgestrekt effen oppervlak (schapenvacht)

Soms met hier en daar Cb

## Cumulonimbus (Cb)

Flinke verticale afmetingen, in de vorm van een berg of van een groep hoog oprijzende torens.

Bovenaan gewoonlijk effen of vezelachtig en bijna altijd afgeplat.

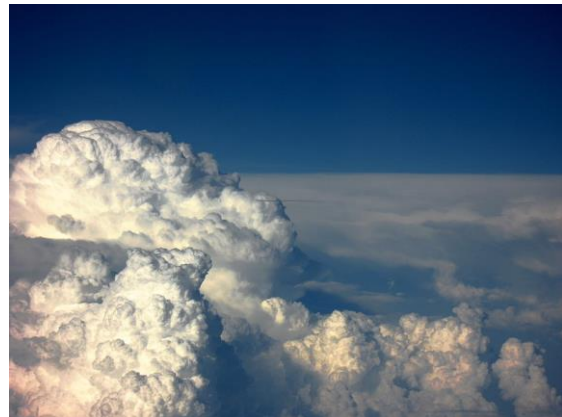
Dit gedeelte spreidt zich vaak uit in de vorm van een aambeeld of een grote pluim.

Onder de basis, die vaak zeer donker is, bevinden zich veelal lage wolkenflarden

Soms zijn vooral op afstand valstrepen te zien. Door de grote verticale afmetingen (soms tot meer dan 10 km) is de karakteristieke vorm het best van een flinke afstand te zien.

Neerslag. Niet langdurig, maar in de vorm van buien.

Sommige exemplaren kunnen uitgroeien tot flinke onweersbuien. Cumulonimbus met aambeeld staat vaak garant voor heftige buien. Dit gaat dikwijls gepaard met hagel, onweer en windstoten.



Flinke verticale afmetingen, in de vorm van een berg of van een groep hoog oprijzende torens.

Bovenaan gewoonlijk effen of vezelachtig en bijna altijd afgeplat.

Dit gedeelte spreidt zich vaak uit in de vorm van een aambeeld of een grote pluim.

Onder de basis, die vaak zeer donker is, bevinden zich veelal lage wolkenflarden

Soms zijn vooral op afstand valstrepen te zien. Door de grote verticale afmetingen (soms tot meer dan 10 km) is de karakteristieke vorm het best van een flinke afstand te zien.

Neerslag. Niet langdurig, maar in de vorm van buien.

Sommige exemplaren kunnen uitgroeien tot flinke onweersbuien. Cumulonimbus met aambeeld staat vaak garant voor heftige buien. Dit gaat dikwijls gepaard met hagel, onweer en windstoten.

Een cumulonimbus kan ontstaan als de volgende drie ingrediënten aanwezig zijn:

Veel vocht in de lucht

Een massa van warme, onstabiele lucht

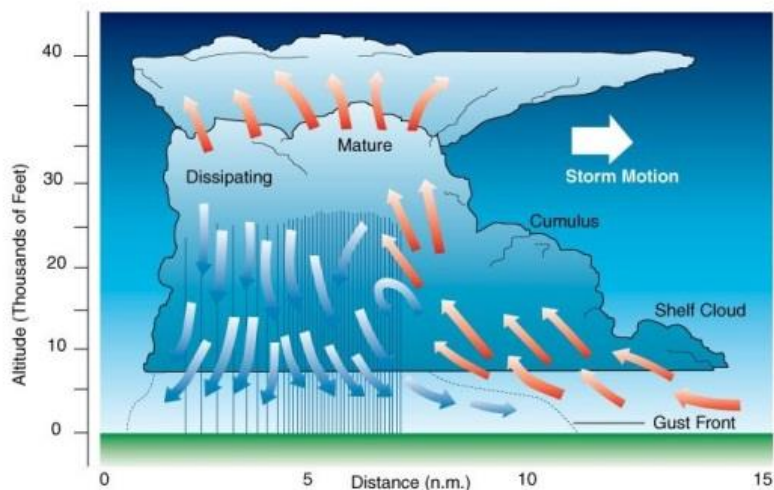
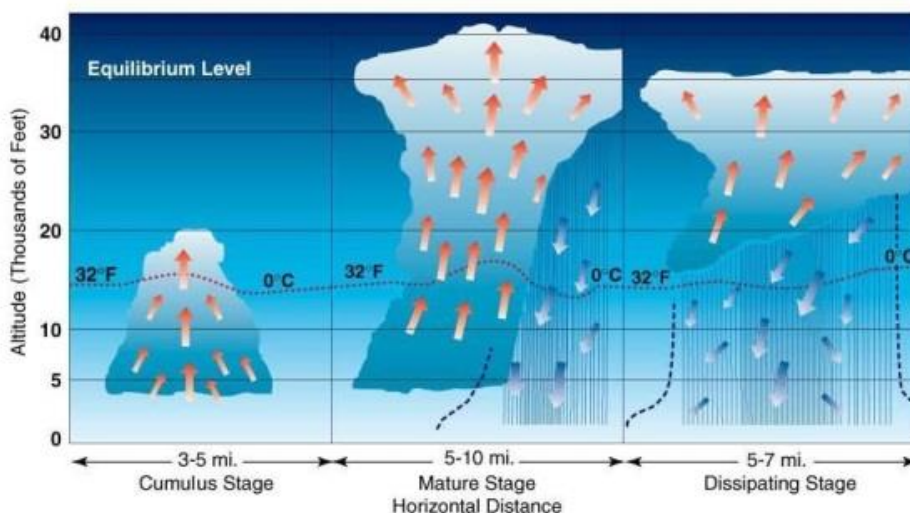
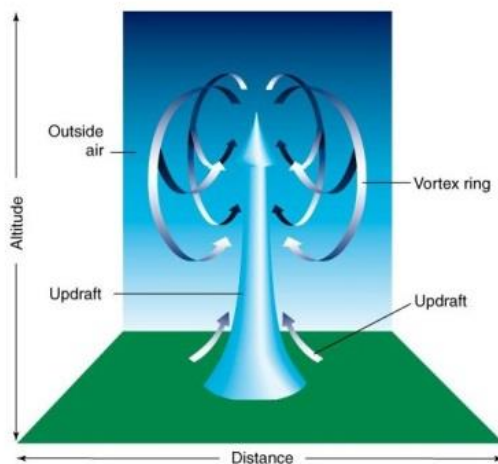
Een bron van energie die de warme lucht snel omhoog stuwt.

Meestal vormen deze wolken zich langs een koufront, langs oceanen waar de zeewind energie levert aan de opstijgende lucht, of bij bergen waar de lucht omhoog geduwd wordt.

Door de opstijgende warme lucht (5-10 m/s, uitzonderlijk tot 30 m/s) condenseert de waterdamp, waarbij condensatiewarmte vrijkomt. De waterdruppels koelen verder af tot ijskristallen en groeien aan naarmate hoogte wordt gewonnen.

Als de zwaartekracht de overhand krijgt, gaan deze kristallen vallen, waardoor er een neerwaartse beweging ontstaat, *naast de nog steeds opstijgende warmere lucht*. Deze sterke luchtbewegingen in verschillende richtingen zijn er de oorzaak van dat de *cumulonimbus* een gevaar voor de luchtvaart en windmolens vormen.

Een typische Cb in deze fase bevat ca  $5 \times 10^5 = 500000$  ton waterdamp !

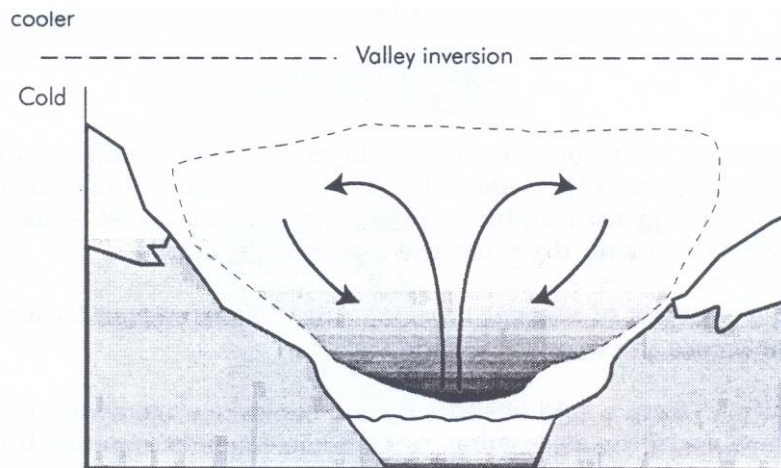
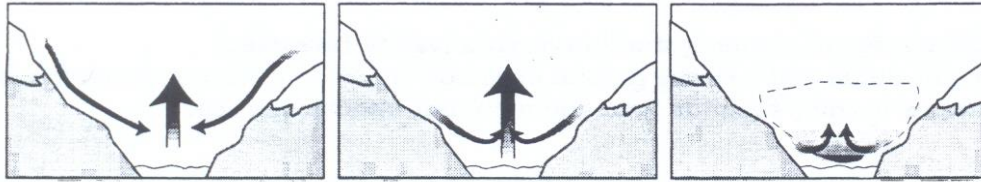




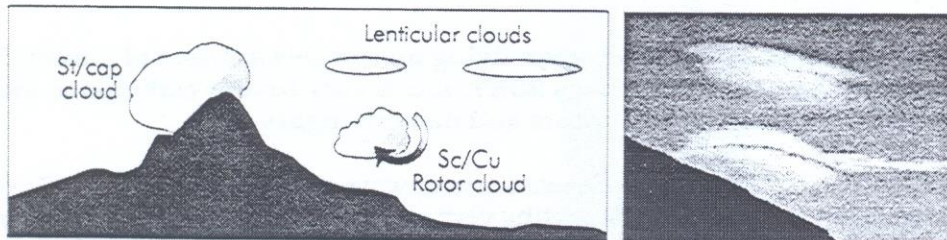


# Mist

Mist is lage bewolking die het zicht rondom beperkt tot 1000 m

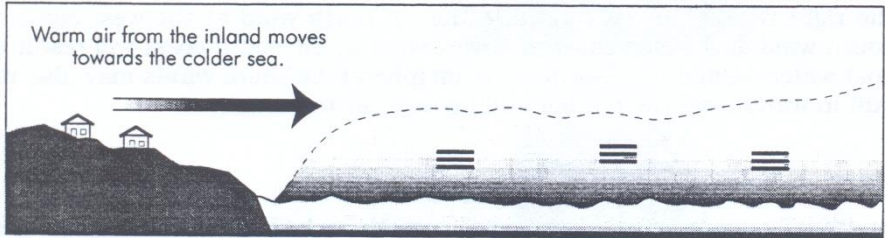


Open water at the bottom of a valley

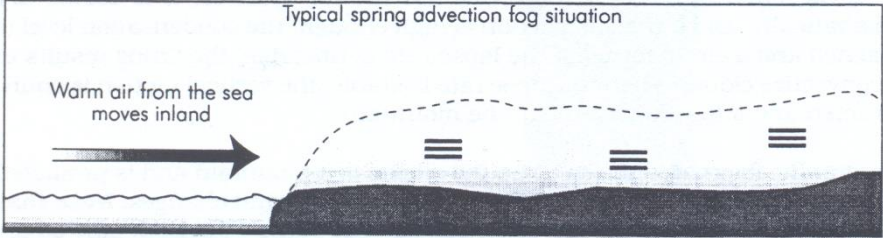


Typical cloud situation when stable stratified air forces towards a hindrance

Ac lenticularis



Typical spring advection fog situation



Typical autumn advection fog situation