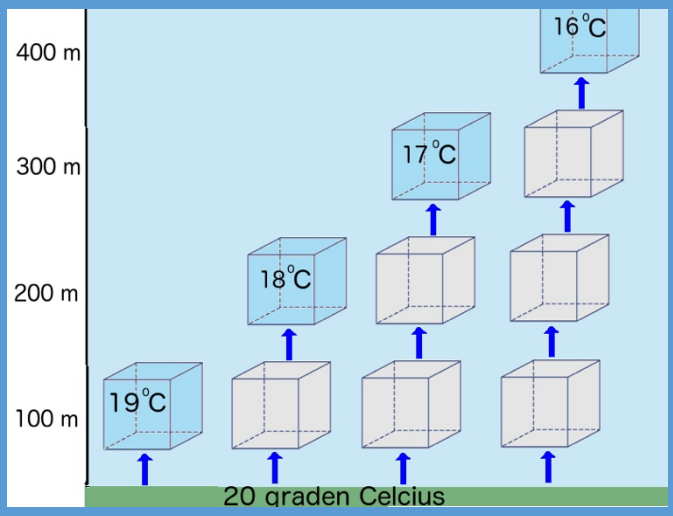
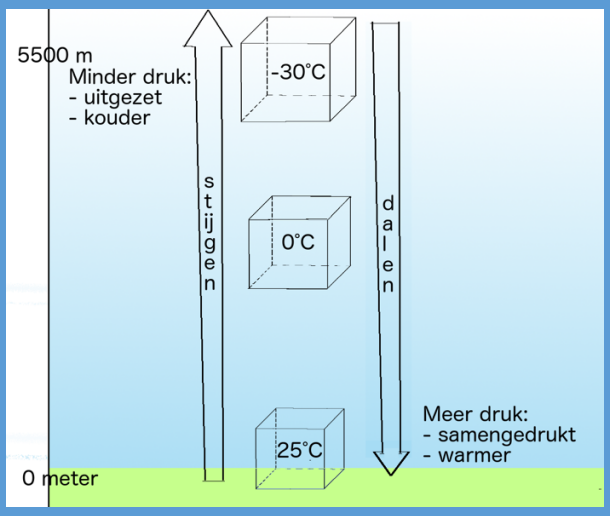
3.METEOROLOGIE





3. METEOROLOGIE (Versie 20 november 2019)

Het stuk meteo dat je hieronder leest is gemaakt volgens de indeling van EASA. EASA heeft voor het LAPL(S) in een raamwerk aangegeven wat je moet kennen. Daarom is hier voor het beschrijven van de leerstof uitgegaan van de leerdoelen voor meteorologie voor LAPL(A) en LAPL(H) van het CBR .

3. METEOROLOGY	3. Meteorologie
3.1. THE ATMOSPHERE	3.1 De atmosfeer
3.2. WIND	3.2 Wind
3.3. THERMODYNAMICS	3.3 Thermodynamica / warmteleer
3.4. CLOUDS AND FOG	3.4. Wolken en mist
3.5. PRECIPITATION	3.5 Neerslag
3.6. AIR MASSES AND FRONT	3.6 Luchtmassa's en fronten
3.7. PRESSURE SYSTEMS	3.7 Druksystemen
3.8. CLIMATOLOGY	3.8 Klimatologie
3.9. FLIGHT HAZARDS	3.9 Gevaarlijke weersituaties voor de luchtvaart
3.10. METEOROLOGICAL INFORMATION	3.10 Meteo informatie

Hoe langer je aan zweefvliegen doet, hoe meer verstand je van het weer krijgt. Kennis van het weer is voor een zweefvlieger essentieel. Je hebt deze kennis nodig om een inschatting te maken of je veilig kunt zweefvliegen of op je vrije dag beter iets anders kunt gaan doen.

Het gaat in dit hoofdstuk veel over thermiek, de groene motor van het zweefvliegen. Wanneer komt de thermiek los, waar kun je die vinden en hoe maak je er optimaal gebruik van. Je leert om de wolken te lezen en zo het beste vliegpad te kiezen. Je leert bij meteorologie ook om gevaarlijke weerssituaties vroegtijdig te herkennen.

Met goede kennis van het weer kun je bepalen of het goed overlandweer wordt en welke zweefvliegopdracht daarbij mogelijk is. Je zult er ook achter komen dat het nuttig is om al dagen van te voren de weerberichten op de t.v. en de meteo-informatie van het KNMI goed te volgen.

Veel succes bij het bestuderen van het vak meteorologie.

© Dirk Corporaal

3.1 DE ATMOSFEER

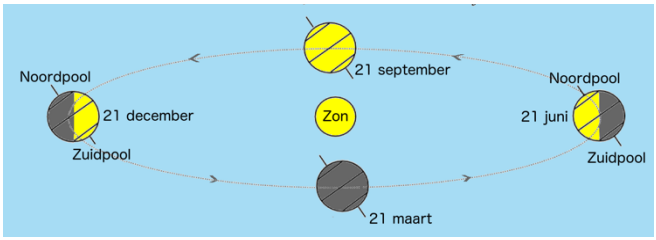
Dit hoofdstuk is onderverdeeld in:

- 3.1.1 DE SAMENSTELLING, OMVANG EN VERTICALE VERDELING VAN DE ATMOSFEER
- 3.1.2 DE TEMPERATUUR VAN DE ATMOSFEER
- 3.1.3 LUCHTDRUK
- 3.1.4 LUCHTDICHTHEID
- 3.1.5 DE INTERNATIONALE STANDAARDATMOSFEER
- 3.1.6 HOOGTEMETERINSTELLINGEN

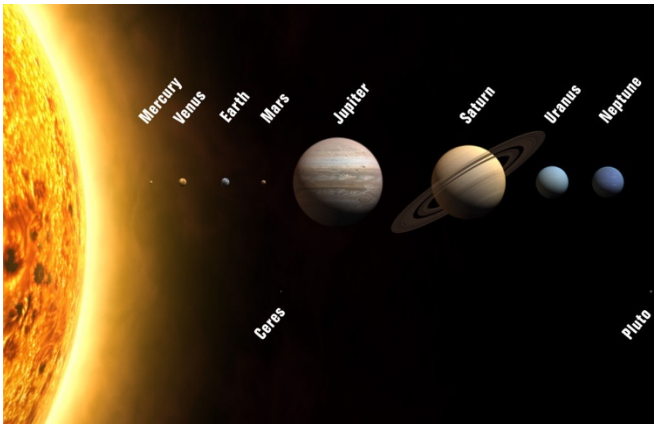
3.1.1 DE SAMENSTELLING, OMVANG EN VERTICALE VERDELING VAN DE ATMOSFEER

- De structuur van de atmosfeer,
- De troposfeer

De structuur van de atmosfeer



De aarde is een van de planeten die in een baan om de zon draaien. Elke planeet heeft zijn eigen baan. De aarde maakt in 365 1/4 dag een omwenteling om de zon en draait ondertussen in 24 uur om zijn as. Die aardas staat niet loodrecht maar schuin en dat zorgt ervoor dat we in Nederland zomers veel meer uren zonnestralen ontvangen dan 's winters en dat zomers de hoek die de zonnestralen maken met het aardoppervlak veel groter is.



Sommige planeten hebben een atmosfeer, een gasvormig omhulsel dat de planeet omgeeft. De atmosfeer die om de aarde heen zit, wordt ook wel dampkring genoemd. Het woord dampkring heeft betrekking op de waterdamp die er in voorkomt. Waterdamp is het belangrijkste bestanddeel van de lucht voor het ontstaan van weersverschijnselen

Op de foto hierboven zie je vanuit de ruimte de dampkring, wolken en op de achtergrond de maan.

Het gasmengsel dat als een schil om de aarde zit wordt lucht genoemd. Die luchtlaag is enige honderden kilometers dik, maar hoe hoger je komt hoe ijler de lucht.

Zo'n 70% van het aardoppervlak bestaat uit zee. Warme golfstromen verplaatsen de warmte van de evenaar richting de polen en koude golfstromen voeren die terug. In de onderste laag van de atmosfeer gebeurt hetzelfde. Warme lucht stijgt als de lucht eromheen kouder is en koude lucht daalt in een warmere omgeving. Daardoor ontstaan luchtdrukverschillen. Lucht stroomt van een gebied met een hogere druk naar een gebied met een lagere druk.

Het gaat in dit hoofdstuk over de straling van de zon, het opwarmen van de grond en horizontale en verticale luchtstromen. Over het ontstaan van wolken, neerslag, verdamping en al de processen die samen het weer vormen. Met het weer bedoelen we de toestand van de dampkring op een bepaald moment op een bepaalde plaats.

Kenmerken van het weer zijn temperatuur, wind en neerslag.

Wat we lucht noemen is in werkelijkheid een mengsel van gassen. Droge lucht bestaat voor:

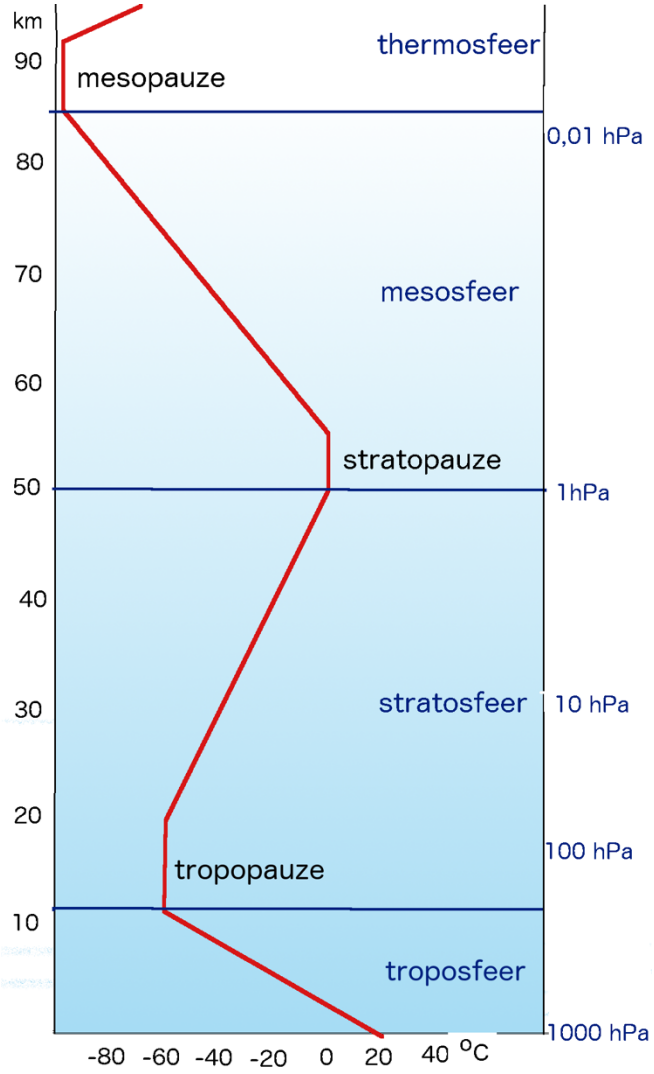
- 78% uit stikstof (N_2),
- 21% uit zuurstof (O_2) en
- 1% uit andere gassen zoals koolzuurgas (koolstofdioxide = CO_2).

Daarnaast bevat de lucht dus ook waterdamp (H_2O). Het percentage is niet constant, het hangt o.a. af van de temperatuur. Koude lucht kan weinig en warme lucht kan veel waterdamp bevatten.

Lucht bestaat uit moleculen die door de zwaartekracht van de aarde worden aangetrokken. Op zeeniveau wordt de lucht samengedrukt door de luchtkolom erboven. Bij het toenemen van de hoogte, daalt de luchtdruk door de afname van het gewicht van de luchtkolom (zie 3.1.3 Luchtdruk). De lucht wordt ijler (zie 3.14 Luchtdichtheid) en bevat minder moleculen.

De temperatuur van de atmosfeer varieert met de hoogte. Op basis van het verloop van de temperatuur kun je de atmosfeer indelen in vier lagen:

1. de troposfeer;
2. de stratosfeer;
3. de mesosfeer;
4. de thermosfeer.



De troposfeer

In de troposfeer neemt de temperatuur in het algemeen met de hoogte af. In de stratosfeer neemt de temperatuur met de hoogte weer toe. Dit komt door absorptie van de ultraviolette stralen van het zonlicht op deze hoogte. De overige zonnestralen worden nauwelijks door de atmosfeer geabsorbeerd.

Tussen de troposfeer en de stratosfeer zit een laag waarin de temperatuur met de hoogte gelijk blijft. Lagen waarin de temperatuur met de hoogte gelijk blijft, heten pauzen. De laag tussen troposfeer en stratosfeer noemen we de **tropopauze**.

Een luchtlaag waar de temperatuur met de hoogte stijgt heet een **inversielaag** (inversie betekent omgekeerd en dit wordt verder besproken bij 3.1.2 Ontstaan inversie). Een laag waar de temperatuur met de hoogte gelijk blijft is een **isothermie**.

Warme lucht is lichter dan koude lucht. Een bel warme lucht gaat als een hete luchtballon omhoog (zie 3.3 Thermodynamica). De warme lucht in de ballon mengt zich niet met de lucht buiten de ballon. Ook een bel warme lucht die omhoog gaat mengt zich nauwelijks met de lucht eromheen, want lucht is een goede isolator.

De stratosfeer kun je zien als een deksel op de troposfeer, want lucht die opstijgt kan alleen opstijgen als de omringende lucht kouder is. De warme lucht van de aarde stijgt dus nooit door tot in de stratosfeer.

De tropopauze (de laag waar de temperatuur met de hoogte gelijk blijft), is een isotherme luchtlaag. Onweerswolken stijgen soms door tot in de tropopauze en het verticale stijgen komt hier tot stilstand.

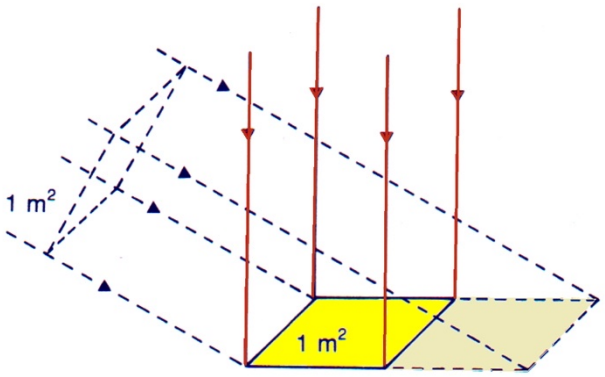
Het weer op onze planeet speelt zich voornamelijk af in de troposfeer.

3.1.2 DE TEMPERATUUR VAN DE LUCHT

- Straling
- Definities en eenheden: Celsius en Fahrenheit
- Verticale temperatuurverdeling
- Overdracht van warmte
- Temperatuurverloop met de hoogte
- Ontstaan inversie
- Temperatuur nabij het aardoppervlak, oppervlakte-effecten, dagvariatie, effect van wolken, effect van wind

Straling

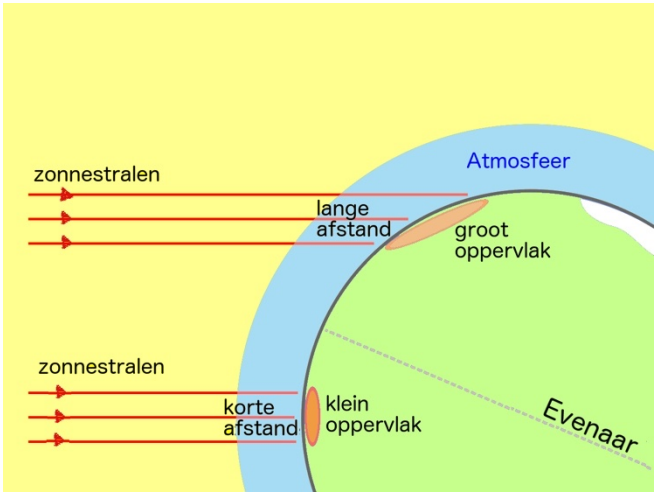
De zon is de belangrijkste factor bij het ontstaan van het weer. Wanneer de zon loodrecht op een m2 aardoppervlak schijnt, dan levert de zon daar ±1000 Watt per m^2 aan energie. De zon verwarmt de aarde maar dit gebeurt niet gelijkmatig. Op plaatsen waar de zon loodrecht op het aardoppervlak schijnt, is de instraling wel twee keer zo groot als in een gebied waar de zon onder een hoek van 30° het aardoppervlak beschijnt.



Wanneer de zon onder een hoek van 90° het aardoppervlak beschijnt dan komen er op een m2 twee keer zoveel zonnestralen dan wanneer de zon onder een hoek van 30° een gebied beschijnt.

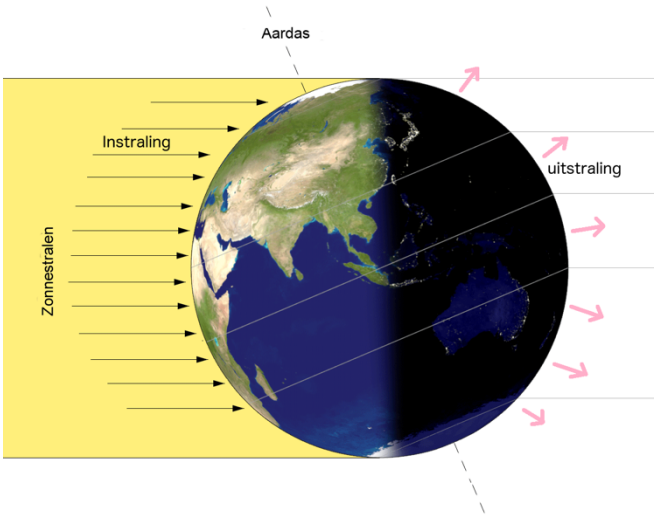
Op de volgende afbeelding zie je dat de zonnestralen in de winter op het noordelijk halfrond een langere weg

door de atmosfeer maken en een groter oppervlak moeten opwarmen.



Waar de zon loodrecht boven het aardoppervlakte staat is de weg door de atmosfeer korter en bestrijken eenzelfde hoeveelheid zonnestralen een kleiner oppervlak. Daar wordt het veel warmer. Zo ontstaan er temperatuurverschillen op aarde.

De zon levert een enorme hoeveelheid energie. Slechts een heel klein deel daarvan bereikt onze dampkring. Van de energie die de dampkring bereikt, wordt ongeveer de helft opgenomen door het aardoppervlak. Een deel wordt door de dampkring opgenomen. Een deel van de zonnestralen weerkaatst door de dampkring en ook een deel van de zonnestralen die op de wolken valt, weerkaatst. Komt zonlicht op sneeuw terecht, dan wordt de energie bijna helemaal teruggekaatst. Waar de grond of het zeewater warm worden, daar geeft de aarde warmte af aan de lucht die daar boven ligt.



Wanneer je op een mooie zomerse avond met je rug tegen een muur zit die de hele dag in de zon gestaan heeft, dan voel je hoe die muur 's avonds warmte afgeeft. De aarde straalt 's nachts de ontvangen zonnewarmte uit. De instraling door de zon en de uitstraling door de aarde zijn ongeveer in evenwicht. De gemiddelde temperatuur van de aarde is (of misschien beter was) 0,9 °C. De gemiddelde temperatuur van Nederland was 9° en is de laatste tien jaar ruim 10 °C. De aarde warmt op.

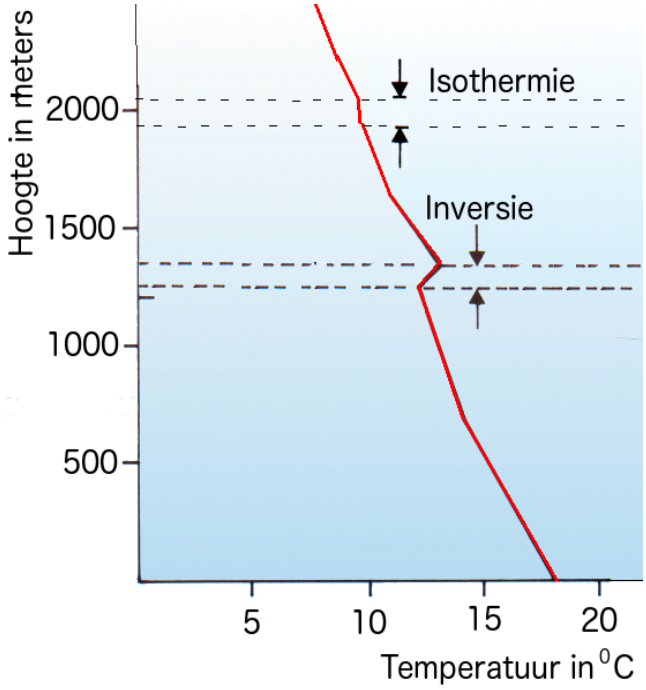
Definities en eenheden: Fahrenheit en Celsius

De temperatuur van de atmosfeer wordt gemeten in Celsius of Fahrenheit. Wereldwijd wordt bijna overal Celsius gebruikt. In vijf landen, waaronder de VS, gebruikt men Fahrenheit. Celsius is gebaseerd op het **smeltpunt** van ijs (0 °C) en het **kookpunt** van water 100 °C. Van Fahrenheit naar Celsius bereken je als volgt: (°F - 32) :1.8 = °C.

De temperatuur van de lucht wordt, om de invloed van de zon en de grond te beperken, in een witte wind doorlatende **thermometer hut** op een hoogte van 1,5 meter gemeten.

Verticale temperatuurverdeling

In de troposfeer neemt de temperatuur van de lucht met de hoogte af. Die temperatuurdaling is niet altijd hetzelfde. Weerstations laten twee maal per dag een weerballon op. Die geeft de temperatuur, vochtigheid en luchtdruk op de verschillende hoogten door aan het weerstation. Wanneer je die temperatuur tegen de hoogte afzet dan ontstaat bijvoorbeeld onderstaande grafiek.

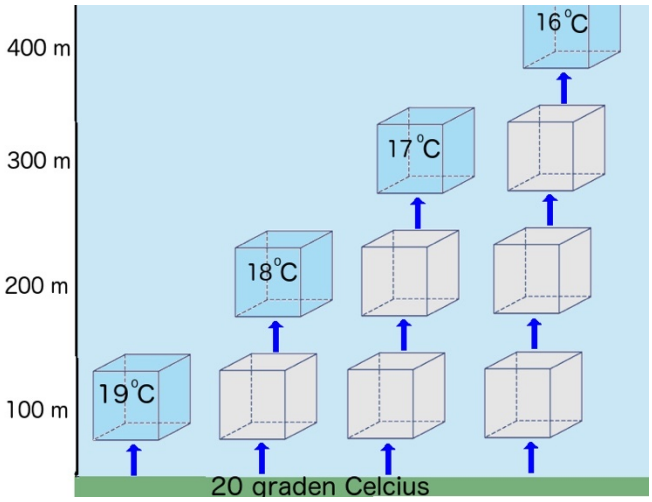


De rode lijn op de afbeelding heet de **toestandskromme**. Dat is de temperatuur van de lucht op die hoogte op dat moment. Je ziet dat er op een hoogte van ongeveer 1300 m een inversielaag voorkomt. Dat is een laag waar de temperatuur met de hoogte niet daalt maar stijgt. Verder zie je een isothermie, een laag waar de temperatuur van de lucht met de hoogte gelijk blijft.

Overdracht van warmte

Overdacht van warmte kan plaatsvinden door straling, geleiding en stroming. Overdag verwarmt de zon de aarde (straling). De aarde geeft die warmte af aan de daarop rustende lucht (geleiding). Lucht geeft zijn warmte (bijna) niet af aan de daarboven liggende lucht. Wanneer stoffen verwarmd worden dan bewegen de moleculen sneller en zetten ze uit. Gassen zetten het meest uit. Warme lucht zet uit,

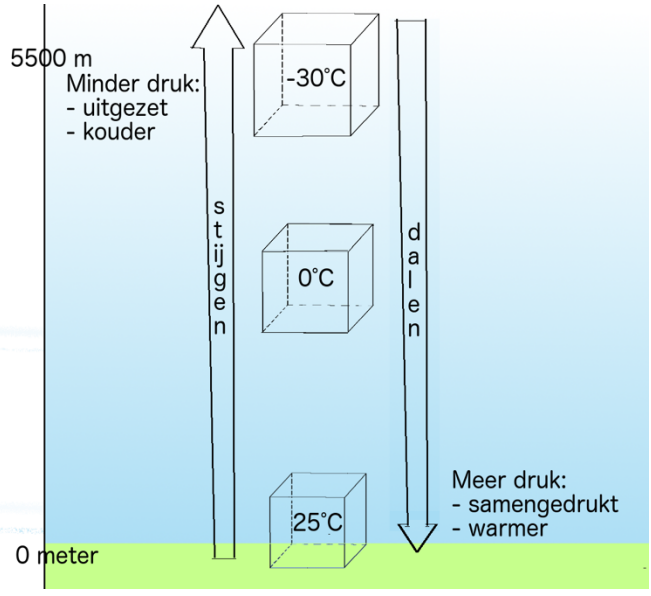
wordt lichter en gaat, net zo als dat gebeurt bij een heteluchtballon, omhoog (stroming).



Lucht die stijgt komt in een gebied met een lagere luchtdruk. Het pakketje stijgende lucht zet uit. Daarbij wordt de omringende lucht weggeduwd. Dit uitzetten is arbeid en de energie daarvoor komt uit de stijgende lucht en daardoor zal de temperatuur van de stijgende lucht dalen. De temperatuurafname van een bel stijgende droge lucht is 1 °C per 100 meter. Dit noemen we de droogadiabaat (zie 3.3.3).

Zo lang de lucht warmer is dan de omringende lucht gaat het stijgen door.

- Lucht die warmer wordt, zet uit, wordt lichter en gaat omhoog (koudere lucht daalt).
- Ligt koude lucht onder warme lucht dan gebeurt er niets (stabiel zie: 3.3.3).
- Ligt warme lucht onder koude lucht dan stijgt de warme lucht (onstabiel) zie 3.3.3)
- Warme lucht stijgt nooit verder dan de tropopauze, want daarboven stijgt de temperatuur met de hoogte.



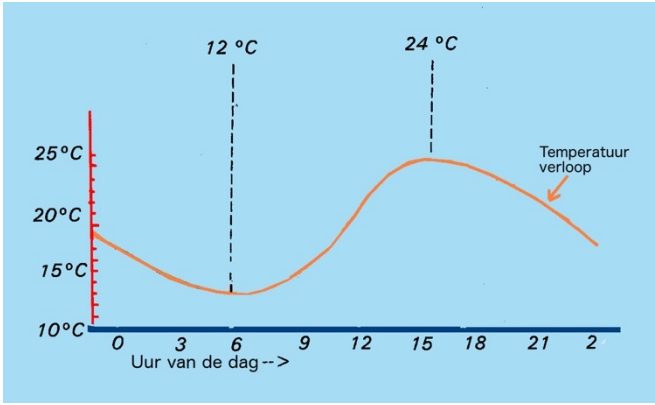
Dalende lucht komt in een omgeving terecht waar de luchtdruk hoger is. De druk in de dalende lucht neemt toe. De lucht wordt samengeperst. Hierbij komt energie vrij. Dalende lucht warmt op. Dit merk je wanneer je een fietsband oppompt. Aan het ventiel kun je voelen dat daar waar de lucht doorheen geperst wordt, het ventiel heet wordt. Dalende lucht wordt 1 ^{0}C warmer per 100 meter dalen.

Temperatuur nabij het aardoppervlak, oppervlakte-effecten, dag variatie, effect van wolken, effect van wind

Het maakt verschil of de zon op water of op land schijnt. Zonnestralen dringen diep door in water. Water warmt langzaam op en koelt langzaam af.

Beschijnt de zon het land dan speelt de grondsoort, de kleur van de grond en de aanwezigheid van bergen weer een rol. Zand warmt snel op en donkere grondsoorten absorberen meer warmte dan grond met een lichte kleur. Het aardoppervlak geeft door geleiding, net als een radiator, warmte af aan de luchtlaag die erop rust.

Hoe hoger de zonnestand hoe groter de instraling en hoe warmer het wordt. Doordat de zonnestand in de ochtend steeds hoger wordt stijgt de temperatuur.



Nadat de zon z'n hoogste punt bereikt heeft (in Nederland bij zomertijd iets voor 2 uur 's middags) , stijgt de temperatuur nog door omdat de ingestraalde energie nog groter is dan de uitgestraalde energie. Daarna daalt de temperatuur totdat 's morgens de zonne-energie weer hoger is dan de uitgestraalde energie.

Wanneer de zon een helling beschijnt dan kan de zon die helling onder een grote hoek van bijvoorbeeld 90° beschijnen, waardoor de temperatuur daar hoger wordt.

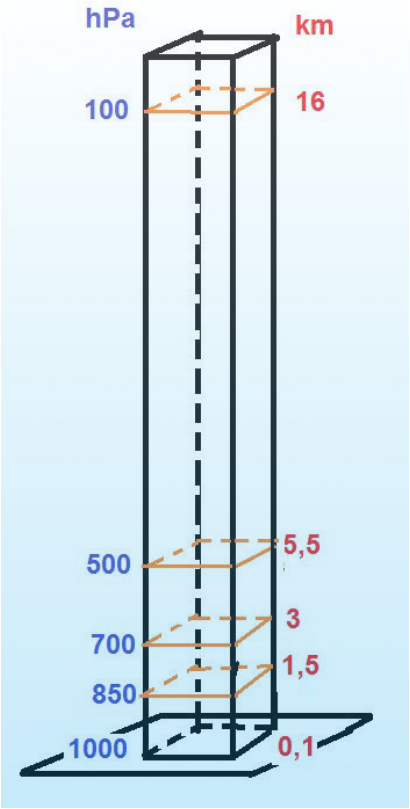
Wolken keren zonnestralen, daarom wordt het dan overdag minder warm. 's Nachts keren de wolken de uitstraling van warmte. De wolken werken dan als een carport, het wordt dan veel minder koud.

3.1.3 LUCHTDRUK

- Barometer en isobaren
- Drukvariatie met hoogte
- Druk op zeeniveau

De luchtdruk op een punt in de atmosfeer is het gewicht van de totale hoeveelheid lucht in de kolom recht boven dat punt. Daarom is de luchtdruk hoger in de atmosfeer altijd lager. De druk is naast de hoogte van de kolom ook afhankelijk van de temperatuur in

die luchtkolom. Op zeeniveau kan de luchtdruk in Nederland variëren tussen 965 en 1050 hPa. De gemiddelde luchtdruk op zeeniveau is (1013 hPa).



Luchtdrukbarometers geven de druk aan in millibars of **hectopascal**, afgekort **hPa.** Eén hectopascal is gelijk aan één millibar. Millibar is de verouderde benaming, de officiële benaming voor luchtdruk is nu Pascal.

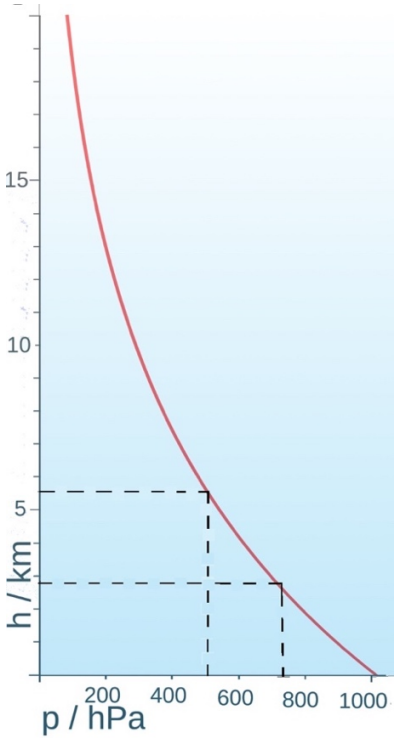
Isobaren zijn lijnen op een weerkaart die gebieden met dezelfde luchtdruk verbinden (zie 3.6 Luchtsoorten en fronten).

Door de sterkte opwarming van het aardoppervlak bij de evenaar vormt zich daar een hogere kolom warme lucht boven de aarde. Daardoor is de troposfeer bij de evenaar ongeveer 17 km dik en bij de polen circa 7 km. Door de temperatuurverschillen ontstaan er luchtdrukverschillen. Lucht stroomt net als water altijd van hoog naar laag. Van een gebied met hoge druk naar een gebied met lage druk. Zulke luchtstromen zorgen ervoor dat de warmte en de waterdamp over de aarde verdeeld worden.

3.1.4 LUCHTDICHTHEID

- De relatie tussen luchtdruk, temperatuur en luchtdichtheid

Luchtdichtheid is het gewicht in kilogrammen van 1 m^3 lucht. Het gewicht van droge lucht op zeeniveau, bij 0 °C, bedraagt 1,293 kg/m3 bij een luchtdruk van 1013,25 hPa. De luchtdichtheid is afhankelijk van de luchtdruk en de temperatuur. Als lucht warmer wordt dan zet deze uit. Dus warme lucht heeft een lagere dichtheid en is daarom lichter dan koude lucht. Daarom zal warme lucht in een omgeving met koudere lucht stijgen. In tegenstelling tot de temperatuur neemt in de hele atmosfeer de luchtdruk met de hoogte af. In de onderste paar duizend meter daalt de luchtdruk met de hoogte het snelst.



Op 2400 meter is de luchtdruk met een kwart gedaald en op 5500 meter is de luchtdruk gehalveerd. De luchtdichtheid neemt eveneens met de hoogte af maar minder snel dan de luchtdruk omdat bij toenemende hoogte ook de temperatuur lager wordt.

3.1.5 DE INTERNATIONALE STANDAARDATMOSFEER

ICAO heeft de internationale standaardatmosfeer opgesteld en daarbij wordt uitgegaan van de volgende omstandigheden:

1. Een **temperatuur op zeeniveau van 15 °C**
2. Een **temperatuurafname van 0,65 °C per 100 m** hoogte in de troposfeer
3. Een **druk op zeeniveau van 1013,2 hPa**
4. Een **afname van de druk met 1 hPa per 8 m** tot ongeveer 1500 m hoogte.
5. Een luchtdichtheid van 1,225 kg per m^3.

Het ijken van de hoogtemeter en de snelheidsmeter gebeurt bij omstandigheden die overeenkomen met de standaardatmosfeer. De standaardatmosfeer is een afgesproken atmosfeer waarbij we uitgaan van de gemiddelde druk op zeeniveau en de gemiddelde afname van de temperatuur met de hoogte. In onderstaande tabel staan luchtdruk, luchtdichtheid en temperatuur volgens de ICAO Standaard Atmosfeer voor een paar hoogtes.

Hoogte in meters	Luchtdruk hPa	Dichtheid kg/m^3	Temperatuur °C
0	1013,25	1,225	15

1000	898,6	1,1116	8,5
3000	701,1	0,9091	-4,5
5000	540,2	0,7361	-17,5
10000	264,4	0,4127	-50

Vlieg je bij omstandigheden die afwijken van de standaardatmosfeer dan zal de aanwijzing van de hoogtemeter een afwijking hebben. Hoe groter het verschil met de standaardatmosfeer hoe groter de afwijking.

De snelheidsmeter geeft de indicated airspeed weer. Bij de standaardatmosfeer op zeeniveau komt de indicated airspeed (IAS) overeen met de true airspeed (TAS). Bij toenemende hoogte neemt de luchtdichtheid af. De IAS komt dan niet meer overeen met de TAS. De TAS is op grote hoogte aanmerkelijk hoger dan de IAS.

De maximum snelheid van 260 km/h die je op deze snelheidsmeter ziet, geldt voor sommige zweefvliegtuigen niet voor vliegen op grote hoogte. Het handboek van het zweefvliegtuig geeft aan hoe hoog de maximum snelheid op bijvoorbeeld 5000 meter is.

3.1.6 HOOGTEMETERINSTELLINGEN

- QFE en hoogte, QNH en altitude en QNE en Flight Level
- Transition altitude,
- Hoogtemeterinstellingen berekenen
- De invloed van de temperatuur

Opmerking: Wat bij 3.1.6 staat over de hoogtemeterinstellingen is officiële LAPL-examenstof voor het vak meteorologie. Aangezien dit ook bij het vak Navigatie aan de orde komt, worden er bij het vak Meteorologie geen vragen over de hoogtemeterinstellingen gesteld.

Hoogtemeterinstellingen

Een barometer geeft de luchtdruk aan. De luchtdruk neemt in het onderste deel van de atmosfeer af met 12,5 hPa per 100 m. Een hoogtemeter is een aangepaste barometer.

Deze hoogtemeter staat op 1035 hPa. Dat zie je op de subscale (de verdraaibare schijf) bovenin de hoogtemeter. Op die druk is de meter voor de vlucht gezet. Deze hoogtemeter geeft nu een hoogte van 650 meter boven veldniveau aan. Het kan ook zijn dat de QNH (druk op zeeniveau) 1035 hPa is. Dan bevindt deze hoogtemeter zich 650 meter boven zeeniveau.

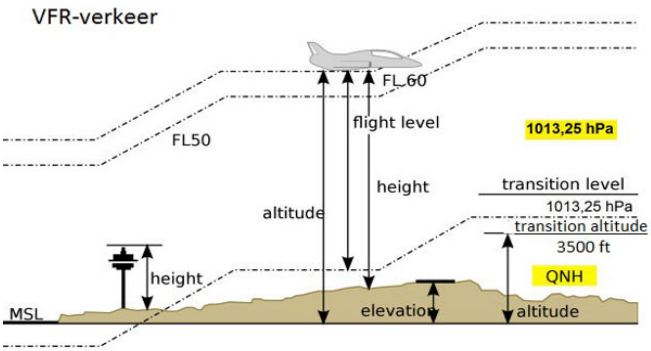
Linksonder zie je een draaiknop. Door aan die knop te draaien kun je de ingestelde barometerdruk veranderen en de hoogtemeter instellen op:

1. veldniveau,
2. zeeniveau
3. de druk van de standaardatmosfeer (1013,2 hPa).

We gebruiken voor de hoogtemeterinstellingen de volgende drie Q-codes:

1. **QFE** (field elevation). Is de hoogtemeter ingesteld op QFE dan geeft hij de hoogte op **veldniveau** weer. Om de hoogtemeter op veldniveau te zetten, draai je voor de start de beide hoogtewijzers op nul. Dat is vooral gemakkelijk voor de landing. Na een korte vlucht zal de hoogtemeter na de landing weer ongeveer nul meter hoogte aanwijzen. Bij lokale vluchten is dit de meest gebruikte hoogtemeterinstelling. De hoogte bij QFE noemen we **height**.
2. **QNH**. Zet je de hoogtemeter op QNH dan staat de hoogtemeter ingesteld op de luchtdruk op zeeniveau. De hoogtemeter zal op de grond de hoogte van het vliegveld aangeven. Deze luchtdruk neem je over van een meteo-station of je stelt de hoogte van het vliegveld in. Bij overland vluchten wordt deze instelling gebruikt, want de hoogtes op de vliegkaart worden boven zeeniveau weergegeven. Aangezien in Nederland veel vliegvelden ongeveer op zeeniveau liggen, zit er bij ons weinig verschil tussen QFE en QNH. De hoogte bij QNH noemen we **altitude**.
3. **QNE** (standaard instelling). De QNE instelling wil zeggen dat de hoogtemeter is ingesteld op de standaarddruk van 1013,2 hPa. Bij deze instelling wordt de hoogte weergegeven in **Flight Levels** (FL). Internationaal is afgesproken dat vliegtuigen boven een bepaalde hoogte allemaal

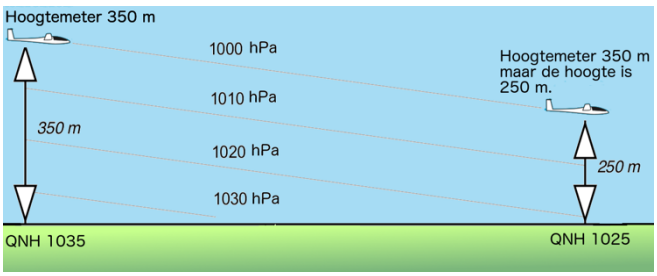
overschakelen op QNE. Dat is de **transition altitude**. In Nederland is dat bij een hoogte van 3500 vt. Je zet dan de hoogtemeter op 1013,2 hPa (gemiddelde druk op zeeniveau). Voor internationale vluchten, waarbij het ene vliegtuig start met een andere plaatselijk luchtdruk (QNH) dan het andere vliegtuig is dit een belangrijke veiligheidsmaatregel. De verkeersleiding geeft passagiersvliegtuigen aan hoe snel ze moeten vliegen en welk flight level ze aan moeten houden. Op die manier worden botsingen vermeden. Zweefvliegtuigen die in een gebied tot bijvoorbeeld FL65 mogen stijgen, moeten de maximale hoogte bepalen aan de hand van QNE. Dus de hoogtemeter op 1013,2 zetten. Bij het dalen moet op een hoogte van FL 45 weer teruggedraaid worden naar QNH. Een FL komt overeen met 100 ft. FL 45 is 4500 ft als de QNH toevallig 1013,2 hPa is.



Altitude is de verticale afstand tussen een vliegtuig en zeeniveau. Height is verticale afstand tussen een vliegtuig en het onderliggende terrein. Flight level (FL) is de hoogte in honderdtallen voeten waarbij de hoogtemeter op de standaarddruk op zeeniveau is ingesteld (1013 hPa).

De invloed van luchtdrukverandering

Tijdens een lange overland kan de luchtdruk veranderen. Stel je vliegt van een gebied met een hogere luchtdruk naar een gebied met een lagere luchtdruk dan wijst de hoogtemeter niet meer de juiste hoogte aan. Bij dalende luchtdruk geeft je hoogtemeter een te hoge hoogte aan. Ga je van hoge naar lage druk dan is het ezelsbruggetje: "From high to low, look out below".



Het zweefvliegtuig dat gestart is met een QNH van 1035 komt uren later in een gebied met een QNH van 1025. De hoogtemeter is nog ingesteld op een QNH van 1035 en geeft 350 m hoogte aan. In werkelijkheid zit het zweefvliegtuig bij een QNH van 1025 zo'n 100 m lager. Bij buiten landen moet je de hoogte in het circuit schatten. Gelukkig geeft een navigatieprogramma met een GPS vrij nauwkeurig de hoogte boven de grond aan.

De invloed van temperatuurverandering

Vlieg je van een gebied met een hoge temperatuur naar een gebied met een lagere temperatuur, dan wijst de hoogtemeter te hoog aan. Je zit dan lager dan de hoogtemeter aangeeft. Vlieg je van kouder naar warmer dan zit je dus hoger dan de hoogtemeter aangeeft.

In deze video van 15 minuten wordt een goede samenvatting gegeven van dit hoofdstuk over de atmosfeer..

Samenvatting atmosfeer:

Op basis van het verloop van de temperatuur kun je de atmosfeer indelen in vier lagen:

1. de troposfeer;
2. de stratosfeer;
3. de mesosfeer;
4. de thermosfeer.

Het weer speelt zich af in de troposfeer.

De mate van opwarming van het aardoppervlak wordt bepaald door:

- de invalshoek van de zonnestralen,
- de lengte van de weg door de atmosfeer,
- de aanwezigheid van wolken,
- de bodemgesteldheid (dus bijvoorbeeld kleur, nat/droog).

Bij het toenemen van de hoogte, daalt de luchtdruk door de afname van het gewicht van de luchtkolom erboven.

De temperatuur van de atmosfeer wordt gemeten in Celsius of Fahrenheit.

De temperatuurafname van een bel stijgende lucht is 1°C per 100 meter.

Een luchtlaag waar de temperatuur met de hoogte stijgt heet een **inversielaag**

Een laag waar de temperatuur met de hoogte gelijk blijft is een **isothermie**.

Isobaren zijn lijnen die gebieden met een dezelfde luchtdruk verbinden.

Luchtdruk is de kracht die het gewicht van de luchtkolom uitoefent op voorwerpen, vloeistoffen en gassen in de atmosfeer. De gemiddelde luchtdruk op zeeniveau is 76 cm kwikdruk (1013 hPa).

Luchtdichtheid Is het gewicht van lucht per m^3. Het gewicht van droge lucht op zeeniveau, bij 0 °C, bedraagt 1,293 kg/m3 bij een luchtdruk van 1013,25

hPa. Hoe hoger de temperatuur hoe lager de luchtdichtheid bij een bepaalde luchtdruk. Warme lucht is lichter en zal stijgen in een omgeving van koudere lucht.

De internationale standaardatmosfeer gaat uit van de volgende omstandigheden:

1. Een **temperatuur op zeeniveau van 15 °C**
2. Een **temperatuurafname van 0,65 °C per 100 m** hoogte in de troposfeer
3. Een **druk op zeeniveau van 1013,2 hPa**
4. Een **afname van de druk van 1 hPa per 8 m** in de onderste luchtlaag.

Het ijken van de hoogtemeter en de snelheidsmeter gebeurt bij omstandigheden die overeenkomen met de standaardatmosfeer.

Je kunt een hoogtemeter instellen op:

- QFE = druk op veldniveau, de hoogte bij QFE noemen we **height**
- QNH = druk gecorrigeerd naar zeeniveau, de hoogte bij QNH noemen we **altitude**.
- QNE = 1013 hPa, de hoogte bij QNE noemen we het **flight level** (FL)

"From high to low, look out below":

- Vlieg je van een gebied met een hogere naar een gebied met een lagere luchtdruk dan geeft je hoogtemeter een te hoge hoogte aan.
- Vlieg je van een gebied met een hogere naar een gebied met een lagere temperatuur, dan zit je lager dan de hoogtemeter aangeeft.

3.2 WIND

Wind is stroming van lucht. Het is een belangrijk onderdeel van het zweefvliegweer. De windrichting bepaalt waar de startplaats komt. Met wind recht op de lierbaan kom je aanmerkelijk hoger dan wanneer het niet waait. Met crosswind starten en landen is lastiger dan wanneer het niet waait. Landen met rugwind moet je, als het enigszins kan vermijden. Waait het te hard dan wordt het zweefvliegen gecanceld. Bij zweefvliegen splitsen we wind in horizontale wind en verticale wind. Verticale wind (thermiek) is de motor van het zweefvliegen. Is er geen thermiek dan hebben we het over 'jojo-startjes' goed om starten en landen te oefenen, maar niet geschikt voor duur- en overlandvluchten. Thermiek komt bij 3.3 Thermodynamica aan bod. In dit hoofdstuk gaat het over:

- 3.2.1 WIND, WINDKRACHT EN WINDRICHTINGEN
- 3.2.2 HET ONTSTAAN VAN WIND
- 3.2.3 WINDCIRCULATIE RONDOM DE AARDE
- 3.2.4 LOKALE WINDEN
- 3.2 5 GOLF
- 3.2.6 TURBULENTIE

3.2.1 WIND, WINDKRACHT EN WINDRICHTINGEN

- Windsnelheden en windrichtingen
- Wind en oppervlakte wind

Windsnelheden

De windsterkte kan uitgedrukt worden in: windkracht, in meters per seconde, in kilometer per uur en in knopen. In de luchtvaart gebruiken we knopen. Bij de nieuwsberichten en de tv gebruikt men vaak de schaal van Beaufort om de windkracht aan te geven. In het schema hieronder kun je lezen waar dat mee overeenkomt.

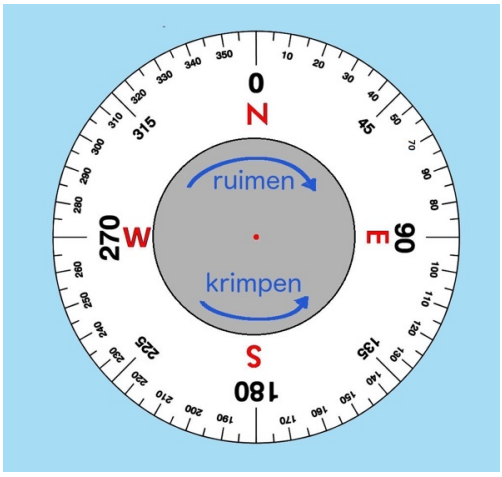
Windkracht*	Windsnelheid m/s	km/h	knopen	Omschrijving van de wind
0	0 - 0,2	<1	1	Windstil
1	0,3 –1,5	1 - 5	1 - 3	Zwakke wind
2	1,6 – 3,3	6 - 12	4 – 6	
3	3,4 – 5,4	13 - 19	7 - 10	Matige wind
4	5,5 – 7,9	20 - 28	11 - 16	
5	8,0 – 10,7	29 - 38	17 - 21	Vrij krachtige wind
6	10,8 – 13,8	39 - 49	22 - 27	Krachtige wind
7	13,9 - 17,1	50 - 61	28 - 33	Harde wind
8	17,2 – 20,7	62 - 74	34 - 40	Stormachtige wind
9	20,8 – 24,4	75 - 88	41 - 47	Storm
10	24,5 – 28,4	89 - 102	48 - 55	Zware storm
11	28,5 – 32,6	103-117	56 - 63	Zeer zware storm
12	> 32,6	> 117	> 63	Orkaan

** Windkracht = schaal Beaufort, 1 knoop = ongeveer 0,5 m/s = 1,8 km/h.*

Bij windkracht 6 en 25 knopen ligt de limiet voor veilig zweefvliegen. Bij crosswind hanteren we lagere limieten. Deze video van wetter.com geeft aan hoe je aan het bewegen van bomen en planten kunt zien hoe hard het ongeveer waait.

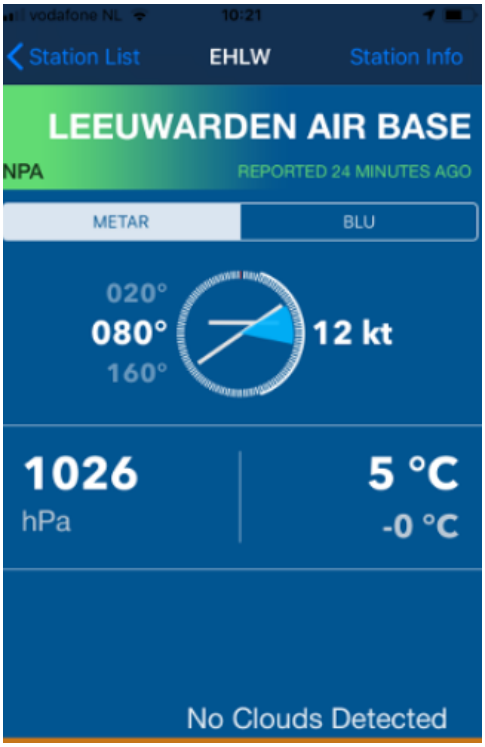
Windrichtingen

Met windrichting bedoelen we waar de wind vandaan komt. Bij zeewind komt de wind van zee naar het land. In Nederland hebben we geregeld zuidwestelijke wind. Dan waait de wind uit het zuidwesten naar het noordoosten.



De windrichting wordt in graden van de windroos weergegeven bijv. 090 = 90 graden = oostenwind. Draait de wind met de klok mee dan ruimt de wind. Draait de windrichting tegen de klok in dan krimpt de wind.

Wanneer het KNMI voor de luchtvaart een wind van 24020kt aangeeft, dan betekent dat, dat de wind uit richting 240 (dus zuidwest) komt met een kracht van 20 knopen. Achter de schuine streep staat soms een getal. Dit getal geeft de uitschieters aan. 18025/35 betekent: wind uit het zuiden met een gemiddelde van 25 knopen en uitschieters tot 35 knopen.



Op de gratis APP StationWX kun je per vliegveld o.a. zien hoe hard het waait en uit welke richting.

Wind en oppervlakte wind

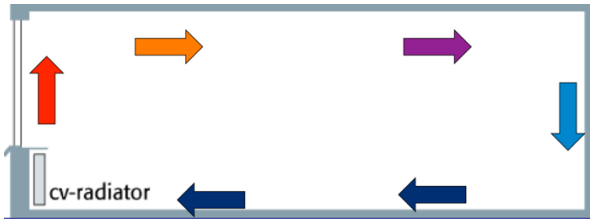
Op grote hoogte waait het aanmerkelijk harder dan dicht bij de grond. Door de grond, obstakels zoals huizen en bomen wordt de wind afgeremd en krimpt de wind. Zie 3.2.2

3.2.2 HET ONTSTAAN VAN WIND

- De belangrijkste oorzaak van het ontstaan van wind,
- Drukgradiënt,
- Corioliskracht
- Geostrofische wind
- Invloed grondoppervlak op windrichting en kracht
- De effecten van convergentie en divergentie

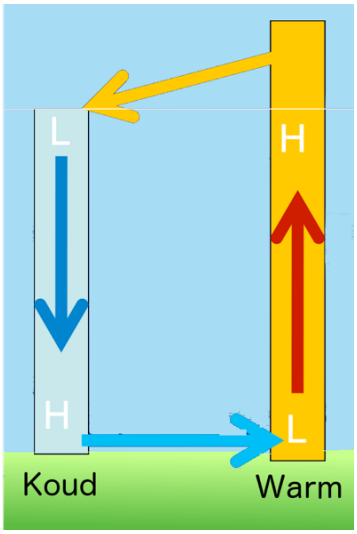
De belangrijkste oorzaak van het ontstaan van wind

In een huiskamer met een warme radiator stijgt warme lucht op en over de grond stroomt koudere lucht richting de verwarming. Daar warmt de koude lucht op en stijgt weer.



Bij de radiator wordt warme lucht door geleiding warm, daardoor wordt de lucht lichter en gaat omhoog. Tegelijk stroomt koelere lucht in een kamer naar de verwarming, want daar kan geen vacuüm ontstaan. Wanneer de warme lucht bij het plafond komt dan kan het niet verder stijgen en wordt het gedwongen om af te buigen. Lucht die afkoelt wordt zwaarder, daalt en komt weer bij de verwarming.

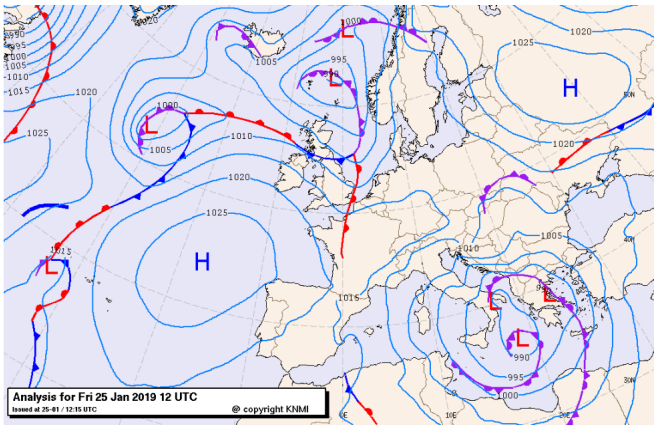
Door luchtdrukverschillen gaat lucht stromen en zo ontstaat er wind. Net als water stroomt lucht van hoog naar laag en dat komt door de aantrekkingskracht van de aarde. De luchtdrukkolom boven ons hoofd is altijd wisselend. De druk is afhankelijk van de temperatuur van de lucht en de hoogte van de luchtkolom.



Warme lucht zet uit en daar ontstaat een hogere luchtkolom. Boven in die kolom wordt de druk hoger dan in de koudere kolom op dezelfde hoogte. Er stroomt lucht van de hoge warme kolom naar de lagere koude kolom. De druk onder in de warme kolom daalt en stijgt in de koude kolom. Bij het warme aardoppervlak ontstaat daardoor een gebied met lagere druk en er stroomt lucht van de koude kolom over het aardoppervlak naar de warme kolom.

Drukgradiënt

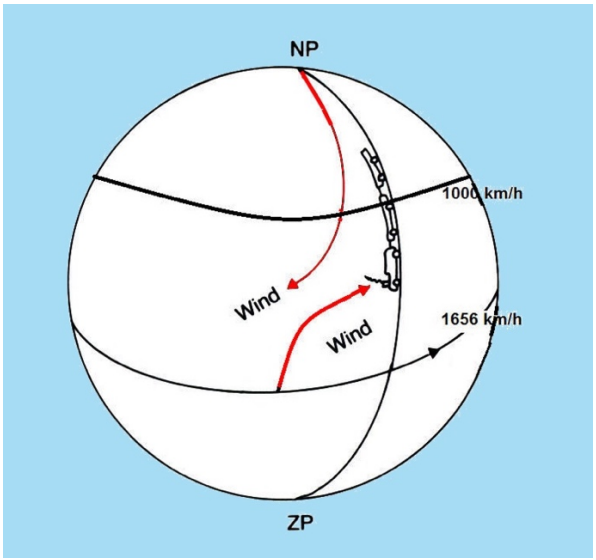
Op een weerkaart worden gebieden met dezelfde luchtdruk weergegeven door isobaren (de blauwe lijnen op de weerkaart).



Wind ontstaat door een verschil in luchtdruk tussen een hoge en een lage drukgebied. De sterkte van de wind zal afhangen van de **drukgradiënt**, de mate van luchtdrukverandering over een afstand. Op deze weerkaart van het KNMI zie je linksboven de isobaren dicht bij elkaar liggen. Wanneer de isobaren dicht bij elkaar liggen dan is daar de drukgradiënt hoog en waait het hard. Liggen de isobaren ver uit elkaar dan is daar de wind zwak. Bij hogedrukgebieden liggen de isobaren ver uit elkaar en is de wind zwak.

Corioliskracht

Het corioliseffect verklaart de afbuiging van de baan van een voorwerp dat beweegt in een roterend systeem. De lucht stroomt van een hogedrukgebied naar een lagedrukgebied. Je zou verwachten dat de lucht, net als de trein op de afbeelding hieronder, rechtstreeks van het hogedrukgebied naar het lage drukgebied zou stromen, maar dit is niet het geval.



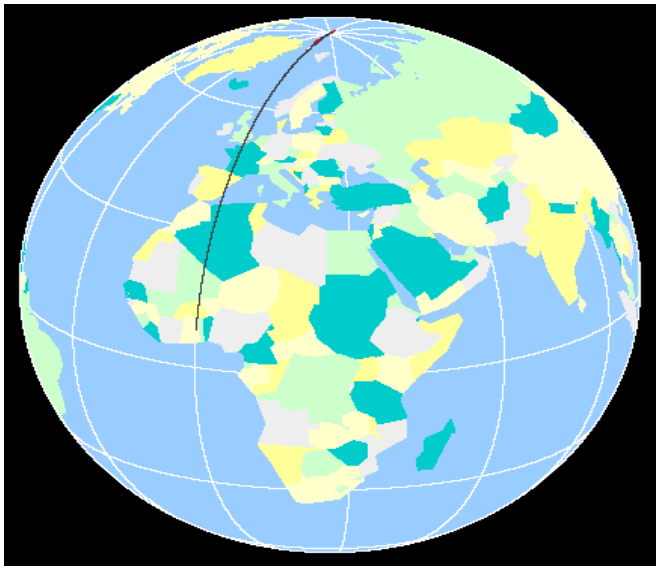
Als de trein zich dicht bij de noordpool bevindt, dan beschrijft hij, door de draaiing van de aarde, in 24 uur maar een klein cirkeltje rond de aardas. Bij de evenaar legt hij in een etmaal 40.000 km af. Als de trein van de pool naar de evenaar gaat (dus van noord naar zuid), dan beweegt hij, door de draaiing van de aarde, tevens steeds sneller van west naar oost en die versnelling kost kracht. Die zijwaartse kracht van west naar oost op de trein wordt door de rails opgevangen en daardoor gaat de trein toch rechtstreeks naar het zuiden.

De bovenbeschreven zijwaartse kracht werkt ook op de luchtbewegingen boven het aardoppervlak. Hierbij is er echter geen tegenkracht, zoals bij de trein, die de luchtbewegingen op koers houden.

Lucht die van Noord naar Zuid of van Zuid naar Noord stroomt, zal daardoor ook van West naar Oost gaan stromen. Dit noemt men het Corioliseffect en de kracht die de richtingsafwijking doet ontstaan heet de Corioliskracht.

Het Corioliseffect is het sterkste bij de polen en is nihil op de evenaar. Op het noordelijk halfrond krijgt de luchtstroming daardoor een afwijking naar rechts en op het zuidelijk halfrond krijgt de luchtstroming een afwijking naar links.

De Nederlandse meteoroloog Buys Ballot omschreef dit verschijnsel als volgt: Sta je op het noordelijk halfrond met de rug naar de wind, dan bevindt een hogedrukgebied zich rechts van je en een lagedrukgebied links.

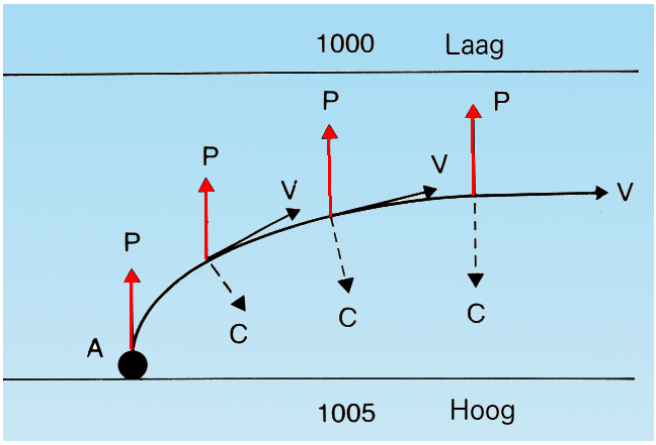


Dit model laat de afwijking naar rechts zien als de lucht van de polen naar het zuiden stroomt. In werkelijkheid stroomt de koude lucht van het noorden niet in een keer door naar de evenaar, maar stuit die lucht bij de 60e breedtegraad op de warme lucht die van de subtropen komt (zie 3.2.3 Windcirculatie rondom de aarde).

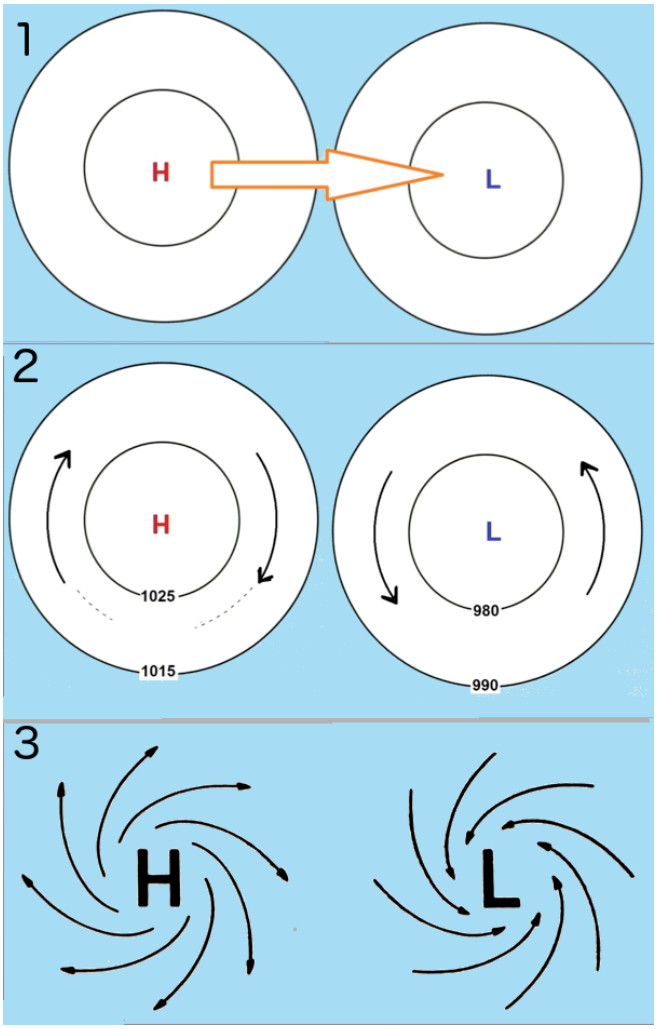
Geostrofische wind

Een pakketje lucht dat bij een hogedrukgebied in beweging komt, wil van een hoge- naar een lagedrukgebied stromen. Zodra dit pakketje lucht als

gevolg van de luchtgradiënt begint te stromen, wordt het door de Corioliskracht afgebogen en volgt op den duur de isobaren. Zo ontstaat een geostrofische wind.



Op de tekening zie je dat bij **A** een pakketje lucht in beweging komt. Door de drukgradiënt **P (pressure)** begint het van 1005 hPa in de richting van 1000 hPa te stromen. Zodra de beweging begonnen is ondervindt het pakketje door de Corioliskracht **(C)** een afwijking naar rechts. Ondertussen neemt de snelheid **(V)** toe en de baan van het luchtpakketje gaat steeds meer naar rechts totdat er een evenwichtssituatie tussen drukgradiënt en Corioliskracht ontstaat en het pakketje lucht vrijwel gelijk aan de isobaren stroomt.

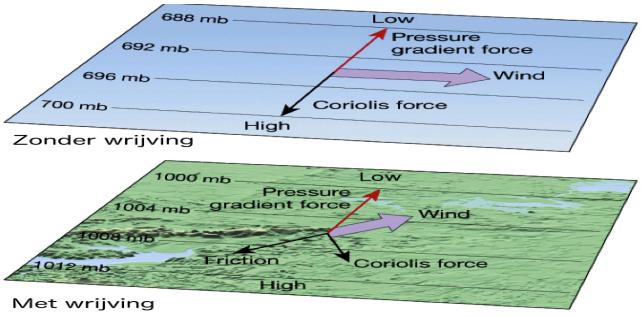


Als er een evenwichtssituatie is ontstaan tussen de luchtdrukgradiëntkracht die naar het lagedrukcentrum is gericht en de corioliskracht, die precies de tegenovergestelde kant op wijst, dan is er sprake van een **geostrofische wind** (2 op de afbeelding hierboven). Op het noordelijk halfrond draait de wind rond een hogedrukgebied met de klok mee en rond een lagedrukgebied tegen de klok in. Op het zuidelijk halfrond is de draaiing precies omgekeerd, dus rond een hogedrukgebied tegen de klok in en rond een lagedrukgebied met de klok mee.

Invloed grondoppervlak op windrichting en kracht

In de onderste 1000 meter (3 op de afbeelding hierboven) is niet meer sprake van een geostrofische wind. Hier wordt de lucht door wrijving met de aarde afgeremd. Door de wrijvingskracht bij het aardoppervlak wordt de corioliskracht kleiner en stroomt de lucht van het hogedrukgebied meer in de richting van het lagedrukgebied.

De wrijving is afhankelijk van het soort aardoppervlak. Een wateroppervlak of vlakke weilanden geven minder wrijving dan een ruig gebied met bergen of obstakels, Door de wrijving neemt de wind af en wordt de corioliskracht kleiner met als gevolg dat de stromingsrichting verandert. De grondwind buigt minder af naar rechts.

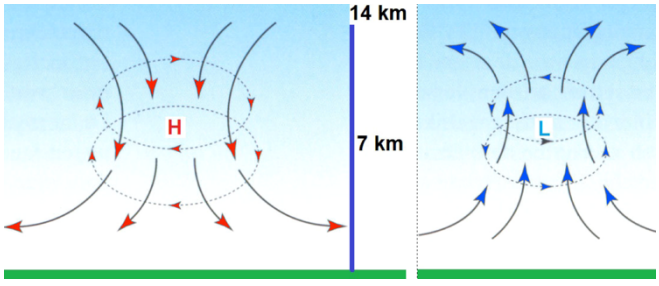


Afb. komt van www.keesfloor.nl

De wrijving speelt zich alleen af in de onderste 1000 m van de dampkring. Hoe hoger je komt, hoe geringer de wrijving. De wind ruimt op het noordelijk halfrond met de hoogte (gaat met de klok mee). Wanneer je bij het KNMI-weerbericht voor de luchtvaart naar de hoogtewinden bekijkt, dan zie je dat met de hoogte de wind meestal ruimt en toeneemt in kracht.

De effecten van convergentie en divergentie

In een hogedrukgebied komt de lucht van boven binnen, draait rechtsom en stroomt over de grond uit naar het lagedrukgebied.

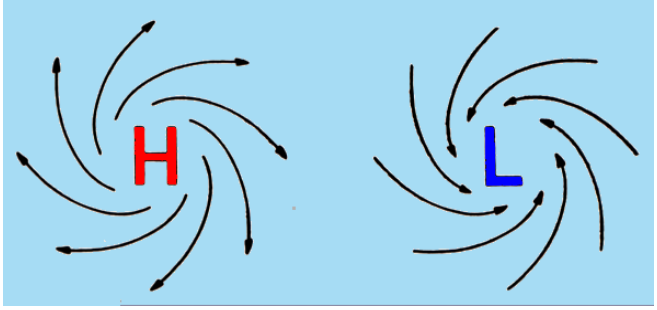


Op de afbeelding zie je links een hogedrukgebied en een paar honderd kilometer verderop is een lagedrukgebied. Bij een lagedrukgebied stroomt de

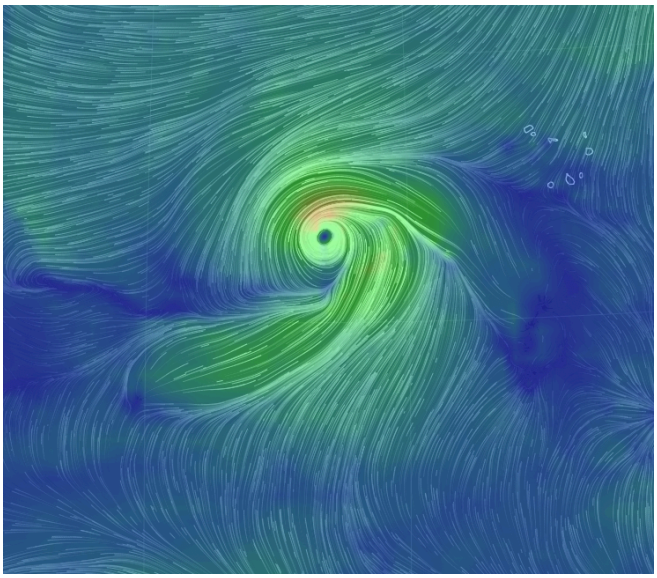
lucht van de grond af binnen en stroomt bovenin uit. De omhoog gaande wind neemt stof, rook en vervuiling mee omhoog en het zicht is goed.

Boven in een hogedrukgebied stroomt de lucht gelijk aan de isobaren. De lucht daalt heel geleidelijk en neemt stof en roetdeeltjes mee omlaag. Bij de grond is de wind heel zwak en in grote steden ontstaat smog omdat rook en stof blijven hangen.

In de onderste kilometer stroomt de lucht door wrijving met het aardoppervlak vooral boven land naar buiten (**divergentie)**. Een hogedrukgebied stroomt (op het noordelijk halfrond) met de klok mee. Dit er uitstromen noemen we **divergeren**.



Bij een lagedrukgebied stroomt in de onderste kilometer de lucht het lagedrukgebied binnen (**convergentie)**. Een lagedrukgebied zal hierdoor geleidelijk opvullen. Dit gebeurt tegen de wijzers van de klok in en we noemen dat **convergeren**.

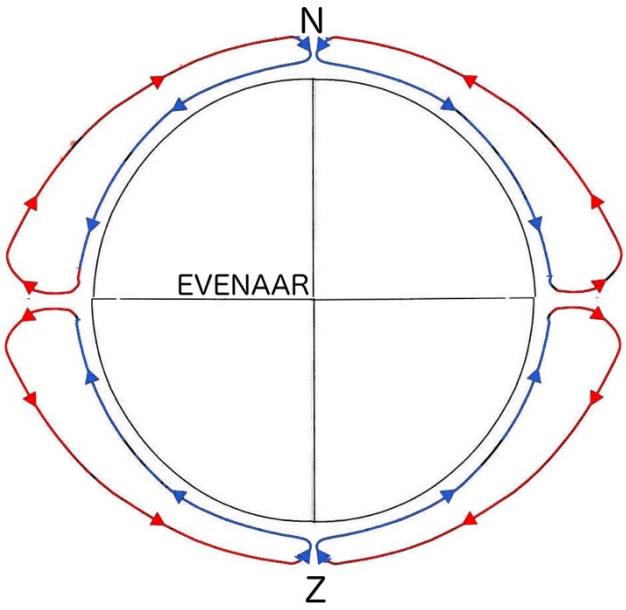


Op deze site kun je duidelijk zien waar zich op dit moment de kern van een lage drukgebied bevindt en hoe de wind daarnaar toe buigt.
Zie: https://earth.nullschool.net/#

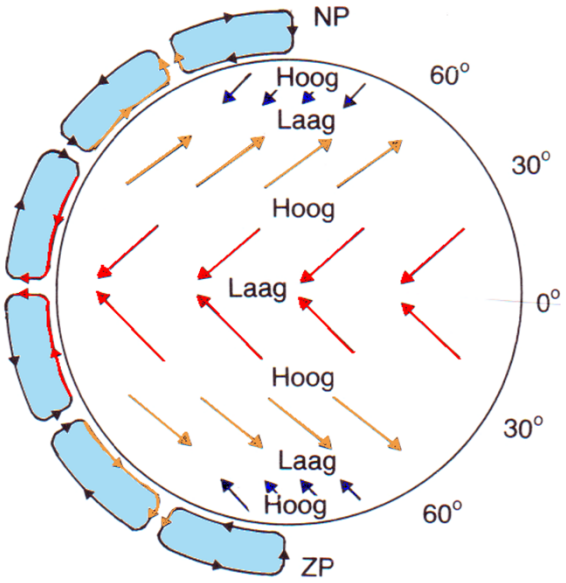
3.2.3 WINDCIRCULATIE RONDOM DE AARDE

- Algemene circulatie van de wind rondom de aarde

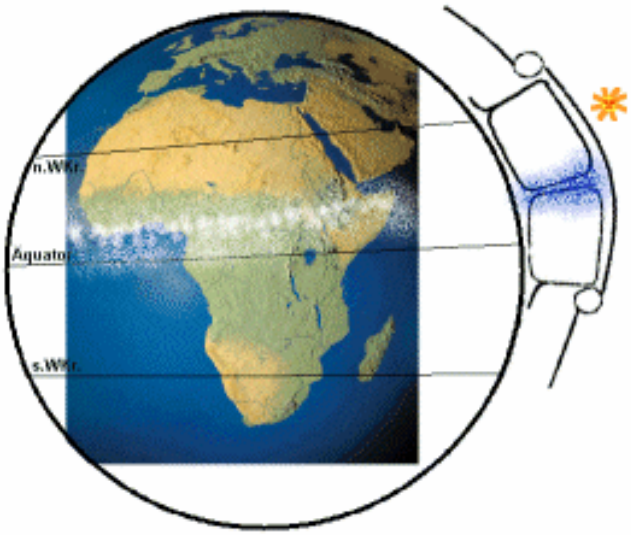
Bij de evenaar wordt de aarde het sterkst verwarmd. De warme lucht stijgt daar op tot de tropopauze. In de stratosfeer neemt de temperatuur van de lucht toe met de hoogte. Daar kan de lucht niet verder stijgen. De stratosfeer werkt als het plafond boven de troposfeer.



Wanneer de aarde niet zou draaien dan zou de luchtcirculatie gelijk zijn aan die op de afbeelding. Bij de evenaar gaat de warme lucht omhoog, door de stratosfeer (het deksel boven de troposfeer) buigt de stroming af naar de polen en vanaf de polen stroomt koude lucht over het aardoppervlak weer naar de evenaar.

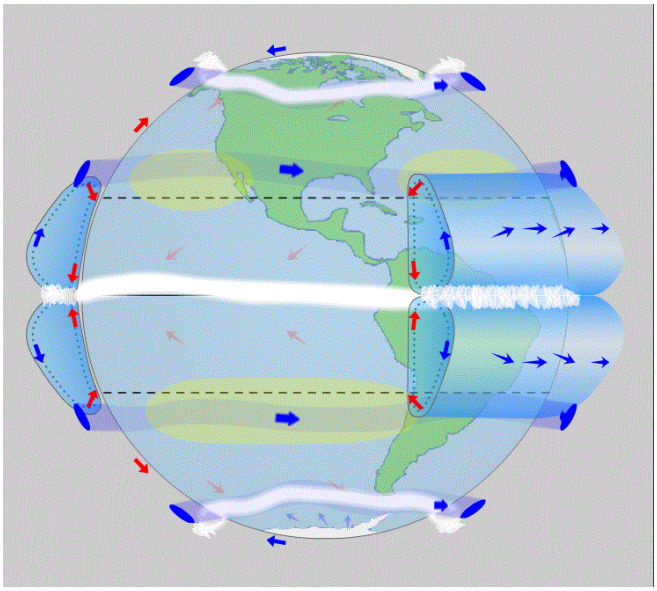


In werkelijkheid gaat de lucht niet in één keer rechtstreeks naar de polen en weer terug maar in drie cellen. De algemene circulatie van de lucht gedraagt zich ongeveer zoals op deze afbeelding is weergegeven. Op aarde zijn gebieden met vrijwel permanent hogedrukgebieden en gebieden waar steeds een lage druk heerst. Bij de evenaar heerst een lagedrukgebied en bij de subtropen (30-ste breedtegraad) waar de lucht die van de tropen komt daalt, heerst permanent een hogedrukgebied. Door de wisseling van de seizoenen verschuiven deze zones.

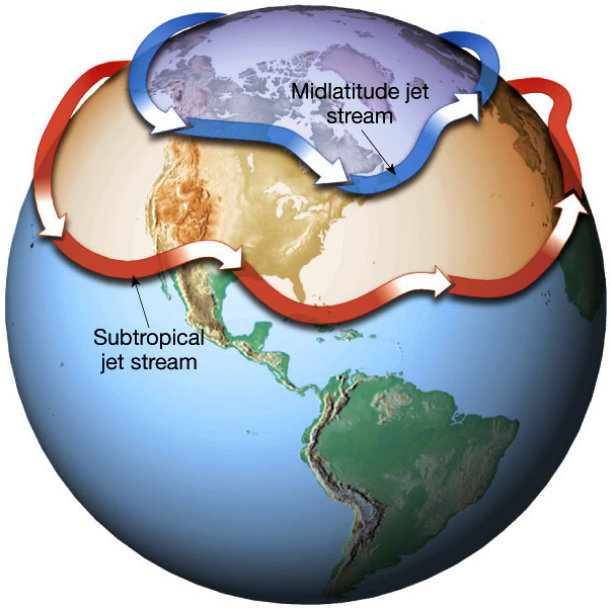


In de **eerste cel** (tropische cel) gaat de lucht bij de evenaar omhoog, daalt bij de 30 ste breedtegraad en gaat vandaar als **passaatwind** (overheersende wind bij de tropen) terug naar de evenaar, terwijl een gedeelte richting de zestigste breedtegraad gaat.

In de **derde cel (polaire cel)** gaat de wind van de polen (hogedrukgebied) naar de zestigste breedtegraad (lagedrukgebied). Bij de zestigste breedtegraad gebeurt het volgende: Koude lucht van de polen stroomt naar de zestigste breedtegraad en botst daar op warme vochtige tropische lucht. Er wordt van twee kanten lucht aangevoerd en daar waar de lucht op elkaar botst, wordt de lucht omhoog gedrukt. Een deel stroomt terug naar de pool en ander deel gaat richting de evenaar. Zo wordt de **tweede cel (cel op gemiddelde breedte)** gevormd. Zie schooltv-filmpje algemene luchtstroom.



Het lage drukgebied bij de 60 ste breedtegraad heet het **polaire front**. Deze frontzone ligt niet het hele jaar precies op dezelfde plaats. Door de wisseling van de seizoenen en door de invloed van hoge bergen zoals de Rocky Mountains verschuift dit front en dat heeft invloed op het weer bij ons.



In de buurt van het polaire front waait op een hoogte van zo'n 10 kilometer een zeer sterke wind van west naar oost. De wind heeft daar een snelheid van meer dan 100 km/h. Dit wordt de straalstroom genoemd en deze is van grote invloed op het weer in Nederland. De straalstroom wordt gevormd langs de grenzen van 2 luchtmassa's met verschillende temperatuur. De straalstroom die een paar honderd kilometer breed is gaat kronkelend van west naar oost (zie de afbeelding hierboven). Wanneer hij op Nederland gericht is, dan voert hij depressies met warmte- en koufronten aan in onze richting. Op de afbeelding zie je een tweede minder belangrijke straalstroom dichter bij de evenaar. De twee straalstromen van het zuidelijk halfrond zijn niet afgebeeld.

3.2.4 LOKALE WINDEN

- Anabatische en katabatische winden (dalwind en bergwind)
- Venturi-effecten,
- Land- en zeewind

Anabatische en katabatische winden (dalwind en bergwind)

In de bergen warmen de hellingen waar de zon loodrecht op schijnt het eerst op. Die warmte wordt afgegeven aan de luchtlaag vlak boven de helling.

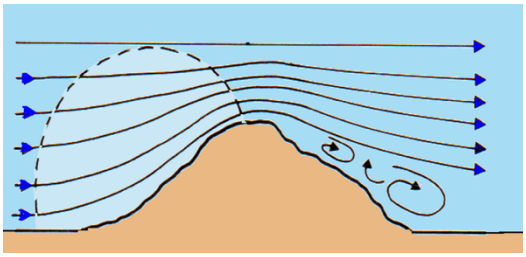
Afb. uit video: Wolken, Wind und Thermik (zie 3.3)

Wanneer daar de thermiek los komt en de lucht gaat stijgen, dan wordt er vanuit het dal lucht aangevoerd die bij de helling omhoog gaat. Dit wordt een anabatische (opstijgende) wind (of dalwind) genoemd. Deze wind kan haaks op de wind boven de bergen staan.

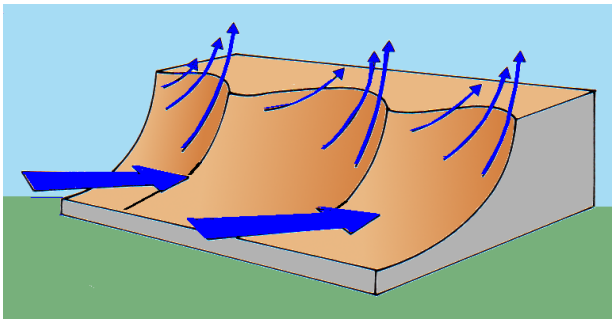
De lucht koelt 's nachts langs de hellingen of op een plateau meer af dan in de omgeving. De koudere lucht is zwaarder en zakt naar het dal. Er ontstaat een windstroming bergafwaarts, die katabatische wind (of bergwind) genoemd wordt. Deze afdalende stroming ontstaat het eerst op oostelijke hellingen waar de zon al een tijd niet meer op schijnt.

Hellingstijgwind

In de bergen wordt de heersende wind door de bergen gedwongen om omhoog te gaan. Aan de windzijde ontstaat hellingstijgwind en aan de lijzijde stroomt de wind weer omlaag.

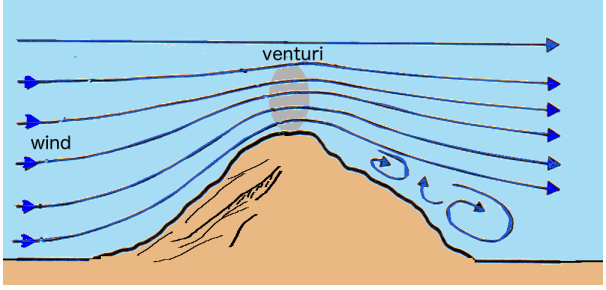


Door aan de windzijde (loefzijde) bij de helling van de berg langs te vliegen, kan een zweefvliegtuig gebruik maken van dit stijgen. Aan de lijzijde moet je niet komen. Je treft daar dalende lucht en turbulentie aan. want daar kan de luchtstroom de helling van de berg vaak niet volgen en wordt turbulent. Bij krachtige wind kunnen daar sterke wervels ontstaan.



Wordt de berghelling van opzij door de wind aangeblazen dan moet je de bergkommen zoeken waar de wind omhoog geduwd wordt. De hoogte tot waar het stijgen bij de helling boven de berg door gaat, heet de **invloedshoogte**. De hoogte hangt af van de helling, de windsterkte en de richting van de wind op de helling. .

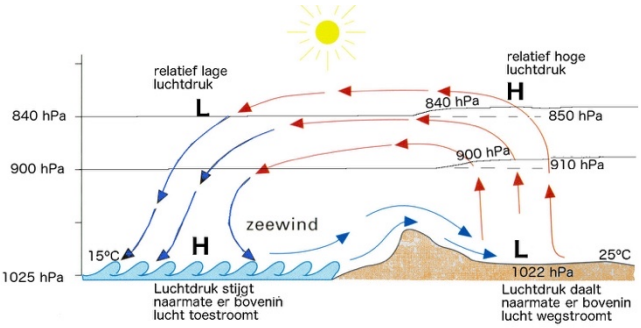
Venturi-effecten



Op de afbeelding zie je dat boven de berg de lijnen van de stromende lucht het dichtst bij elkaar liggen. De windsterkte is daar aanmerkelijk groter dan een eind voor of na de bergtop. Door de berghelling ontstaat een venturi-effect. Een nauwe doorgang waar de doorstroming van de lucht het grootst is. Ook bij een bergpas met een vernauwing treedt het venturi-effect op en daar waait het aanmerkelijk harder.

Land en zeewind

In warme lucht bewegen de moleculen sneller. De lucht heeft meer ruimte nodig. Warme lucht zet uit, wordt lichter en stijgt. Daar ontstaat een hogere luchtkolom. Bovenin de kolom warmere lucht is de druk op een bepaalde hoogte hoger dan in de koudere kolom ernaast op diezelfde hoogte. Er ontstaat een luchtdrukverschil en de luchtcirculatie begint. Wanneer er bovenin lucht van hoog naar laag stroomt dan neemt de druk onder in de koude kolom toe en neemt onder in de warme kolom af. Zo ontstaat de circulatie om de aarde, maar ook op kleinere schaal gebeurt dit. Het komt elk jaar een aantal keren voor dat bij mooi weer vliegveld Leeuwarden aan het eind van de middag te maken krijgt met koude zeewind waardoor de thermiek afgelopen is. We hebben dan te maken met zeewind.



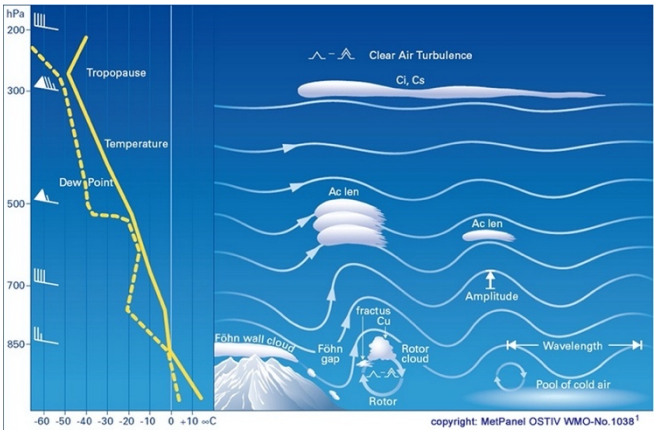
Zeewind ontstaat in het voorjaar of zomers alleen bij geen of heel weinig wind en bij grote temperatuurverschillen tussen de temperatuur van de lucht boven land en de temperatuur van de lucht boven koud zeewater. Aan het eind van de middag, als de temperatuurverschillen het grootst zijn, stroomt de koude lucht van zee boven land en soms tot voorbij Leeuwarden. Zeewind is een matige wind. Krachtige wind ontstaat door invloed van veel grotere druksystemen. Zie ook 3.8.3.

3.2 5 GOLF

- Ontstaan golf
- Karakteristieke eigenschappen van golf

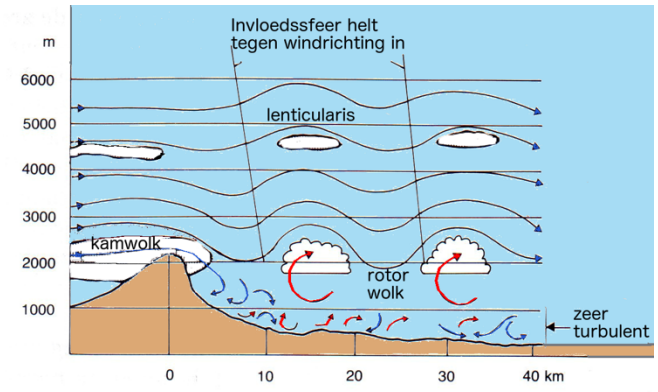
Net zoals een steen in een snel stromende beek een rij golven kan veroorzaken, zo ontstaat er soms in de bergen golf.

De gunstige condities voor het ontstaan van golf komen vooral in de herfst en het vroege voorjaar regelmatig voor.



Voorwaarden voor golf zijn:

- een krachtige bovenwind vrijwel loodrecht op een bergketen;
- een onstabiele onderste laag die niet ver boven de toppen uit mag komen;
- gevolgd door een dikke stabiele laag waarin de windsnelheid met de hoogte toeneemt;
- daarboven weer een onstabiele laag.



Aan de windzijde van een langgerekte bergrug wordt de wind gedwongen om tegen de berg op te stijgen. Stijgende lucht koelt af en daardoor vormt zich, bij voldoende luchtvochtigheid, de **kamwolk** (een stratusachtige wolk). Deze kamwolk lost aan de lijzijde weer op, doordat daar de lucht daalt en opwarmt. Daar ontstaat dan een gat in de bewolking, het **föhngat**. Achter de kam ontstaat de zgn. **rotorwolk**, met enorm stijgen en dalen. Daarin vliegen is zeer gevaarlijk, omdat de kans op overbelasting van het vliegtuig aanwezig is. Als de luchtvochtigheid groot genoeg is wordt de rotorwolk zichtbaar. Hij blijft op dezelfde plaats staan, daarboven bevindt zich de golf. Als de luchtvochtigheid niet groot genoeg is, dan is de rotor er wel, maar niet zichtbaar.

Om aansluiting te krijgen kun je je tot in het begin van de golf laten slepen. Als er golf staat is de onderste laag in de atmosfeer **zeer turbulent**. Je moet dus over een ruime sleepervaring beschikken. In de golf zelf is het stijgen krachtig en meestal heel stabiel.

Op de afbeelding is te zien dat vochtige luchtlagen op grote hoogte in de toppen van de golf zgn. **lenticulariswolken** (lensvormige wolken) kunnen vormen. De 'lenti's', rotorwolken en kamwolk veranderen niet van plaats. Zij vormen zich aan de windzijde en lossen aan de lijzijde op.

In de golf blijf je zoveel mogelijk op dezelfde plaats vliegen. Je bepaalt je positie t.o.v. 2 punten op de grond. Door met de neus in de wind je snelheid zo aan te passen dat je ten opzichte van deze punten niet van plaats verandert, blijf je in de golf 'staan'.

3.2.6 TURBULENTIE

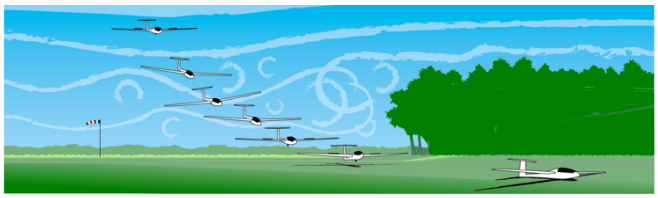
- Het ontstaan van turbulentie
- Soorten turbulentie
- Windgradiënt

Het ontstaan van turbulentie

Luchtwervelingen noemen we ook wel turbulentie. Wanneer je in een stromende beek stenen plaatst dan zie dat het water om en over de stenen heen stroomt. Voor een nauwe doorgang stroomt het even langzamer en tussen de stenen veel sneller. Vlak achter de obstakels ontstaan soms draaikolken. Verder van de obstakels af begint het water weer rustiger te stromen. Ditzelfde verschijnsel doet zich ook in de lucht voor. Wanneer de wind over, langs of tussen obstakels door waait dan vertraagt en versnelt de wind en vormt aan de lijzijde wervelingen. Ook bij thermiek kan door de dalende en stijgende lucht turbulentie ontstaan.

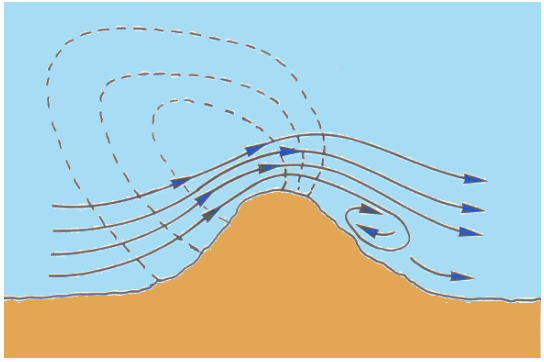
Turbulentie door bomen, gebouwen of bergen

Wanneer je over een bomenrij op het landingsveld aanvliegt, of aan de windzijde naast het landingsveld bomen of iets dergelijks hebt, moet je rekening houden met behoorlijke turbulentie. Het vliegtuig wil alle kanten uit bewegen en de windsnelheid varieert hier sterk.

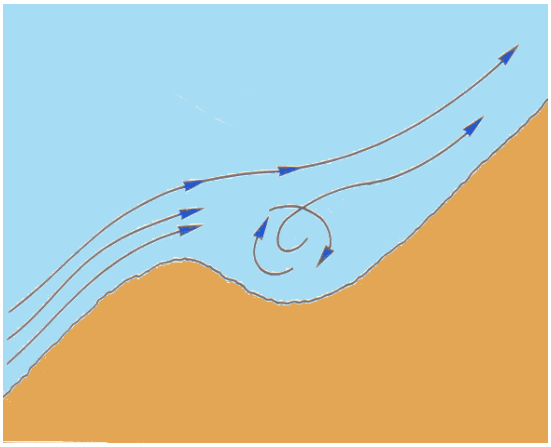


Turbulentie (voor een grotere afbeelding klik op de tekening).

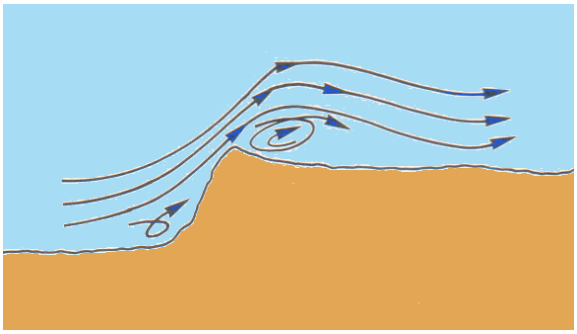
Houd de snelheid extra goed in de gaten en ga sneller vliegen. In de luwte van de bomen neemt de windsnelheid soms flink af. Hoe harder het waait hoe heftiger de wervelingen worden. De kracht van de turbulentie neemt toe met het kwadraat van de windsnelheid. Als het twee keer zo hard waait is de turbulentie vier keer zo groot.



Bij weinig wind gaat de luchtstroming met de helling omhoog en daalt aan de lijzijde. Bij meer wind kan de lucht de berghelling aan de lijzijde niet meer volgen en ontstaan er wervelingen. Bij een krachtige wind kan aan de lijzijde een rotor ontstaan (zie de afbeelding bij golf).



Een kom in een helling kan ook turbulentie veroorzaken. Bij een stevige wind ontstaat hier plotseling dalen en wegvallen van de snelheid. Daarom moet je langs berghellingen altijd met extra snelheid vliegen.



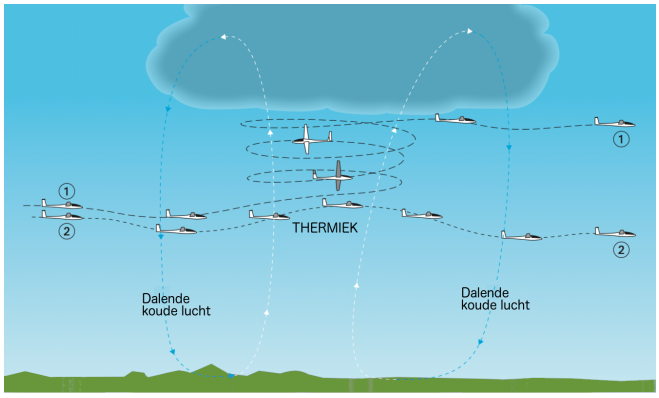
Hoe steiler de helling en hoe sterker de wind, hoe groter de kans op turbulentie boven de top en op de plaats waar de helling met een knik omhoog gaat. De turbulentie kan hier nog weer versterkt worden als er op diezelfde plaatsen ook thermiek loskomt met stijgende en dalende lucht.

Turbulentie wordt ook veroorzaakt door de tipwervel van vliegtuigen. Vooral grote en zware vliegtuigen en helicopters veroorzaken heftige turbulentie. Je dient het gebied, waar ze net gevlogen hebben, gedurende een paar minuten te vermijden.

Turbulentie door thermiek

Een opstijgende thermiekbel drukt de daar aanwezige lucht opzij waardoor wervelingen en snelheidsverschillen in de lucht ontstaan. De kern van een thermiekbel bestaat uit lucht die met verschillende snelheid opstijgt. Aan de rand van de bel tref je dalende lucht aan.

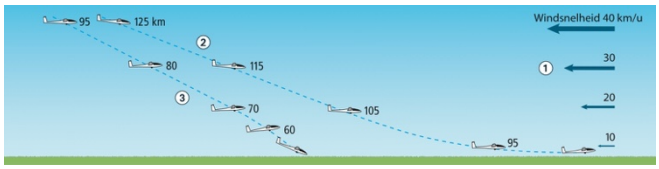
Wanneer je, zoals zweefvliegtuig 2 op de afbeelding, dwars door een bel heen vliegt dan krijg je eerst dalen, vervolgens stijgen en daarna weer dalen.



Bij sterke thermiek kan de overgang van sterk dalen plotseling over gaan in stijgen en dan weer in flink dalen. Wanneer je schuin op een bel aanvliegt dan ondervindt soms één vleugel dalen en de andere stijgen. Zweefvliegers kunnen met deze vorm van turbulentie bijna altijd goed omgaan door bij sterke turbulentie de snelheid te verhogen waardoor het zweefvliegtuig beter bestuurbaar wordt. Bovendien weten ze dat waar sterk dalen zit moet ook behoorlijk stijgen zitten. Vooral bij thermieken boven een koeltoren moet de snelheid behoorlijk verhoogd worden, omdat de thermiek daar heel turbulent kan zijn. Bij onweersomstandigheden kan door het sterke stijgen en dalen zoveel turbulentie ontstaan dat vliegen gevaarlijk wordt (zie 3.9 Gevaarlijke vliegomstandigheden).

Windgradiënt

Op 100 m hoogte kan het aanmerkelijk harder waaien dan op een paar meter vlak boven de grond. In de onderste meters neemt de windsnelheid sterk af doordat de wind door de grond afgeremd wordt. Dit verschijnsel heet windgradiënt. Dit betekent dat de vliegsnelheid van een landend zweefvliegtuig in dit gedeelte van de landing, door het snel teruglopen van de windsnelheid, vermindert. Dit kun je zien aan de snelheidsmeter, die immers de luchtsnelheid en niet de grondsnelheid aangeeft. Om dit op te vangen land je bij harde wind met extra snelheid, circa 10 à 15 km/u boven de normale landingssnelheid en houd je de snelheid extra goed in de gaten. Met harde wind land je bij voorkeur niet met vol kleppen, want dan wordt de baan (final) zeer steil, waardoor het inschatten van de juiste hoogte voor het afronden en de plaats van de landing erg moeilijk is.



Windgradiënt (voor een grotere afbeelding klik hier).

Op het plaatje zie je:
1 Een windgradiënt in de onderste luchtlaag;
2 Een final met voldoende snelheid;
3 Een final met als fouten:

- *te weinig snelheid;*
- *niet meer op de snelheidsmeter gelet;*
- *te hoog begonnen met afronden.*

Samenvatting:

- Door temperatuurverschillen ontstaan drukverschillen en daardoor **ontstaat wind.**
- **Windkracht** wordt uitgedrukt in de **schaal van Beaufort**. De luchtvaart gebruikt **knopen** *(1 knoop = ongeveer 0,5 m/s = 1,8 km/h).*
- Met **windrichting** wordt aangegeven waar de wind vandaan komt. 18025/35 betekent: wind uit het zuiden met een gemiddelde van 25 knopen en uitschieters tot 35 knopen.
- Door de grond wordt de wind afgeremd en krimpt de wind (verandert van richting tegen de wijzers van de klok in).
- De windsterkte is afhankelijk van de **drukgradiënt**, de mate van luchtdrukverandering over een afstand. Wanneer de **isobaren** (lijnen van gelijke druk) dicht bij elkaar liggen dan is daar de drukgradiënt hoog en waait het hard.
- Het Corioliseffect ontstaat door de draaisnelheid en draairichting van de aarde (van west naar oost). Door het **corioliseffect** heeft wind de neiging om van zijn koers af te drijven. Op het noordelijk halfrond naar rechts.
- **Wet Buys Ballot**: De wind waait van een hogedruk naar een lagedruk en ondervindt op het noordelijk halfrond door de rotatie van de aarde een afwijking naar rechts (op het zuidelijke halfrond naar links). Sta je op het noordelijk halfrond met de rug naar de wind, dan bevindt een hogedrukgebied zich rechts van je en een lagedrukgebied links.
- Als er een evenwichtssituatie is ontstaan tussen de luchtdrukgradiëntkracht die naar het lagedrukcentrum is gericht en de corioliskracht, die precies de tegenovergestelde kant op wijst, dan is er sprake van een **geostrofische wind.**
- In de onderste 1000 m neemt de wind door wrijving met het aardoppervlak af en wordt de corioliskracht kleiner, de grondwind buigt minder af naar rechts.
- Bij een lagedrukgebied stroomt de lucht van de grond af binnen (**convergeren**) en stroomt bovenin eruit. Het zicht is goed.
- Bij een hogedrukgebied stroomt de lucht bovenin binnen en op het noordelijk halfrond met de klok mee omlaag. Onderin stroomt de lucht eruit (**divergeren)**.
- De **algemene luchtcirculatie om de aarde** vindt plaats in drie zones. In de eerste zone gaat de lucht bij de evenaar omhoog, daalt bij de 30 ste breedtegraad en gaat terug naar de evenaar, terwijl een gedeelte richting de zestigste breedtegraad gaat. In de **derde zone** gaat de wind van de polen (hogedrukgebied) naar de zestigste breedtegraad (lagedrukgebied), botst daar op warme vochtige tropische lucht en wordt de lucht omhoog gedrukt. Een deel stroomt terug naar de pool en ander deel gaat richting de evenaar. Zo wordt de **tweede zone** gevormd.
- **Anabatische wind (dalwind)** ontstaat doordat de zon de berghelling verwarmt. Daar ontstaat thermiek en vanuit het dal stroomt wind de berg op. 's Avonds en 's nachts koelen de hellingen af, de lucht wordt kouder (zwaarder) en stroomt van de berg naar het dal. Dit heet **katabatische wind (bergwind)**.
- In de bergen wordt de heersende wind door de bergen gedwongen om omhoog te gaan. Aan de windzijde ontstaat **hellingstijwind.** De hoogte tot waar het stijgen boven de berg doorgaat, heet **de invloedshoogte.** Door het **venturi-effect** is de windsterkte daar aanmerkelijk groter dan een eind voor of na de bergtop.
- **Zeewind** ontstaat bij geen of heel weinig wind en bij grote temperatuurverschillen tussen de land en koud zeewater. Warme lucht boven het land stijgt op en stroomt richting de zee en koude lucht van zee waait naar het land.
- Lenti's (lensvormige wolken) geven aan dat er golf staat. Vaak vormt zich bij de bergtop een kamwolk, en aan de lijzijde waar het heel turbulent is rotorwolken. Voorwaarden voor **golf** zijn:

  - een krachtige bovenwind vrijwel loodrecht op een bergketen;
  - een onstabiele onderste laag die niet ver boven de toppen uit mag komen;
  - gevolgd door een dikke stabiele laag waarin de windsnelheid met de hoogte toeneemt;
  - daarboven weer een onstabiele laag.

- Gebouwen, bomen en bergen kunnen voor **turbulentie** zorgen. Als het twee keer zo hard waait is het vier keer zo turbulent. Je moet sneller vliegen om het zweefvliegtuig bestuurbaar te houden. Dit geldt ook voor turbulente thermiek (bijvoorbeeld in de bergen en boven koeltorens).
- In de onderste meters neemt de windsnelheid soms sterk af doordat de wind door de grond afgeremd wordt. Dit verschijnsel heet **windgradiënt** en dat vang je op door een hogere landingssnelheid aan te houden.

3.3 THERMODYNAMICA

Zweefvliegers zijn vooral geïnteresseerd in thermiek. De opstijgende lucht waardoor je op zonne-energie honderden kilometers kunt vliegen. Om het ontstaan van thermiek te begrijpen heb je enige kennis van de thermodynamica nodig.

Het woord thermodynamica komt van de Griekse woorden thermos (warmte) en dunamis (kracht), het is een onderdeel van de natuurkunde dat zich o.a. bezighoudt met de invloed van temperatuur, druk en volume op vloeistoffen en gassen. De thermodynamica gaat o.a. uit van de wet van het behoud van energie (energie kan niet uit het niets ontstaan en energie gaat nooit verloren) en van het feit dat het onmogelijk is warmte om te zetten in arbeid zonder gebruik te maken van een temperatuurverschil, want voor een gas geldt: **P** x **V / T = constant,** oftewel druk (**P**ressure) keer **V**olume gedeeld door de **T**emperatuur is constant .

Dit hoofdstuk is onderverdeeld in:

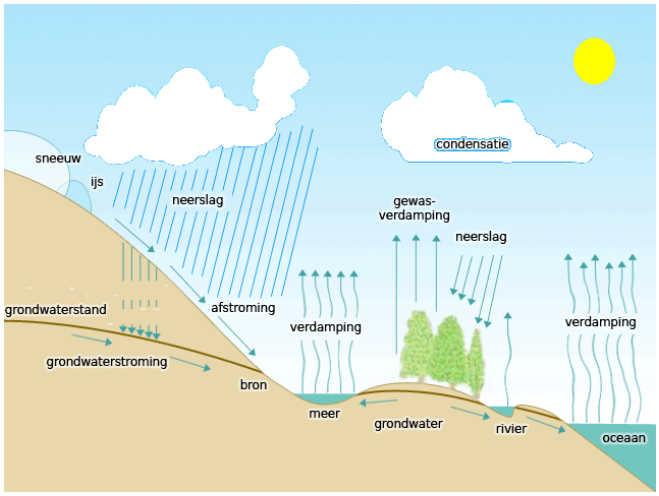
- 3.3.1 VOCHTIGHEID
- 3.3.2 VERANDERING VAN DE AGGREGATIETOESTAND
- 3.3.3 ADIABATISCHE PROCESSEN

3.3.1 VOCHTIGHEID

- Waterdamp in de atmosfeer
- Temperatuur, dauwpunt en relatieve vochtigheid

Waterdamp in de atmosfeer

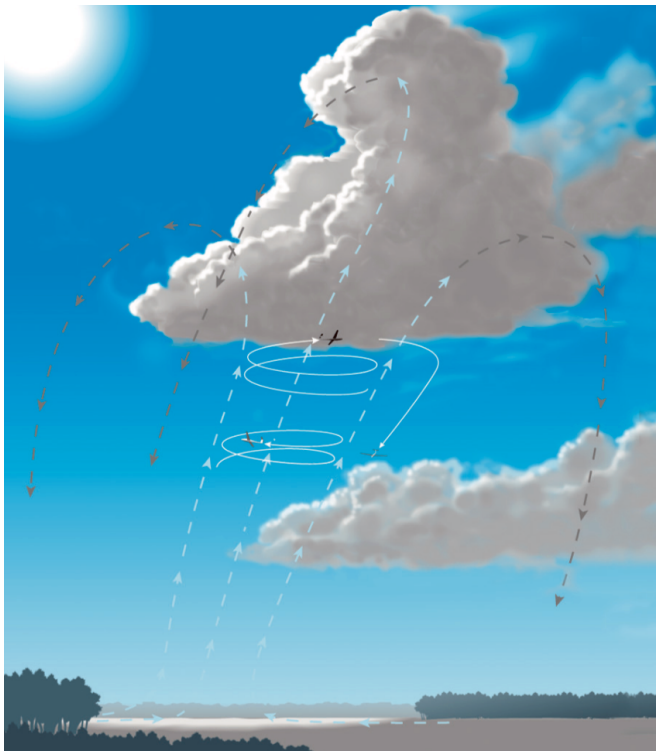
Lucht is een mengsel van gassen. Eén daarvan is waterdamp. Dankzij de aanwezigheid van waterdamp hebben we op aarde weersverschijnselen. De atmosfeer wordt daarom ook wel dampkring genoemd. Aangezien 70% van het aardoppervlak uit zee bestaat, komt water vooral in de lucht voor door verdamping van water boven zee. De wind voert die waterdamp mee en de neerslag zorgt voor rivieren en meren die op hun beurt ook weer voor verdamping van water zorgen. Warme lucht kan meer waterdamp bevatten dan koude. In een tropisch regenwoud kan de lucht wel 4% waterdamp bevatten.



Waterkringloop (afb. van wikipedia)

Temperatuur, dauwpunt en relatieve vochtigheid

Door temperatuurverschillen ontstaan drukverschillen en de lucht begint te stromen. Lucht die horizontaal stroomt noemen we wind en warme lucht die omhoog gaat thermiek.



Wanneer warme lucht opstijgt dan komt het in een omgeving met een lagere druk. De omhooggaande lucht zet tijdens het stijgen uit. Het volume wordt groter. De energie om deze arbeid te verrichten gaat ten koste van de temperatuur.

De verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die de lucht bij een bepaalde temperatuur bevat en zou kunnen bevatten noemen we de **relatieve vochtigheid**. Dit wordt in procenten weergegeven. Een hygrometer geeft de relatieve luchtvochtigheid aan.

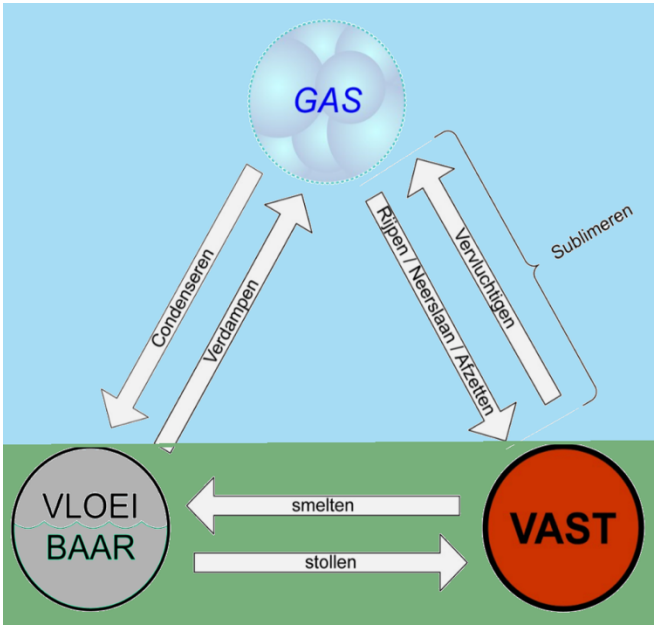
Koude lucht kan minder waterdamp bevatten dan warme lucht. Als lucht stijgt en kouder wordt neemt de hoeveelheid waterdamp niet toe maar omdat koude lucht minder waterdamp kan bevatten neemt de relatieve vochtigheid wel toe. Wanneer de lucht nog

verder afkoelt dan raakt de lucht uiteindelijk **verzadigd**. De relatieve vochtigheid is 100%. Koelt de lucht nog verder af dan **condenseert de waterdamp,** er ontstaat een wolk. De temperatuur waarbij dat gebeurt heet **dauwpunt** en de hoogte waarop dit gebeurt het **condensatieniveau**. Gebeurt dit bij hele lage temperaturen dan kan de waterdamp ook **sublimeren (zie 3.3.2)**, d.w.z. overgaan in ijskristallen.

3.3.2 VERANDERING VAN DE AGGREGATIETOESTAND

- Condensatie, verdamping, sublimatie, bevriezen en smelten.

Met aggregatietoestand bedoelen we de verschijningsvorm waarin een stof zich bevindt, vast, vloeibaar of gasvormig.



De overgang van:

- een vaste stof naar vloeistof heet **smelten**,
- een vloeistof naar gas heet **verdampen,**
- een gas naar vloeistof heet **condenseren,**
- een vloeistof naar vaste stof heet **stollen,**
- vast naar gasvormig heet **vervluchtigen / sublimeren**,
- een gas naar vast heet **rijpen** / neerslaan / **depositie** / afzetten.

Een thermiekbel bevat **latente warmte** (latent is verborgen). Om van een vaste naar een vloeibare of van een vloeibare naar een gasvormige toestand te gaan is energie nodig. Voor verdampen van water is warmte nodig. Bij condensatie komt die warmte weer vrij (latente warmte) en wordt afgegeven aan de omringende lucht.

Wat gebeurt er als ijs verwarmd wordt?
De ijsmoleculen die in een stuk ijs in een regelmatig patroon liggen (kristalrooster) trillen een klein beetje.

Daalt de temperatuur dan trillen ze minder. Bij verwarming beginnen ze meer te trillen. Bij een bepaalde temperatuur trillen ze zo hevig dat de ijskristallen uiteenvallen. Het ijs smelt. Dit is het smeltpunt en de temperatuur waarbij dit gebeurt is 0 °C.

Gesmolten ijs is veranderd in water. De moleculen bewegen zich nu door de hele stof. Wordt de temperatuur verder verhit, dan bewegen de moleculen sneller door de hele vloeistof. Sommige moleculen bewegen zo snel dat ze meer ruimte nodig hebben. Ze komen los van de vloeistof. Dit is **verdampen**. Bij 100 °C verlaten veel moleculen de vloeistof. Ga je door met verhitten dan stijgt de temperatuur niet verder maar neemt het verdampen toe. Dit is het **kookpunt** van de vloeistof.

Wanneer waterdamp afkoelt dan beginnen de moleculen langzamer te bewegen. De waterdamp **condenseert**. Koelt de gecondenseerde waterdamp nog verder af dan bewegen de moleculen nog langzamer. Wordt er nog meer warmte aan de vloeistof onttrokken, dan bewegen de moleculen nog maar op één plaats. De vloeistof stolt (bevriest) en wordt weer ijs.

Waterdamp kan ook **sublimeren** (rechtstreeks van vast overgaan naar gasvormig). Dit gebeurt bij heel droog weer in koude winters. Bij **depositie** of rijpen gaat waterdamp rechtstreeks van gasvormig, zonder eerst te condenseren, naar de vaste toestand.

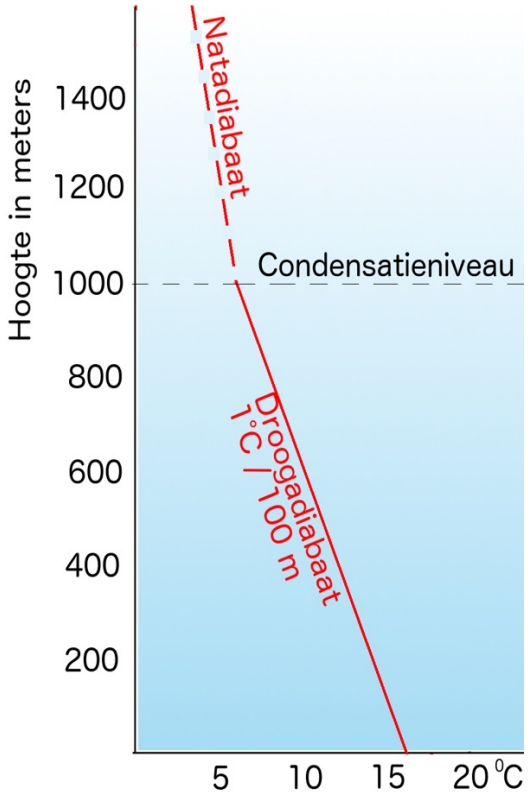
3.3.3 ADIABATISCHE PROCESSEN

- Adiabatische processen
- Stabiliteit van de atmosfeer

Adiabatische processen
Een proces is adiabatisch als er geen warmte met de omgeving wordt uitgewisseld. Het stijgen van een thermiekbel noemen we een adiabatisch proces omdat er (bijna) geen warmte-uitwisseling met de omringende lucht plaats vindt. Lucht is namelijk een goede isolator (geleidt warmte slecht) en geeft de warmte niet af aan de omringend lucht. Een bel lucht met een andere temperatuur en luchtvochtigheid mengt niet gemakkelijk met andere lucht. Als een heteluchtballon gaat zo'n bel lucht omhoog.

Lucht is onstabiel als een pakketje stijgende lucht doorgaat met stijgen. Dit gebeurt zo lang de stijgende lucht warmer is dan de temperatuur van de lucht waar het in stijgt. Tot aan het condensatieniveau spreken we van de **droogadiabaat**.

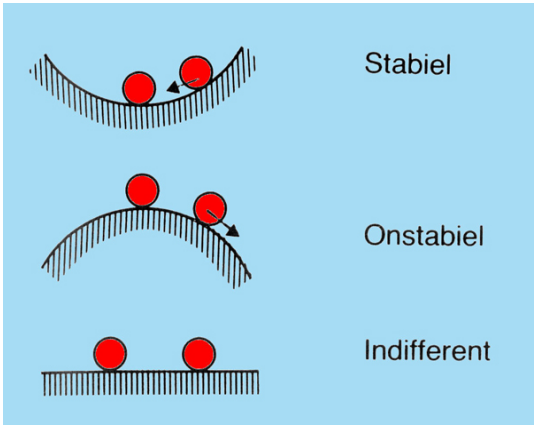
Boven het condensatieniveau ontstaat er een wolk. Om water te laten verdampen heb je warmte nodig. Bij condensatie komt die warmte weer vrij (latente warmte) en wordt afgeven aan de stijgende lucht. De lucht koelt nu niet meer af met 1 °C per 100 meter af maar (afhankelijk van druk en temperatuur) met bijvoorbeeld 0,6 °C per 100 meter. De afname van de temperatuur boven het condensatieniveau heet de **natadiabaat.**



Stabiliteit van de atmosfeer

Met stabiliteit bedoelen we de eigenschap om na een verstoring het evenwicht te herstellen. Er zijn drie vormen van stabiliteit: stabiel, onstabiel en indifferent.

- **Stabiel** wil zeggen dat na een verstoring wordt teruggekeerd naar de oorspronkelijke evenwichtstoestand.
- Bij **onstabiel** wordt na een verstoring nooit teruggekeerd naar een evenwichtstoestand.
- Bij **indifferent** ontstaat een nieuwe evenwichtstoestand op een andere plek.



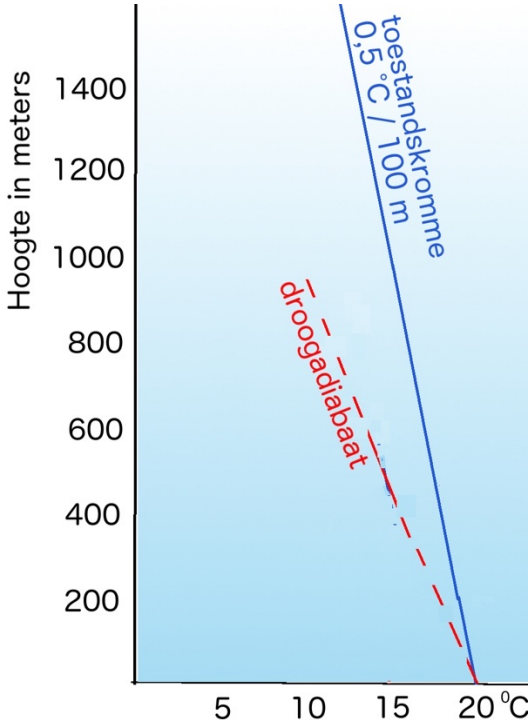
Deze drie mogelijkheden zie je op de afbeelding hierboven afgebeeld:

1. **Stabiel**: Een knikker in een kom verkeert in stabiel evenwicht. Na een verstoring zal het kogeltje z'n oorspronkelijk positie weer innemen.
2. **Onstabiel**: Een knikker op een bol vlak is in onstabiel evenwicht. Na de verstoring wordt de afwijking steeds groter.
3. **Indifferent**: Een knikker op een vlakke plaat is in indifferent evenwicht. Na een verstoring komt de knikker op een andere plaats tot rust.

Voor het ontstaan van thermiek moet de atmosfeer onstabiel zijn..

Stabiele atmosfeer

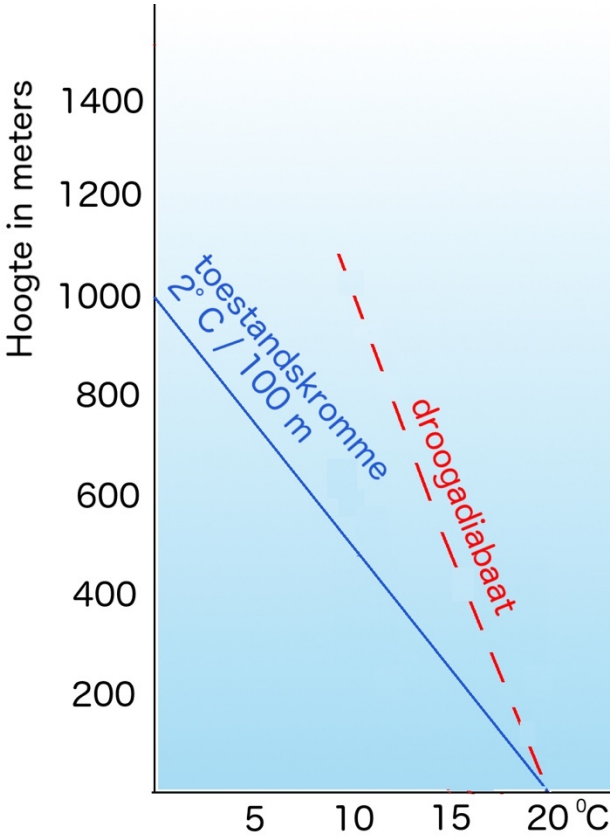
De temperatuur van de lucht neemt met de hoogte af. Weerstations vermelden de temperatuur van de lucht bij bepaalde hoogtes. Wanneer je met een lijn de temperatuur met de hoogte weergeeft dan krijg je de toestandskromme van dat moment.



Op deze afbeelding zie je als doorgetrokken lijn de toestandskromme van een atmosfeer waarbij de temperatuur op de grond 20 °C is en met gemiddeld 0,5 graad per 100 meter afneemt. Stel dat een pakketje lucht dat door het aardoppervlak is opgewarmd tot 21 °C door de wind tegen een bomenrij een beetje omhoog wordt geduwd. Het koelt dan af met 1 °C per 100 meter volgens de droogadiabaat die is weergegeven met de stippellijn. De temperatuur van dat beetje lucht wordt dus, vanaf de hoogte dat de droogadiabaat de toestandskromme snijdt, lager dan de omringende lucht en het wordt weer teruggeduwd naar de oorspronkelijke hoogte. De atmosfeer is dus stabiel.

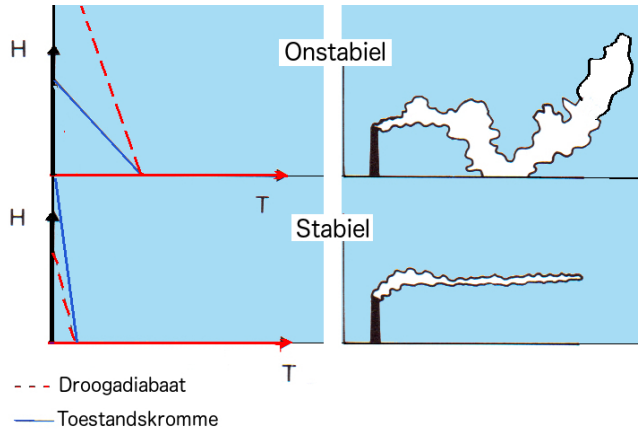
Onstabiele atmosfeer

In het volgende plaatje is een toestandskromme getekend van een atmosfeer waarin de temperatuur gemiddeld 2 °C per 100 meter daalt.



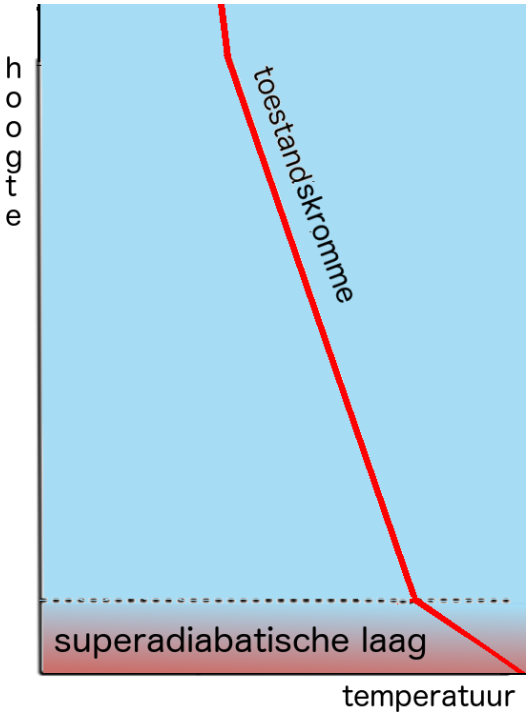
Als een pakketje lucht daarin een beetje omhoog wordt geduwd, daalt de temperatuur ook met 1 graad per 100 meter, maar omdat de omringende lucht 2 graden per 100 meter lager is, is de temperatuur van het bewegende beetje lucht hoger en wordt daardoor nog verder omhooggeduwd. Het verschil tussen de omhoog bewegende lucht en de omringende lucht wordt zelfs steeds groter en dus zal het nog verder stijgen. De atmosfeer is daar onstabiel. Onthoud: als de afname van de temperatuur in de atmosfeer groter is dan de adiabaat is de atmosfeer onstabiel.

Aan de rook uit een schoorsteen kun je zien of de atmosfeer onstabiel is.

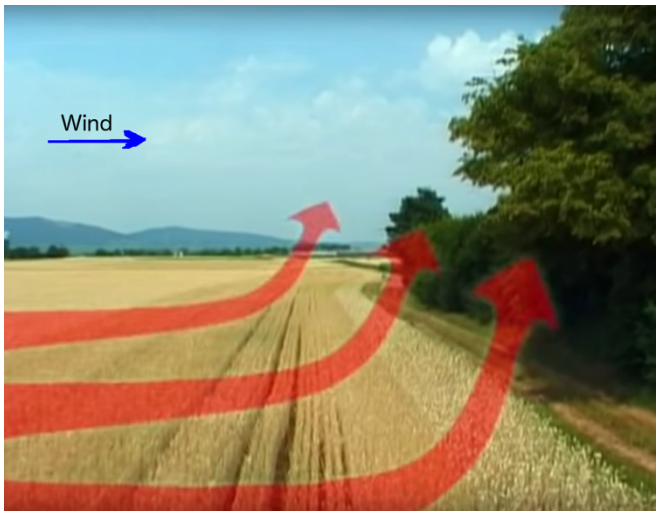


Superadiabatische laag

Wanneer de zon schijnt wordt de grond warm. Door geleiding wordt de onderste lucht warmer. Lucht is een slechte geleider zodat de overdracht van de warmte van de grond beperkt blijft tot de onderste luchtlaag. Er kan dan boven de grond een meters dikke deken warmere lucht komen te liggen.



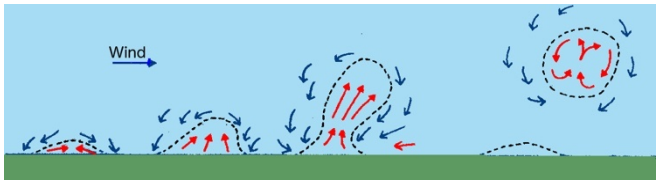
In de onderste 5 meter kan de temperatuur met de hoogte wel met 5 °C afnemen. Dit noemen we een superadiabatische laag omdat de temperatuurafname daar veel groter is dan 1 °C per 100 m. Zo'n superadiabatische laag is zeer onstabiel.



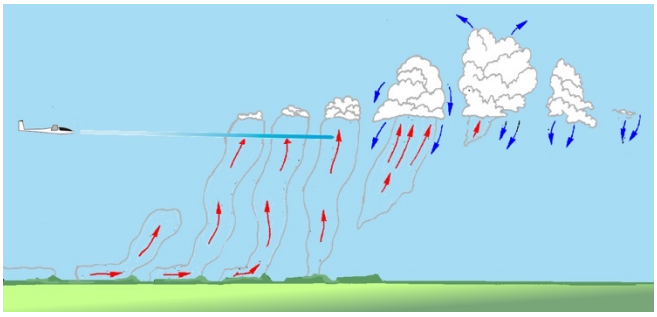
Afb. uit de video Wolken, Wind und Thermik (zie onderaan dit hoofdstuk)

In graanvelden wordt soms een temperatuurverschil van 7 °C met de lucht daar vlak boven gemeten.

Een opgewarmde luchtlaag heeft een impuls nodig om op te stijgen. Een landbouwmachine of een windmolen kan een thermiekbel veroorzaken, maar meestal zorgt de wind voor het loskomen van bellen. Waait de wind tegen een obstakel dan zorgt dat voor een verstoring in de laag warme lucht..

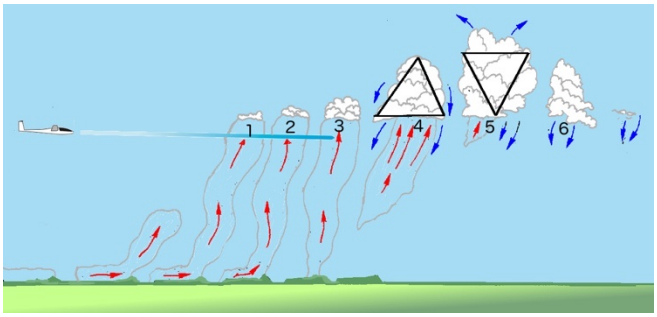


Door een verstoring komt een thermiekbel los. De warme lucht stijgt en koelt 1 °C per 100 m af. Als de bel ver genoeg door stijgt komt de temperatuur onder het dauwpunt. De lucht raakt verzadigd en de waterdamp begint te condenseren. De stapelwolk verraadt dat daar stijgen zit.



Een ervaren zweefvlieger leert de wolken te lezen en bepaalt welke thermiekbel hij wel pakt en welke niet. Thermiekbellen in de vorm van een driehoek met de punt omhoog (bloemkoolwolken) geven in de regel de beste thermiek. Het stijgen zit meestal aan de zon-windzijde.

Bij het stijgen van de lucht onder de wolk (de droogadiabaat), vindt er bijna geen menging plaats met de omringende lucht. Zodra het condensatieniveau bereikt wordt, komt er energie vrij die extra warmte genereert waardoor het stijgen nog meer toeneemt. Dit verklaart het verschijnsel dat het stijgen vlak bij de basis vaak sterker wordt.. Er ontstaat een bloemkoolwolk met vele uitstulpingen en nu vindt er meer menging met de omringende lucht plaats.

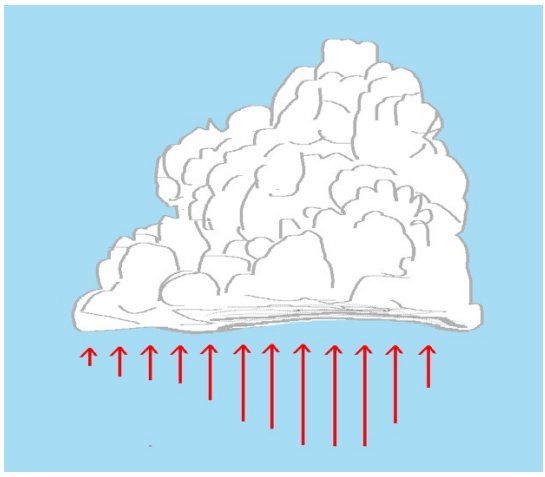


Wanneer de bel niet meer van warme lucht wordt voorzien, dan lost de wolk op. Zo'n wolk lijkt meer op een omgekeerde driehoek met oplossende wolkflarden. Het is niet meer een scherpomlijnde bloemkoolwolk. De wolk wordt steeds meer doorzichtig.

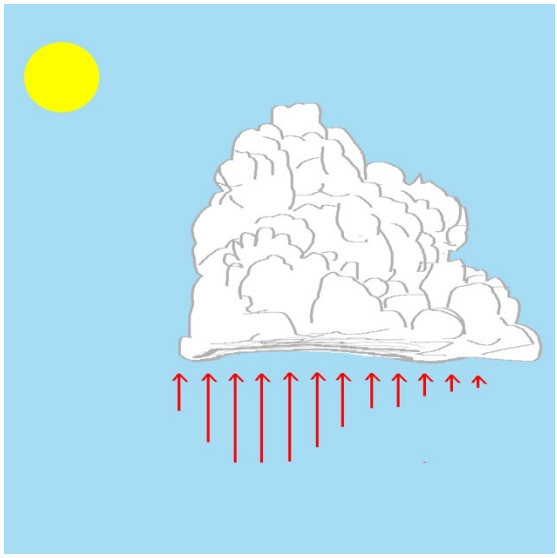
Op de afbeelding zie je cumuluswolken ontstaan en oplossen. Door de wind komt de warme luchtlaag los van de grond. De zweefvlieger die op de grootste wolk (5) afvliegt, loopt het risico dat hij geen aansluiting meer kan vinden als hij onder de wolk aankomt. De eerste drie wolkjes geven aan dat de cumuluswolk nog in de opbouwfase verkeert. Daar kan hij beter voor kiezen. In de fase waar de cumulus volgroeid is, wordt de wolk aan de bovenkant steeds breder. Bij de laatste drie wolkjes wordt de basis smaller en vager. De wolk geeft geen stijgen meer en alleen maar dalen.

Hoe kun je zien of wolken oplossen of juist opbouwen? Het beste resultaat krijg je door jezelf erin te trainen zo nu en dan bewust de wolken te observeren. Kijk je na een minuut weer naar dezelfde wolk dan kun je zien of de wolk gegroeid is of verder is opgelost. Let daarbij op de vorm van een wolk. Heeft de wolk een mooie strakke basis en de vorm van een driehoek of zie je oplossende flarden.

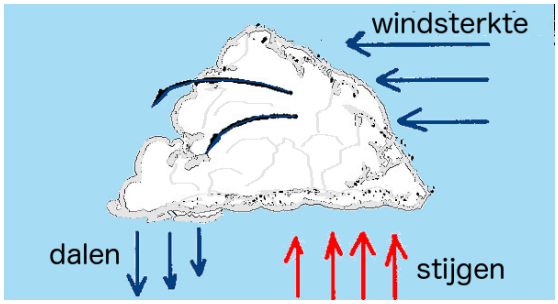
Voor de vlucht en in de lucht kun je soms aan andere zweefvliegers zien aan welke kant van de wolk het stijgen zit. Bij elke nieuwe wolk zoek je het sterkste stijgen aan dezelfde kant als waar je dat bij de vorige vond.



Onder het dikste deel, daar waar de basis het donkerst is, zit meestal het sterkste stijgen. Soms tilt de warmere lucht van de stijgwind hier het condensatieniveau wat op en zie je een deuk in de basis van de wolk. Vlieg daar op af.



Bepaal de zonkant van de wolk en houd de windzijde in de gaten. Bij weinig wind en grote cumuli zit het stijgen meestal aan de zonzijde.



Neemt de windsnelheid bij de wolkenbasis toe, dan zit het stijgen aan de windzijde. Neemt de windsnelheid bij de wolkenbasis af, dan zit het sterkste stijgen aan de lijzijde. Meestal neemt de wind met de hoogte toe, vandaar dat je tussen de zon- en de windkant de meeste kans op thermiek hebt.

Op geringe hoogte heb je niet veel aan de hoge cumulusbewolking. Het is dan veel verstandiger om de grond goed te bestuderen. De grondsoort, de kleur van de grond en de mate waarin het oppervlak de warmte geleidt, zijn van sterke invloed op het wel of niet produceren van thermiek. Denk op geringe hoogte eens aan het spelletje 'koud, warm of heet'.

- 'Koud" Water absorbeert warmte tot grote diepte, boven grote wateroppervlakten vind je meestal geen thermiek. Hetzelfde geldt voor nat gras en overdag midden boven grote bossen. In het rivierengebied is de thermiek zwakker en stopt eerder dan verder van de rivieren af.
- 'Warm' Heide en graanvelden worden behoorlijk warm en geven meer thermiek. Als je laagzittend thermiek zoekt, is het belangrijk dat je de windrichting kent. Aan de lijzijde van dit soort velden komt de thermiek los. Grenst een graanveld of heideveld aan een bos of een water, zoek dan boven de rand van het bos. De koelere lucht van het bos stroomt daar naar de akker en de warmere lucht van de akker komt boven de rand van het bos los.
- 'Heet' Zandvlakten, steden, een veld met zonnepanelen en elektriciteitscentrales geven vaak sterke thermiek. Ook hier zoek je weer aan de lijzijde. Steen kan 's avonds nog behoorlijk wat warmte afgeven. Zo vind je vaak aan de lijzijde van de stad 's avonds nog een bel terwijl de hele omgeving allang zo dood is als een pier.
- 'Zoek de zon' Thermiek ontstaat op plaatsen waar de zon al zo'n 10 minuten schijnt. Een gebied dat door de wolken in de schaduw ligt, geeft weinig kans op thermiek. Moet je een groot gebied oversteken waar de zon nauwelijks op de grond schijnt, dan loont het vaak om te wachten tot de bewolking wat oplost en de zon er weer begint te schijnen.

Bij Hfdst. 7 Vliegprestaties tref je meer informatie aan over thermiekvliegen. Zoals:

- 7.2.2 REISSNELHEID
- 7.3.1.6 AANVLIEGEN VAN DE THERMIEK
- 7.3.1.7 HET CENTREREN
- 7.3.1.8 DWARSHELLING EN SNELHEID
- 7.3.4.1 LOKALISEREN EN AANVLIEGEN VAN DE THERMIEK
- 7.3.4.2 VLIEGTECHNIEK

Overontwikkeling

De bovenlucht kan vrij droog of vrij vochtig zijn. Bij droge lucht lossen de thermiekwolken snel op. Is de bovenlucht al vrij vochtig (hoge relatieve vochtigheid) en wordt er door de thermiek ook nog vrij vochtige lucht van laag bij de grond aan toegevoegd, dan lossen de wolken moeilijker op. Bij sterke thermiek worden er dan sneller wolken gevormd dan de oude wolken kunnen oplossen. Dit heet **overontwikkeling**. "Het trekt dicht" en de bewolking schermt de zon af. Op de grond zie je steeds minder plaatsen waar de zon nog schijnt. Daardoor koelt de grond af en de thermiek verdwijnt. Na verloop van tijd lost de bewolking weer op, de zon bereikt de grond weer en de thermiek neemt weer toe. Zo'n thermiekpauze kan vrij lang duren.

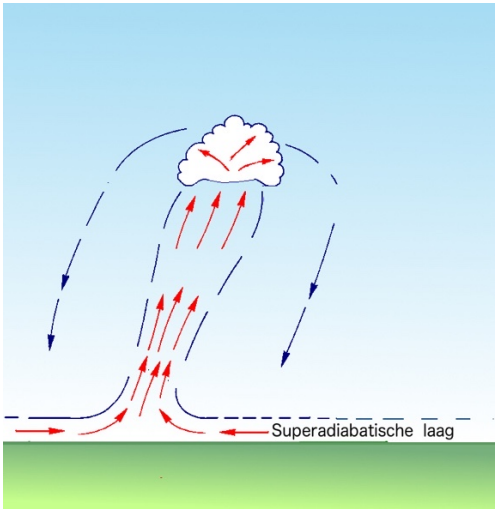
Blauwe thermiek

De lucht stijgt niet altijd zover door dat er een wolk ontstaat. Wanneer de stijgende lucht niet doorstijgt tot het condensatieniveau dan spreken we van **droge thermiek** of ook wel **blauwe thermiek**. Blauwe thermiek is moeilijker te vinden maar geeft bijna net zoveel stijgen. Blauwe thermiek zoek je vooral door goed naar de grond te kijken. Natte graslanden en meren moet je vermijden, donkere grond of zandgrond warmen het meest op. Bij blauwe thermiek let je uitsluitend op de grond. Bossen liggen op gronden die wat hoger ligt. Hogere gronden zijn droger. De akkers bij de bossen geven vaak goede thermiek. Aan de windzijde van bossen komen vaak bellen los. Aan het eind van de middag en 's avonds geven de bossen ook zelf thermiek (vooral dennenbossen). Deze thermiek zoek je aan de lijzijde. Ook bij dorpen en steden zoek je aan de lijzijde, of midden erboven, de thermiek op.

Een enkele keer zie je bij blauwe thermiek toch wel iets dat de aanwezigheid van een bel aangeeft. Soms vormt zich namelijk boven in de thermiekbel een wazige sluier. Tegen de zon in is die het best te zien. Bij sterke bellen gaat ook stof, rook, zand en gras mee omhoog.

Stijgt de lucht wel door tot het condensatieniveau, dan ontstaan er cumuluswolken en dat noemen we ook wel **natte thermiek**.

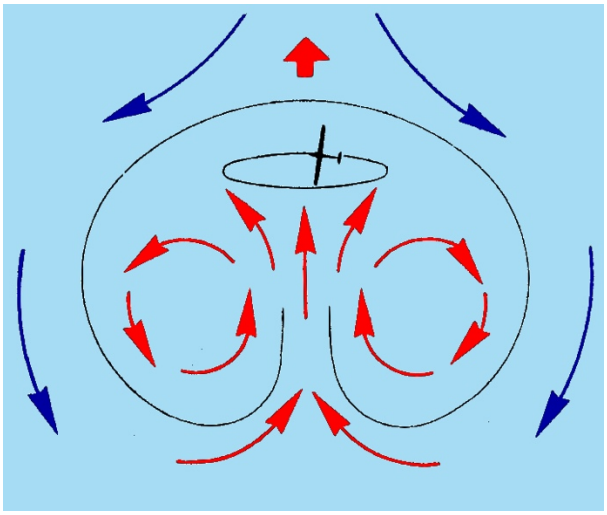
Het loskomen van de thermiekbellen is altijd weer anders. Hoe en wat voor soort bellen er ontstaan hangt af van veel factoren.



Komt een bel los dan zuigt hij de hele omgeving leeg en dan gaat de warme lucht als een grote slurf omhoog. Naast de stijgende lucht zie je op de afbeelding ook dalende lucht getekend. Daar waar een bel is opgestegen ontstaat een tekort aan lucht en dat wordt weer aangevuld. Zo ontstaat er weer evenwicht in de atmosfeer. Voor je een thermiekbel invliegt, merk je vaak die dalende lucht en zo weet je dat je bijna bij de bel bent. Die dalende lucht wordt steeds meer samengedrukt, want hij komt in een omgeving waar de druk hoger is. Door dit samendrukken komt energie vrij, de temperatuur in die dalende lucht neemt met 1^0C per 100 m toe. Het dalen gaat door zolang de temperatuur in de dalende lucht kouder is dan in de omringende lucht.

Door de wind staat een thermiekslurf enigszins scheef. Je zoekt de thermiekslurf dan ook aan de lijzijde van de plek waar je het loskomen van thermiekbellen verwacht. Bij harde wind komen de bellen veel eerder los, staat de thermiekslurf schever en ontstaan er ellipsvormige of verwaaide thermiekbellen.

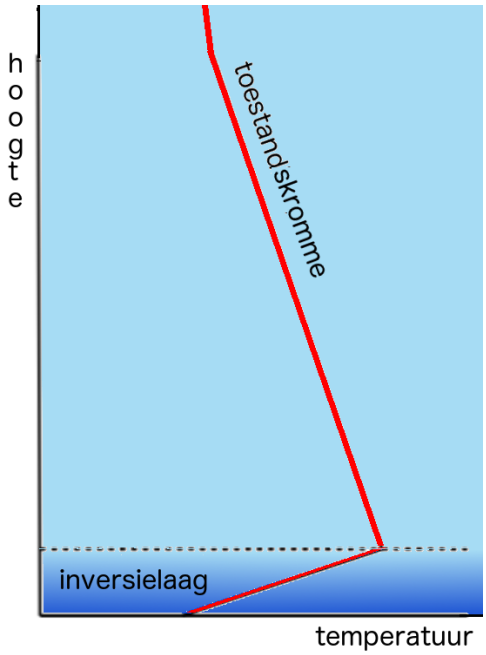
Op de plaats waar een thermiekbel los kwam zullen, als de omstandigheden zich niet wijzigen, steeds weer nieuwe bellen loskomen. Bij een zweefvliegveld spreken ze dan ook vaak van de **huisbel**. De plek waar je in de regel stijgen kunt verwachten.



Een opstijgende thermiekbel drukt de lucht boven zich opzij. In de bel ontstaat een draaibeweging waarbij je in het midden het sterkste stijgen vindt en aan de randen het minste. Door de stroming onderin helpt de bel bij het centreren (cirkelen in het sterkste stijgen). In het midden van de thermiekbel komen geregeld stijgwaarden van 3, 4 en soms zelfs 5 m/s voor. Bovenin de bel neemt het stijgen af en door de naar buiten gerichte stroming is het centreren er moeilijker.

Grondinversie

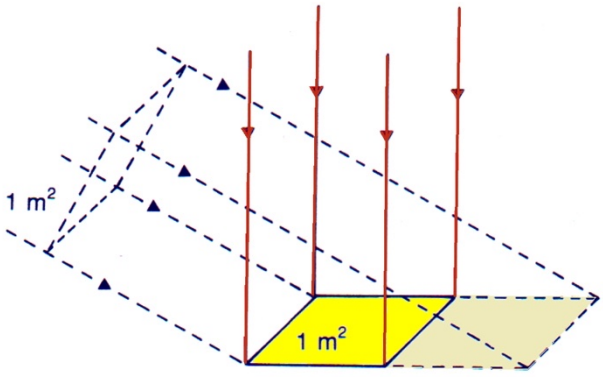
's Nachts straalt de aarde warmte uit. Bij wolkenloze nachten is die uitstraling het grootst. Het grondoppervlak koelt sterk af. Bij weinig of geen wind vormt zich dan een koude laag boven het aardoppervlak die aanmerkelijk kouder is dan de lucht daarboven.



We noemen dit een grondinversie. Deze laag is meestal tussen de 10 en 100 m dik. De thermiek komt pas los als de zon de inversielaag eruit gebrand heeft.

Verloop van de temperatuur gedurende de dag

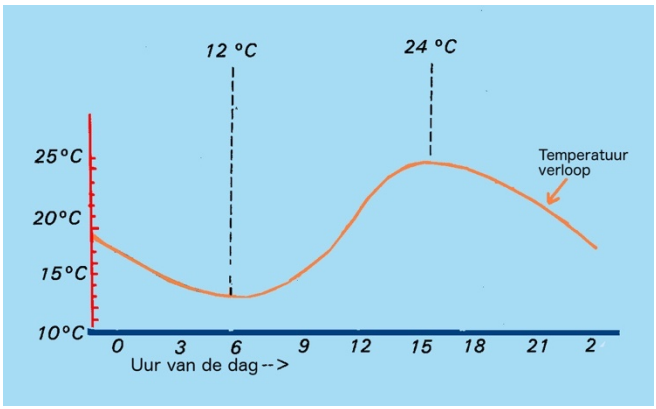
Soms zijn er dagen dat het van 's morgens half tien tot 's avonds half acht thermisch is. Een ideale dag om overland te gaan of een vijfuurspoging te doen, maar hoe weet je nu van te voren dat het goed en lang thermisch wordt?



's Winters is er in ons land zelden sprake van goede thermiek. De maanden mei, juni en juli zijn in Nederland, gemiddeld gezien, de beste maanden met de meeste kansen om lange thermische vluchten te maken. De stand van de zon is dan het hoogst (grootste instraling) en de bovenlucht is in deze

periode vaak kouder dan in augustus. De thermiek komt meestal pas los als de zon boven een hoek van 45° boven de horizon staat.

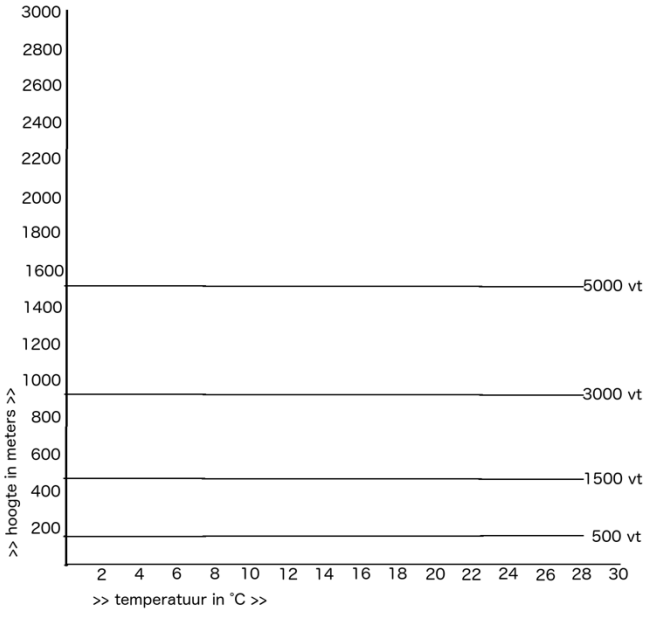
Gedurende de dag kennen we een verloop in de sterkte van de thermiek. De zon staat zomers in Nederland (op de 5° E-meridiaan bij zomertijd) om 13:40 uur het hoogst, maar de grond warmt door instraling tot 15 uur nog verder op. Om 15:00 uur is de grondtemperatuur het hoogst en daarom is de thermiek 's middags tussen 15:00 en 16:00 uur in de regel het sterkst. Na 15:00 uur is de uitstraling groter dan de instraling en neemt de temperatuur en dus ook de thermieksterkte af.



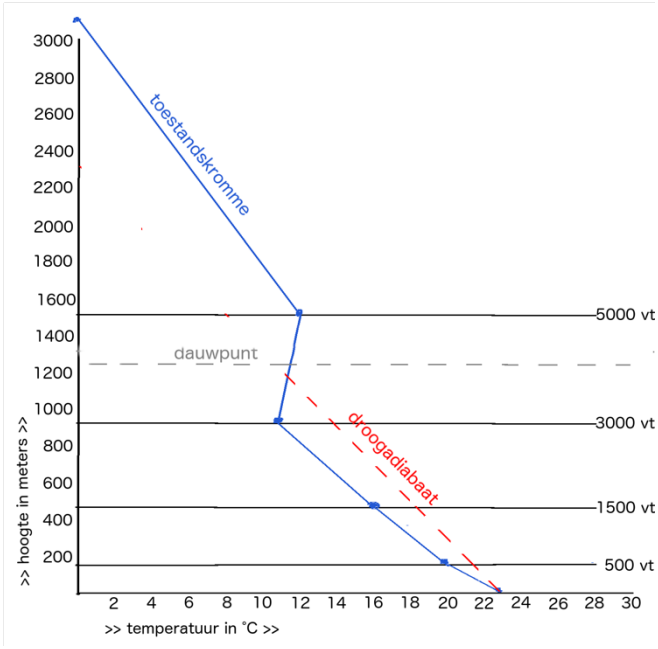
Bij overlandvliegen is het verstandig om om vier uur te berekenen of je niet aan de terugtocht moet beginnen.

Hoogte, sterkte en duur van de thermiek

Tegenwoordig zijn er websites die ons vertellen hoe sterk de thermiek wordt, hoe hoog de thermiek gaat en hoe laat de thermiek loskomt en tot hoe laat het stijgen doorgaat. Dit kun je zelf ook berekenen met behulp van de gegevens van de KNMI of de Deutscher Wetterdienst. Wanneer je dat zelf op bijvoorbeeld onderstaande temperatuur-hoogte-grafiek tekent dan krijg je een goed inzicht hoe het weer zich zal ontwikkelen.



Via het weerbericht voor de kleine luchtvaart en ook via de Deutscher Wetterdienst krijg je informatie over de hoogtetemperaturen, de maximum temperatuur en het dauwpunt. De hoogtetemperaturen worden gegeven voor 500 vt, 1500 vt, 3000 vt, 5000 vt en het nulgraden niveau.



Wanneer het KNMI de volgende hoogtetemperaturen vermeldt:

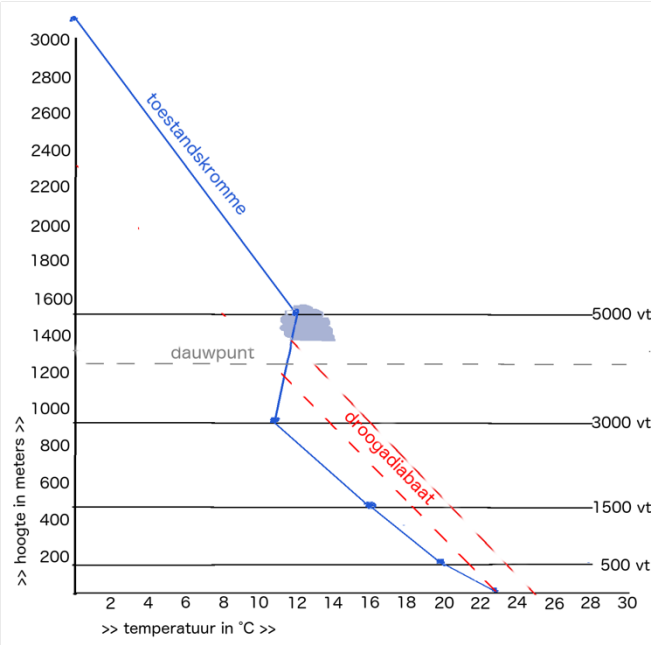
- 500 vt 20 °C;
- 1500 vt 16° C;
- 3000 vt 11 °C;
- 5000 vt 12 °C ;
- nul graden niveau FL 105

dan zet je die punten als stippen op de kaart. FL 105 is 10.500 vt bij een luchtdruk van 1013 hPa. Je trekt nu een lijn en dan heb je de toestandskromme op de kaart staan. Je ziet nu dat er tussen 3000 vt en 5000 vt een inversie zit, want de temperatuur daalt daar niet met de hoogte maar loopt er iets op .

Daarna haal je uit het weerbericht de maximum temperatuur. Die is 23 °C voor het noorden en 26 °C voor het zuiden van het land.

Je kunt nu de droogadiabaat tekenen.. Dat is de lijn waarbij de lucht 1 °C per 100 m in temperatuur daalt. Je gebruikt een liniaal en tekent een lijn vanaf 23 °C naar 2300 m op de verticale as. Tot waar de droogadiabaat de toestandskromme snijdt zal er thermiek ontstaan. Je ziet dat hier de thermiek hier stopt waar de droogadiabaat op de inversie "botst".

Het weerbericht vermeldt een dauwpunttemperatuur van 13 °C. De wolkenbasis kun je berekenen door het verschil uit te rekenen tussen de maximum temperatuur en die van het dauwpunt. Dat getal vermenigvuldig je met 120 en dan heb je een globale inschatting van de wolkenbasis in meters. Dat is hier dus 23 °C - 13°C is 10 en dat keer 120 is 1200 m. Je kunt nu de dauwpunttemperatuur op de kaart tekenen. Bij een maximum temperatuur van 23 °C zullen er geen stapelwolken worden gevormd. Het noorden van het land krijgt blauwe thermiek.

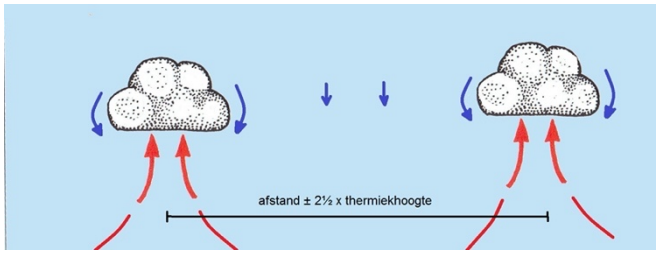


Wanneer de maximumtemperatuur 25 °C wordt dan kun je een tweede droogadiabaat tekenen vanuit 25°C. Deze lijn komt boven de dauwpunttemperatuur uit. De eerste cumuls zullen op ongeveer 1200 m ontstaan en naarmate de maximumtemperatuur hoger wordt zal ook de basis van de bewolking omhooggaan. Tijdens het verloop van de dag vindt door de thermiek menging plaats van droge lucht uit hogere luchtlagen met vochtige lucht van lagere luchtlagen. Daardoor wordt de lucht bij de grond droger, daalt de dauwpunttemperatuur en gaat de wolkenbasis in de regel nog iets verder omhoog.

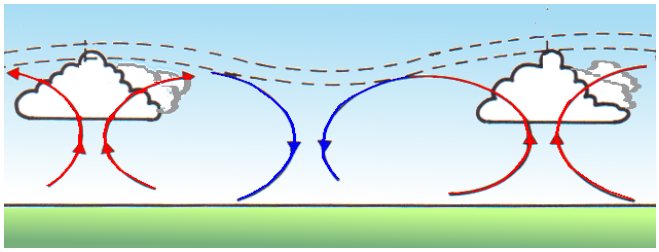
Wolkenstraten

Onder bepaalde omstandigheden ontstaan er wolkenstraten meestal in de richting van de wind met daaronder behoorlijk stijgen. Als je daaronder vliegt kun je zonder te draaien enorme afstanden afleggen.

Wolkenstraten zijn ideaal voor recordvluchten als je de route zo weet te plannen dat je een keer met de wind mee en een keer tegen de wind in zo'n straat kunt pakken. Vooral na de passage van een koufront met behoorlijk wat wind is er kans op zulke straten. Aan de achterkant van een koufrontpassage (Rücken-seitewetter) is het vaak prima zweefvliegweer.



Bij weinig of geen wind zijn de thermiekbellen vrij regelmatig over de grond verdeeld en de horizontale afstand tussen de bellen bedraagt meestal ongeveer 2½ keer de thermiekhoogte. Bij meer wind neigen thermiekbellen ernaar zich in rijen te ordenen, parallel aan de windrichting.



Soms gaan de thermiekwolken zich oplijnen in wolkenstraten. Wolkenstraten ontstaan bij:

- een vrij krachtige wind
- een vrij constante wind
- een toenemende windsterkte met de hoogte die in de buurt van de wolkengrens weer afneemt
- een inversielaag met daaronder thermiek

De afstand tussen de straten is ook in dit geval ongeveer 2½ keer de thermiekhoogte. De wolkenstraten vormen zich vrijwel evenwijdig aan de windrichting (de afwijking is meestal kleiner dan 20° met de windrichting). Tussen de straten bevinden zich evenwijdig aan de wolkenstraten gebieden met extra dalen. Wanneer je wilt oversteken van de ene straat naar de andere dan kun je dat het beste haaks doen om zo kort mogelijk in het dalen tussen de straten te zitten.

Ook bij blauwe thermiek kunnen er straten ontstaan en is hun onderlinge afstand op dezelfde wijze te berekenen. Wanneer je bij blauwe thermiek omhoog geklommen bent, dan loont het om tegen de wind of met de wind mee naar het volgende stijgen te zoeken. Vlieg je in een gebied met langdurig dalen ga daar dan haaks op de windrichting vandaan, want waarschijnlijk vloog je daar precies tussen twee straten in.

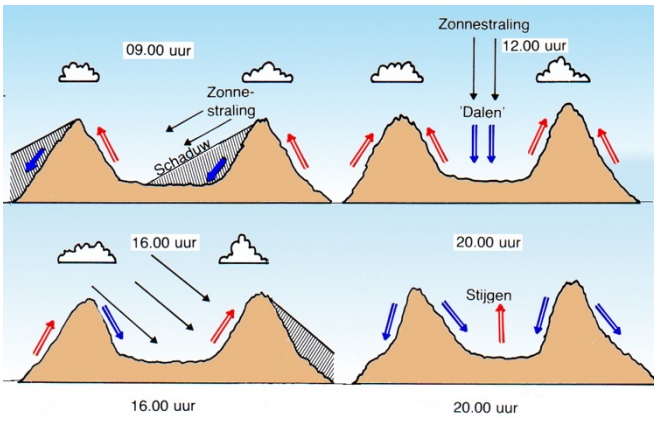
Adiabatische processen in de bergen

- Lucht gaat ook stijgen als het over een berg heen moet.
- Het stijgen zit aan de windzijde van de helling, aan de andere kant zit dalen.
- Het stijgen langs de helling is niet gelijkmatig maar erg verstoord.

Ook in de bergen koelt de lucht, die bij de berg omhoog moet, af met 1°C per 100 meter. Aan de

loefzijde van de berg kan de stijgende lucht het condensatieniveau bereiken, doorstijgen als natadiabaat en zelfs neerslag geven. Aan de luwzijde daalt de lucht, de lucht warmt op volgens de droogadiabaat en geeft aan de luwzijde mooi weer (zie 3.8.3 föhn).

Het bezit van een LAPL(S) geeft je het recht om in de bergen te gaan zweefvliegen. Bergvliegen is een schitterende ervaring, maar om veilig te kunnen bergvliegen moet je eerst les nemen. Thermiekvliegen heb je met een instructeur in de praktijk geleerd en zo moet je het bergvliegen in de tweezitter leren van een ervaren bergvlieginstructeur.



In de bergen heb je hellingen waar de zon al vroeg in de morgen of juist laat in de middag met een hoek van 90° op de helling schijnt. Daardoor is het verloop van de thermiek in de bergen anders dan in het vlakke Nederland.

Zie ook de video: Wolken, Wind und Thermik. Een video, gemaakt voor schermvliegers, maar ook heel leerzaam voor zweefvliegers(55 minuten).

Samenvatting

- De **relatieve vochtigheid** is de verhouding van de hoeveelheid waterdamp die de lucht bevat tot zou kunnen bevatten bij die temperatuur.
- De overgang van:
  - een vaste stof naar vloeistof heet **smelten**,
  - een vloeistof naar gas heet **verdampen,**
  - een gas naar vloeistof heet **condenseren,**
  - een vloeistof naar vaste stof heet **stollen,**
  - vast naar gasvormig heet **vervluchtigen / sublimeren,**
  - een gas naar vast heet **rijpen / neerslaan / afzetten /depositie**
- **Latente warmte** (latent is verborgen). Voor verdampen van water is warmte nodig. Bij condensatie komt die warmte weer vrij (latente warmte) en wordt afgegeven aan de lucht in de bel.
- Lucht is een goede **isolator** en een bel lucht met een andere temperatuur en luchtvochtigheid **mengt niet** gemakkelijk met andere lucht.
- Lucht is onstabiel als een pakketje stijgende lucht doorgaat met stijgen.
- Bij het stijgen van lucht tot aan het condensatieniveau spreken we van de **droogadiabaat** dan daalt de temperatuur met 1°C per 100 meter bij het condensatieniveau begint de **natadiabaat**, de lucht condenseert en daarbij komt warmte vrij die afgegeven wordt aan de lucht waardoor de natadiabaat met minder dan 1°C per 100 meter afkoelt.
- Vlak bij de grond ontstaat door opwarming van de zon vaak een **superadiabatische laag** (de temperatuurafname is daar veel groter is dan 1 °C per 100 m).
- Thermiek vind je bij de wolken meestal aan de zon- windzijde.
- Bij overontwikkeling worden er sneller wolken gevormd dan de wolken oplossen. De grond wordt afgeschermd. Na een thermiekpauze waarbij de wolken oplossen en de zon de grond weer bereikt, begint de thermiek vaak weer.
- Wanneer de stijgende lucht niet doorstijgt tot het condensatieniveau dan spreken we van **droge thermiek** of ook wel **blauwe thermiek**.
- Wolkenstraten ontstaan bij:
  - een vrij krachtige wind
  - een vrij constante wind
  - een toenemende windsterkte met de hoogte die in de buurt van de wolkengrens weer afneemt
  - een inversielaag met daaronder thermiek
- De hoogte van de wolkenbasis kun je berekenen door de dauwpunttemperatuur af te trekken van de maximumtemperatuur en dat getal keer 120 m te doen.

3.4 WOLKEN EN MIST

Zweefvliegers kijken altijd weer uit naar mooie cumulusbewolking. Het liefst met een wolkenbasis op zo'n 1,5 tot 2 km hoogte, waarbij de wolken zelf niet te breed en ook niet te hoog worden, want dan schermen ze de zonnestralen naar de grond af en dat remt de thermiek. Duizenden verleidelijke foto's van mooie luchten, al of niet met een gelukkige in een zweefvliegtuig, vullen de whatsapp-groepen van zweefvliegers.

Wanneer je dagelijks naar de bewolking kijkt, dan zie je dat het uitzicht naar boven elke keer weer anders is. Is er bewolking dan zegt dat veel over de luchtstromingen in de atmosfeer. Wolken verraden of het goed zweefvliegweer is en wolken kunnen ons waarschuwen voor slechter weer of zelfs gevaarlijke toestanden zoals bij onweer. Dit hoofdstuk is verdeeld in:

- 3.4.1 WOLKENVORMING EN INDELING WOLKEN
- 3.4.2 MIST, NEVEL EN HEIIGHEID

3.4.1 WOLKENVORMING EN INDELING WOLKEN

- Het ontstaan van wolken.
- Soorten wolken en hun indeling
- De invloed van inversie op de ontwikkeling van wolken

Het ontstaan van wolken

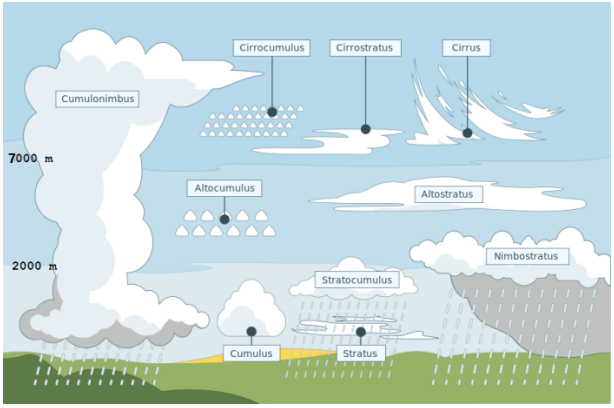
Wolken ontstaan door lucht die stijgt of gestegen is. Door verdamping van water komt waterdamp in de atmosfeer terecht. Met verticale luchtstromingen wordt het meegevoerd en vermengt zich daar met de aanwezige lucht. Wanneer de lucht verzadigd raakt dan treedt er pas condensatie op als er **condensatiekernen** in de lucht aanwezig zijn. Condensatiekernen zijn water aantrekkende deeltjes, het kunnen bijvoorbeeld stof, zand of rookdeeltjes zijn die in de lucht voorkomen. De condensatiekernen brengen het proces van druppelvorming op gang.

Ook bij het bevriezen van waterdamp in een wolk gebeurt dit als er vrieskernen (bijvoorbeeld vulkanische asdeeltjes, minerale kleideeltjes of zeezoutkristallen) aanwezig zijn. Vrieskernen trekken ook water aan maar bij temperaturen onder nul vormen zich daar ijskernen die aangroeien tot sneeuw. Zijn er geen vrieskernen dan blijft de waterdamp onderkoeld. Onderkoeld water is water, kouder dan 0 °C, dat nog niet bevroren is. Is de temperatuur echter heel laag, lager dan -36 °C, dan bevriezen de waterdeeltjes spontaan. Cirruswolken bestaan geheel uit ijskristallen.

Soorten wolken en hun indeling

Wolken worden ingedeeld in 4 families en 10 geslachten:

Familie	Wolkenbasis	geslacht	Afk.	ondergrens	bovengrens
hoog	5 -13 km	Cirrus	Ci	5000 m	13000 m
		Cirrocumulus	Cc		
		Cirrostratus	Cs		
middelbaar	2 - 7 km	Altocumulus	Ac	2000 m	7000 m
		Altostratus	As		
laag	0 - 2 km	Stratocumulus	Sc	0 m	2000 m
		Stratus	St		
		Nimbostratus	Ns		
verticaal		Cumulus	Cu	300 m	2000 m
		Cumulonimbus	Cb	300 m	13000 m

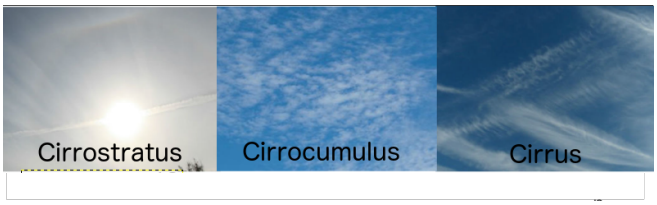


De families zijn ingedeeld naar hoogte: hoge 5 - 13 km, middelbare 2-7 km, lage bewolking 0 - 2 km en verticale wolken.

De geslachten zijn ingedeeld naar vorm:

- Cumulus (Cumulus is Latijn voor stapelen). Alleenstaande wolk met opgestapelde toppen.
- Stratus (Stratus is gelaagd). Platte gelaagde wolken die ontstaan door langzame stijging van lucht in een groot gebied.
- Cirrus (Cirrus betekent krulvormig)

Hieronder volgt een korte beschrijving van de verschillende geslachten.



Hoog:

- *Cirrusbewolking bestaat geheel uit ijs 'windveren' vaak een voorbode van een storing.*
- *Cirrocumulus 'fijne schaapjeswolken'*
- *Cirrostratus, egale sluier, geeft soms een halo (kring) om de zon. Geeft aan dat er een warmtefront komt.*

Middelbaar:

- *Altocumulus, grove schaapjeswolken, lijkt op cirrocumulus, maar dan lager en grover.*
- *Altostratus, een grijsachtige sluier, voorbode van slecht weer, de zon is nog net te zien maar wordt steeds vager.*
- *Nimbostratus (nimbus is latijn voor regenbui), regenwolken. Nimbostratus komt voor bij de middelbare wolken en de lage bewolking.*

Laag:

- *Stratocumulus, grauwe wolken die soms nog stukjes van blauwe lucht laten zien.*
- *Stratus, egaal grijs op geringe hoogte. Lijkt op mist maar raakt de grond niet.*

Wolken met een verticale opbouw::

- *Cumulus; stapelwolken (bloemkoolwolken), scherp begrensde omtrek met verticale opbouw. Wanneer het een stapelwolk met grote verticale opbouw is dan wordt hij in de METAR (zie: 3.10) weergegeven met **TCU** (towering cumulus).*
- *Cumulonimbus; (**Cb**) Buienwolken, lijkt op een cumulus maar dan veel groter en vooral hoger. Aan de bovenkant ontstaat vaak een aambeeld. Kan hagel, korte hevige regen en onweer met zich mee brengen.*

Je kunt de wolken nog verder onderverdelen, bijvoorbeeld in: Cumulus castellanus (wolken met bovenop torentjes), Cumulus congestus (opgezwollen cumulus) en lenticularis (lenti's, een lensvormige hoge wolk die aangeeft dat er golf is).

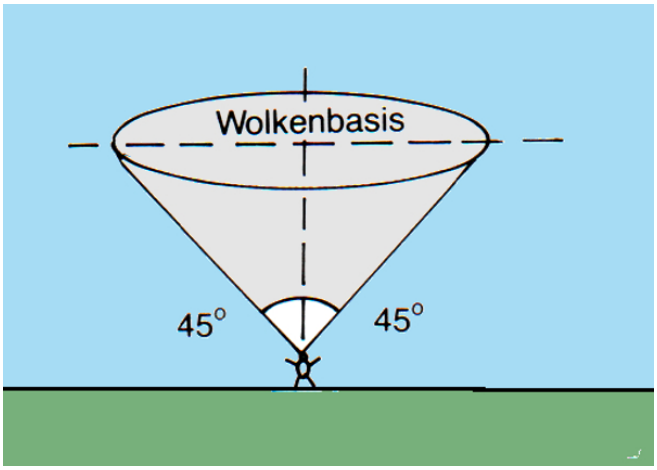
Veel van deze wolken krijgen we achterelkaar te zien als er een front aan komt. Zeker wanneer je op een zweefvliegdag een halo om de zon ziet, dan weet je dat het weer verslechtert. Een oud gezegde luidt: Een halo om de zon, daar huilen vrouwen en kinderen om.

Soms zie je tijdens het vliegen in de verte uit nimbostratus bewolking regen in schermen naar beneden hangen (regenschermen) en soms raken ze de grond niet. De regen valt dan door droge lucht die nog veel waterdamp kan opnemen en de regen verdampt voordat het de grond bereikt.

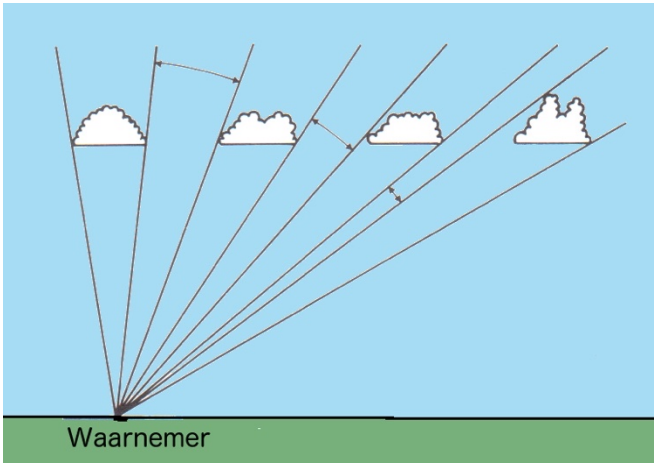
Een cumulonimbus is een stapelwolk die doorstijgt tot zeer grote hoogte. Soms tot het einde van de troposfeer. Daar stuit hij dan op de tropopauze, de overgang naar de stratosfeer en kan niet verder stijgen. Daar ontstaat vaak het aambeeld van de wolk. Bij hoofdstuk 3.9 'Gevaarlijk Vliegsituaties' wordt uitgelegd waarom zweefvliegen en Cb's niet samengaan.

Bedekkingsgraad

Met bedekkingsgraad wordt bedoeld in welke mate de lucht bewolkt is.



Om de bedekkingsgraad te schatten neem je een stuk luchtruim recht boven je. Je kijkt tot maximaal 45° links en rechts van je.



Op de afbeelding is de bedekkingsgraad recht boven de waarnemer 4/8. Naar de horizon toe zie je door het coulisseneffect (de schuine hoek waardoor je tegen de zijkant naar de wolken kijkt) steeds minder blauw. Daarom bekijk je alleen het stuk recht boven je.

0/8 is onbewolkt en 8/8 is geheel bewolkt.

De bedekkingsgraad wordt in meteoberichten weergegeven met de woorden:

SKC / CLR	sky clear	onbewolkt
FEW	few	1/8 - 2/8
SCT	scattered	3/8 - 4/8
BKN	broken	5/8 - 7/8
OVC	overcast	8/8

SKC een menselijke observatie, staat er CLR (clear), dan is de bedekkingsgraad door een computer bepaald. CLR betekent geen bewolking onder de 12000 ft, geen Cb's en geen neerslag. Soms staat er in de METAR NSC (no significant clouds) of NCD (no clouds detected).

3.4.2 MIST, NEVEL EN HEIIGHEID

- Algemene aspecten
- Stralingsmist
- Advectieve mist (aanvoer relatief warme lucht boven een kouder oppervlak)
- Zeemist
- Frontale mist (laaghangende bewolking die tot op de grond hangt)
- Orografische bewolking (Bewolking in de bergen; föhn)

Algemene aspecten

Mist en nevel ontstaan door afkoeling van vochtige lucht of door toevoer van waterdamp aan de lucht. Is het zicht door waterdamp beperkt maar wel groter dan 1000 m dan noemen we dat nevel. Is het zicht beperkt door rook of stofdeeltje dan is er sprake van heiigheid. Bij nevel en heiigheid is, vooral bij het landen tegen de zon in, het zicht erg slecht.

Mist is een spelbreker waar je meestal in het voorjaar of in de herfst mee te maken krijgt. De zonnestand is laag en soms niet krachtig genoeg om de mist op te lossen. Zomers is de zon vrijwel altijd in staat om de mist eruit te branden. De zon verdampt de dunne laag mist die op de aarde hangt en zodra er gaten ontstaan, wordt de grond warm, de lucht warmt op en de mist verdwijnt. Ook wind helpt om mist te verdrijven. Door de wind ontstaat er turbulentie en dan vermengt de onderste laag lucht zich met de warmere daarboven waardoor de relatieve luchtvochtigheid in de onderste laag afneemt.

Stralingsmist

‘s Nachts straalt de aarde warmte uit, de grond koelt af en daardoor koelt de onderste laag lucht af. Wanneer het niet waait, dan blijft er een laag koude lucht boven het veld hangen. Die koude laag kan minder waterdamp bevatten. De waterdamp condenseert en het wordt mistig. Stralingsmist ontstaat op heldere nachten. De koude lucht is zwaarder en zakt naar de laagste punten. Boven het vochtige water van de sloot condenseert de waterdamp het eerst en dan ontstaat **slootmist.**

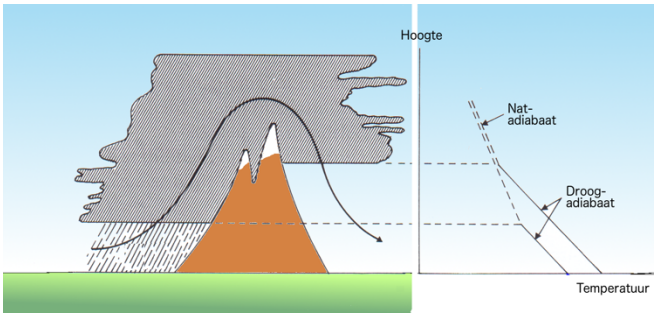
Advectieve mist (aanvoer van relatief warme lucht)

Bij advectieve mist schuift warme vochtige lucht over een koud oppervlak. Daar koelt de lucht af en kan de lucht minder waterdamp bevatten. De waterdamp condenseert en er ontstaat mist.

Zeemist
Zeemist is advectieve mist. Wanneer het zeewater warmer is dan de lucht boven land en de wind is aanlandig, dan schuift vochtige warme lucht over een kouder gebied. Wanneer die lucht afkoelt tot onder het dauwpunt dan ontstaat zeemist.

Frontale mist
Frontale mist is **regenmist**. Na een regenbui neemt de luchtvochtigheid soms zover toe dat er mist ontstaat.

Orografische bewolking
Wanneer de wind tegen een berg aan waait dan wordt de lucht gedwongen om omhoog te gaan. Daarbij koelt de lucht adiabatisch af (1 ^{0}C per 100 m). Komt de lucht onder het dauwpunt dan ontstaat bij de top van de berg een wolk.



Aan de lijzijde van de berg daalt de lucht weer, warmt 1 °C per 100 m op en de wolk lost weer op. Mocht er regen uit de wolk komen dan valt die vooral aan de windzijde. Wanneer het regent aan de windzijde dan bevat de lucht aan de lijzijde minder waterdamp en komt het condensatieniveau aan die kant van de berg hoger te liggen. Daar is de wolkenbasis hoger.

Video: Tutorial on Cloud Types 6 minuten

Samenvatting:

- Wanneer de lucht verzadigd raakt dan treedt er pas condensatie op als er **condensatiekernen** in de lucht aanwezig zijn.
- Bevriezen van waterdamp in een wolk gebeurt als er **vrieskernen** aanwezig zijn. Zijn er geen vrieskernen dan blijft de waterdamp onderkoeld tot een temperatuur die lager is dan -36 0C want dan ontstaan er ijskristallen. Onderkoeld water is water, kouder dan 0 °C , dat nog niet bevroren is.
- Wolken worden ingedeeld in **4 families** (hoogte) en **10 geslachten** (naar vorm) Hoog: cirrusbewolking, cirrocumulus en cirrostratus. Middelbaar: altocumulus, altostratus en nimbostratus. Laag: stratocumulus en stratus, Verticaal: cumulus en cumulonimbus.
- De **bedekkingsgraad** geeft aan in welke mate de lucht bewolkt is.
- Mist en nevel ontstaan door afkoeling van vochtige lucht of door toevoer van waterdamp aan de lucht. We spreken van:
    - *mist: het zicht is minder dan 1000 m*
    - *nevel: beperkt zicht maar meer dan 1000 m*
    - *heiigheid: beperkt zicht door rook en stofdeeltjes.*
- **Stralingsmist** ontstaat op heldere nachten wanneer de onderste lucht wordt afgekoeld. De koude lucht is zwaarder en zakt naar de laagste punten
- Bij **advectieve mist** schuift warme vochtige lucht over een koud oppervlak (gebeurt ook bij **zeemist**).
- **Frontale mist** ontstaat na een regenbui als de luchtvochtigheid soms zover toe neemt dat er mist ontstaat.
- **Orografische bewolking** ontstaat als de wind bij een berg gedwongen wordt om omhoog te gaan.

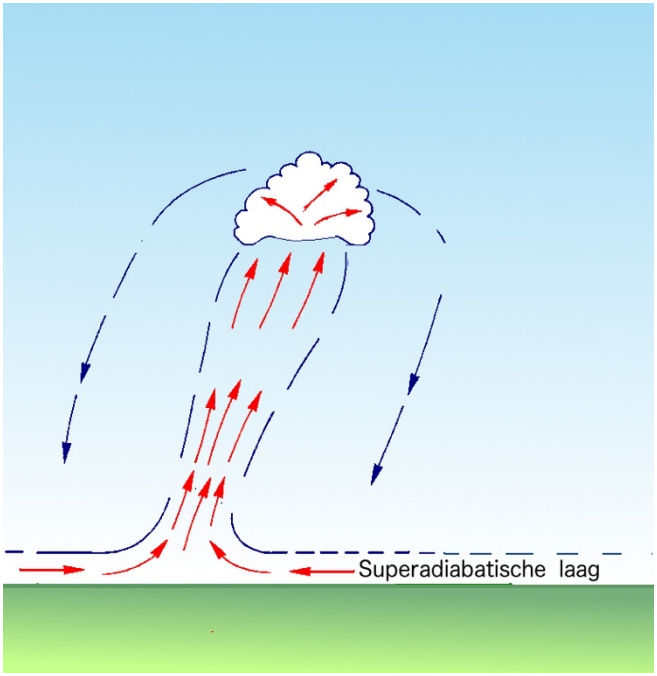
3.5 NEERSLAG

In Nederland regent het 130 dagen per jaar. De meeste van die dagen regent het maar een paar millimeter. In totaal regent het gemiddeld 880 mm per jaar. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe neerslag ontstaat en onder welke omstandigheden de verschillende vormen van neerslag tot stand komen. Het hoofdstuk is onderverdeeld in:

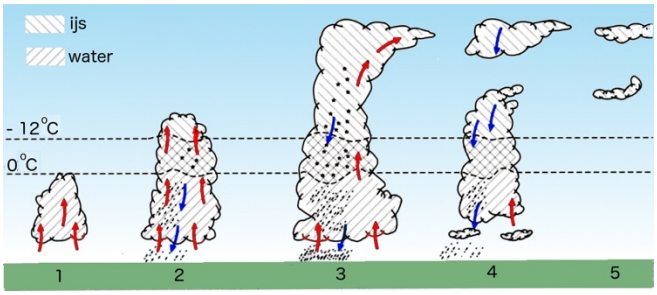
- 3.5.1 ONTSTAAN VAN NEERSLAG
- 3.5.2 SOORTEN NEERSLAG: REGEN, SNEEUW, HAGEL EN IJZEL

3.5.1 ONTSTAAN VAN NEERSLAG

- Proces van het ontstaan van neerslag



Bij thermiek stijgt warme lucht en deze koelt onder het stijgen af waardoor de relatieve vochtigheid toeneemt. Wanneer het stijgen door gaat dan raakt de lucht verzadigd. De relatieve vochtigheid is 100%. Koelt de lucht nog verder af dan condenseert de waterdamp, er ontstaat een wolk.



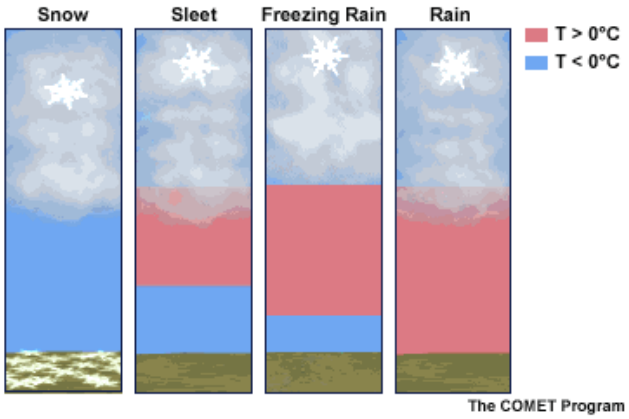
1. Op de afbeelding zie je dat de wolk die bij **(1)** ontstaan is, niet verder komt dan het nulgradenniveau. Boven het condensatieniveau ontstaan er in een wolk kleine druppeltjes die zo klein zijn dat ze met de wolk meedrijven. Deze wolk bestaat geheel uit waterdamp. In de wolk bewegen de luchtdeeltjes en de gecondenseerde waterdamp door elkaar. Is de temperatuur van de wolk hoger dan 0 °C dan bestaan de waterdeeltjes in de wolk uitsluitend uit waterdruppeltje, die zorgen alleen in de tropen voor regen, maar niet in ons land. Alleen bij vorming van stratusbewolking kan er wat motregen uit vallen. In de gematigde streken valt er uit een wolk verder alleen regen als er onderkoelde waterdeeltjes (waterdeeltjes van -0 °C tot -12 °C) of ijsdeeltjes aanwezig zijn.
2. Is de temperatuur lager dan 0 °C tot min 12 °C dan bestaat de wolk vrijwel geheel uit onderkoelde waterdruppels. Die waterdruppels kunnen tegen elkaar botsen en samenvloeien tot grotere druppels. Binnen een wolk komen ook warmere waterdruppels naast koudere waterdruppels te liggen. Wanneer de warmere waterdruppels verdampen, dan zet de waterdamp zich af op de koudere en groeien de koudere waterdruppels.. Zo kunnen er grote druppels ontstaan die door de zwaartekracht omlaag vallen.
3. Bij een temperatuur van min 12°C tot min 23°C ontstaan naast de waterdruppels ijskristallen. Waterdruppels en ijskristallen komen daar naast elkaar in de wolk voor. We noemen dit een **gemengde wolk**. Ook hier botsen waterdruppels op ijskristallen, daarbij verdampt meestal de waterdruppel en groeit de ijskristal tot sneeuw. Sneeuw is een verzameling ijskristallen die aan elkaar klonteren. De sneeuwvlokken groeien verder, vallen omlaag, smelten meestal onder de wolk en komen vervolgens als regen op de grond. Zo ontstaat de meeste neerslag.
4. In wolken met een temperatuur lager dan min 23°C ontstaan uitsluitend ijskristallen (mits er vrieskernen aanwezig zijn). Het aambeeld van cumulonimbus wolken bestaat uit zulke zwevende en vallende ijskristallen. In een Cb kan de omlaag vallende half gesmolten sneeuw weer omhoog gezogen worden en verder aangroeien tot hagel.
5. Na de onweersbui lost de cumulonimbus op. Er valt geen neerslag meer.

Neerslag ontstaat meestal bij de passage van fronten (zie 3.6 Luchtsoorten en fronten). Als warme lucht op koude lucht stuit dan zal de warme lichtere lucht omhoog geduwd worden boven de koude lucht. De stijgende lucht zal afkoelen, condenseren en voor langdurige neerslag zorgen. Als koude lucht op warme lucht stuit dan zal de koude zwaardere lucht onder de warme lucht plaats nemen en de warme lucht omhoog duwen. Dat zorgt vaak voor stevige regenbuien. Neerslag kan ook ontstaan als de wind bij een gebergte komt, daar gedwongen wordt om omhoog te gaan en zo voor neerslag zorgen.

3.5.2 SOORTEN NEERSLAG

- Soorten neerslag in relatie met wolkensoorten

Neerslag ontstaat als waterdeeltjes uit een nimbostratuswolk vallen. De neerslag kan op de aarde terechtkomen in de vorm van water, hagel of sneeuw.



Regen en sneeuw In het plaatje hierboven zie je hoe het links sneeuwt en rechts regent het. Sneeuw bestaat uit samengeklonterde ijskristallen. De ijskristallen voegen zich samen en vormen sneeuwvlokken. De meeste neerslag valt als sneeuw uit de wolk, smelt in de warme lucht onder de wolk en valt als regen op de grond.

Natte sneeuw en ijzel De middelste plaatjes laten zien hoe natte sneeuw en ijzel ontstaan. Bij natte sneeuw (tweede plaatje) smelt de sneeuw gedeeltelijk in warme lucht onder de wolk en komt vervolgens in de onderste honderden meters in de koude lucht en bevriest daar weer. Bij ijzel (derde plaatje) smelt de sneeuw geheel, komt in de onderste koude lucht en daar raakt de regen onderkoelt. De onderkoelde regen bevriest zodra het op de grond of op een voorwerp terecht komt. IJzel kan ook ontstaan als regen op een bevroren ondergrond terecht komt en daar bevriest. IJzel is de gevaarlijkste neerslag, het veroorzaakt een doorzichtig ijslaag die je niet gemakkelijk ziet op de vleugel. De overtreksnelheid gaat omhoog en de vleugeleigenschappen verslechteren drastisch.

Hagel Hagelstenen ontstaan in cumulonimbuswolken wanneer de sneeuw in een luchtlaag met een hogere temperatuur komt, daar gedeeltelijk smelt, maar door opwaartse luchtstromen weer mee omhoog genomen wordt, weer afkoelt en bevriest. De bevroren kern kan nieuwe waterdruppels aantrekken zodat de hagelsteen groeit. Hagelstenen kunnen zo wel een aantal keren vallen, deels smelten, weer mee omhoog gezogen worden, weer bevriezen enzovoort. Uiteindelijk worden ze zo zwaar dat ze vallen. Grote hagelstenen kunnen zweefvliegtuigen behoorlijk beschadigen. Hagelstenen groter dan 1 cm komen in Nederland zelden voor.

Samenvatting:

- Boven het condensatieniveau ontstaan er in een wolk kleine druppeltjes die met de wolk meedrijven.
- Is de temperatuur lager dan 0 °C tot min 12 °C dan bestaat de wolk vrijwel geheel uit onderkoelde waterdruppels. Die kunnen tegen elkaar botsen en samenvloeien tot grotere druppels die door de zwaartekracht omlaag vallen.
- Bij een temperatuur van min 12°C tot min 23°C ontstaan naast de waterdruppels ijskristallen (gemengde wolk). Dan botsen waterdruppels op ijskristallen en groeit de ijskristal tot sneeuw. De sneeuwvlokken groeien verder, vallen omlaag, smelten meestal en komen dan als regen op de grond. Is de lucht onder wolk koud dan valt er **sneeuw**.
- **Hagelstenen** ontstaan in Cb-wolken wanneer de sneeuw in een luchtlaag met een hogere temperatuur smelt, weer omhoog genomen wordt en bevriest. Ze kunnen zo een aantal keren vallen en weer mee omhoog gezogen worden, tot ze zo zwaar zijn dat ze vallen.

3.6 LUCHTSOORTEN EN FRONTEN

Noordoostenwind afkomstig uit het gebied van de polen staat in Nederland zomers garant voor goed zweefvliegweer. Er wordt dan meestal droge onstabiele lucht aangevoerd met een goed zicht. Warme wind vanuit de Sahara zorgt ervoor dat de bovenlucht stabiel is en er alleen thermiek komt bij hele hoge temperaturen. Het weer wordt in belangrijke mate bepaald door de eigenschappen van de lucht die wordt aangevoerd. Het gaat in dit hoofdstuk over:

- 3.6.1 LUCHTSOORTEN
- 3.6.2 FRONTEN

3.6.1 LUCHTSOORTEN

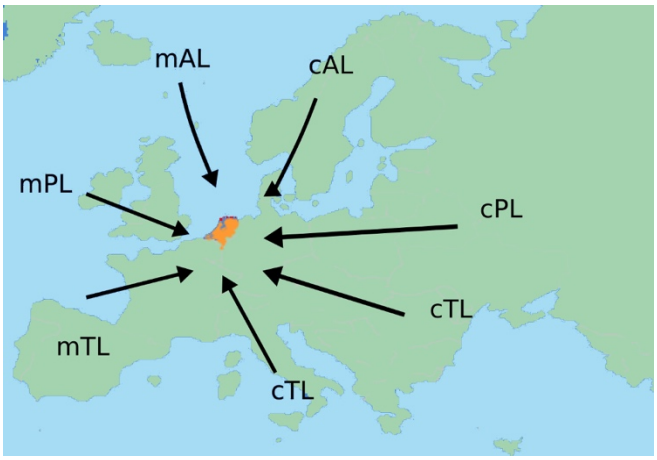
- Beschrijving, classificatie en brongebieden van luchtsoorten
- Aanpassingen van luchtsoorten

Beschrijving, classificatie en brongebieden van luchtsoorten

Luchtsoorten ontstaan als lucht langere tijd boven een bepaald gebied blijft hangen. Er zijn op aarde grote gebieden zoals woestijnen, oceanen en de polen waar de lucht over een groot gebied ongeveer dezelfde temperatuur en vochtigheid aanneemt. Zo'n gebied waar een luchtsoort ontstaat, heet een **brongebied**. Door drukverschillen kan een luchtsoort het brongebied verlaten en bijvoorbeeld in onze omgeving terecht komen. Lucht afkomstig uit een brongebied wordt aangeduid met de benaming uit dat gebied en heeft bepaalde eigenschappen:

- **Equatoriale lucht** (EL) ontstaat bij de evenaar,
- **Tropische lucht** (TL) ontstaat in gebieden tussen 15° en 45° noorder- en zuiderbreedte,
- **Polaire lucht** (PL) ontstaat tussen 45° en 70° noorder- en zuiderbreedte,
- **Arctische lucht** (AL) ontstaat bij de polen.

Lucht afkomstig van de polen is koud en lucht van de tropen is warm.



Aanpassingen van luchtsoorten

Wanneer de lucht over zee naar ons land wordt aangevoerd dan ontstaat er vochtige lucht, **maritieme** lucht (m). Over land blijft het droge lucht. Dat noemen we **continentale** lucht (c).

- **Arctische lucht** kan via zee (**mA**L) of via land (**cAL**) ons land bereiken. Dit is koude lucht en koude lucht kan maar weinig waterdamp bevatten.
- **Polaire lucht** komt bij ons erg vaak voor. Vooral maritiem polaire lucht (**mPL**). Zomers is dit koude vochtige massa (zie hieronder). Continentaal polaire lucht **(cPL)** is zomers warm en 's winters koud.
- **Tropische lucht** die over zee wordt aangevoerd **(mTL**) is warm en vochtig. In onze omgeving koelt die lucht af, daardoor condenseert veel waterdamp. De lucht is bewolkt. Wanneer warme vochtige lucht boven een koude Noordzee afkoelt, ontstaat zeemist die het land op kan komen drijven. Continentaal tropische lucht **(cTL)** is warm en droog. Dit zorgt voor een warme bovenlucht waar alleen bij erg hoge temperaturen er (meestal droge) thermiek kan ontstaat.
- **Equatoriale lucht (EL)** ontstaat bij de evenaar en bereikt ons land niet

Warme massa en koude massa

Naast luchtsoorten spreken we ook van warme en koude luchtmassa. We noemen lucht **warme massa** als de temperatuur van de onderste laag (op 1,5 meter hoogte) warmer is dan die van dat aardoppervlak. Bij de grond wordt die lucht afgekoeld. De onderste laag wordt kouder dan de laag erboven. Er ontstaat een inversielaag en de stabiliteit neemt toe.

Is de temperatuur van de lucht kouder dan de grond daaronder dan spreken we van **koude massa**. De onderste laag wordt warmer dan de lucht erboven, de onstabiliteit neemt toe er ontstaat thermiek.

In Nederland is het verschil tussen koude en warme massa heel goed merkbaar. In de winter voelt de oostenwind dan vaak erg koud aan omdat de lucht boven het vasteland afkoelt; in de zomer is het bij oostenwind juist vaak warm omdat de lucht boven het vasteland is opgewarmd voordat die Nederland bereikt. Andersom geldt dat westenwind in de winter meestal warme massa geeft omdat de zee dan warmer is dan het land; in de zomer is het koude massa omdat de zee dan meestal kouder is dan het land.

Koude massa kan 's nachts, als de grond kouder wordt dan de lucht daarboven, overgaan in warme massa, Ook kan koudere massa boven een relatief warmere zee 's winters boven een nog kouder vasteland terecht komen. Die massa gedraagt zich daar dan als warme massa.

Het zicht in warme massa is vaak slecht. In warme massa vindt geen opstijgende lucht plaats. Stof en rook blijven hangen en door de afkoeling bij de grond kan mist of heiigheid ontstaan.

In koude massa is het zicht vaak goed. In koude massa ontstaat vaak thermiek. Rook en stof worden mee omhoog genomen en de relatieve vochtigheid neemt af door de opwarming van de lucht.

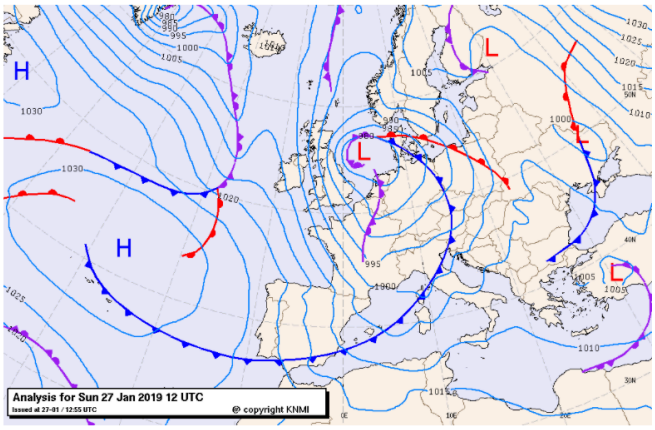
3.6.2 FRONTEN

- Algemene kenmerken
- Warmtefront, bijbehorende wolken en weer
- Koufront, bijbehorende wolken en weer
- Warme sector, bijbehorende wolken en weer
- Het weer na een koufront
- Occlusiefront, bijbehorende wolken en weer
- Stationair front, bijbehorende wolken en weer
- Beweging van fronten en druksystemen, levenscyclus.
- Verandering van het weer bij een frontpassage

Algemene kenmerken

Een weerkaart is een kaart van een bepaald gebied, waar d.m.v. lijnen en meteorologische symbolen een schematische voorstelling van het weer wordt weergegeven. De lijnen die je op de weerkaart ziet zijn de isobaren (lijnen die punten van gelijke luchtdruk verbinden). De isobaren staan meestal afgedrukt als lijnen die 5 hPa in druk verschillen. Waar de isobaren dicht bij elkaar liggen, daar waait het hard. Waar ze ver uit elkaar liggen staat weinig wind.

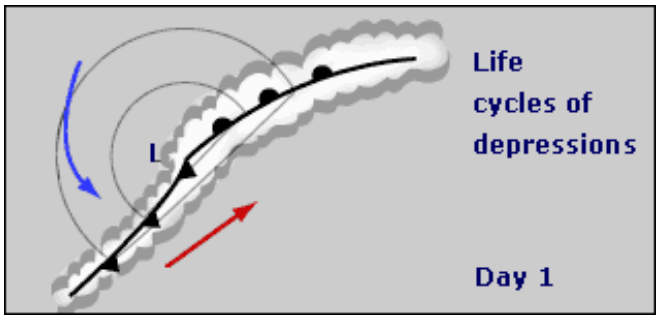
Op weerkaarten zie je hoge- en lagedrukgebieden. Dit wordt op de weerkaart met een **H** en een **L** weer gegeven.



Bij stijgende lucht is al vermeld dat lucht een goede isolator is en dat dat stijgende lucht nauwelijks mengt met de omringende lucht. Ook luchtsoorten met verschillende eigenschappen mengen slecht. Waar koude lucht op warme botst (of warme op koude) ontstaat een front. Het verschil in temperatuur tussen koude en warme lucht zorgt voor een verschil in dichtheid. De koudere lucht is zwaarder en zal zich over het aardoppervlak onder de warmere lucht uitbreiden.

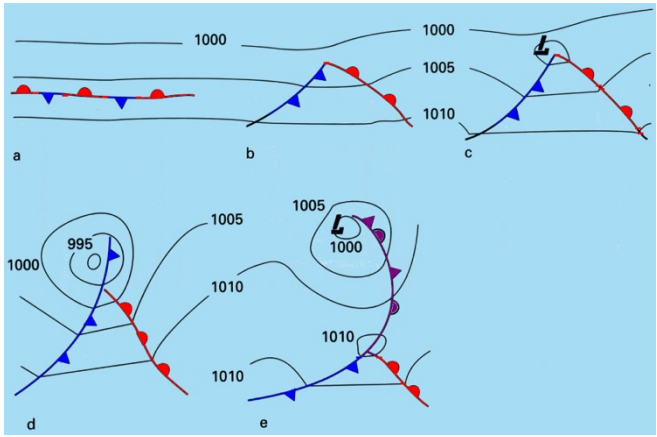
Fronten zijn gebieden met slecht weer. Op de weerkaart zie je koufronten, warmtefronten en occlusiefronten. Daarnaast kennen we ook nog een stationair front. Ze worden met de volgende symbolen weergegeven:

De voorkant van de tekentjes van een front geeft aan in welke richting het front zich verplaatst.



Op de Oceaan bij Newfoundland ontmoeten de warme golfstroom en de koude golfstroom elkaar. Bovendien botst koude lucht die van de polen naar het zuiden stroomt, op warme lucht van de subtropen. Warme lucht trekt er langs koude lucht. Dit gebied is de broedplaats voor menige depressie. Een depressie, een draaikolk, ontstaat op het grensvlak waar warme lucht en koude lucht elkaar ontmoeten. Daar ontstaat een front.

We spreken van een **warmtefront** als een waarnemer op de grond na passage van een front met warmere lucht te maken krijgt en van een **koufront** als na passage van het front de lucht kouder geworden is.

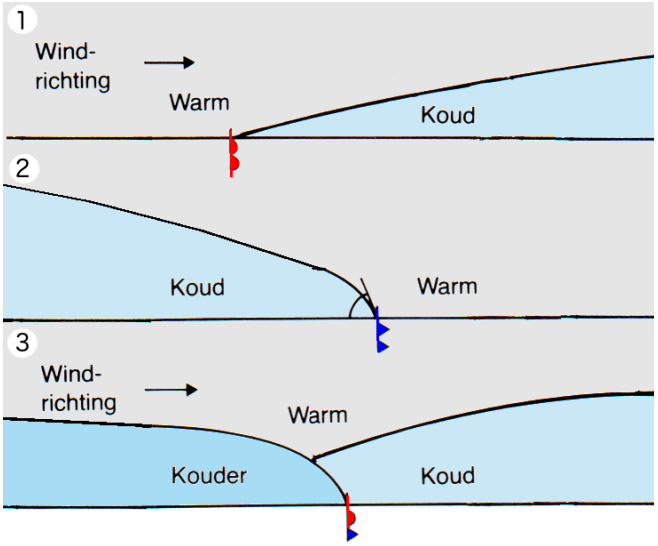


Op de afbeelding zie je:

a. Bij **a** dat koude en warme lucht langs elkaar stromen.
b. Bij **b** dat er door wrijving tussen de warme en koude luchtstroom en onder invloed van de straalstroom een knik ontstaan is. De koude lucht schuift onder de warme lucht en warme lucht

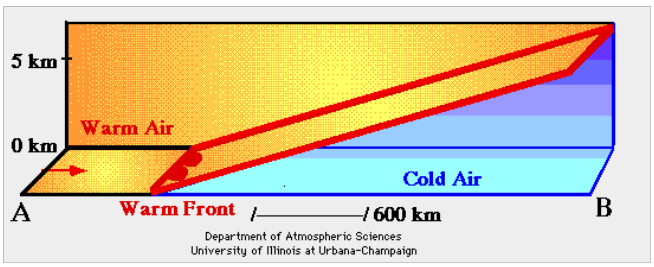
schuift boven de koude lucht. Deze situatie breidt zich van onderen naar boven in de luchtkolom uit.

c. Bij **c** is het lage drukgebied getekend en daar is het begin van de draaikolk (de depressie) ontstaan.
d. Bij **d** is de depressie compleet, de luchtdruk is lager en je ziet dat het koufront het warmtefront begint in te halen. Het stuk tussen het warmtefront en het koufront, de '**warme sector**', wordt steeds kleiner.
e. Bij **e** heeft het koufront het warmtefront ingehaald. Er is een occlusiefront afgebeeld en je ziet dat de wind rond het lagedrukgebied tegen de klok in draait.

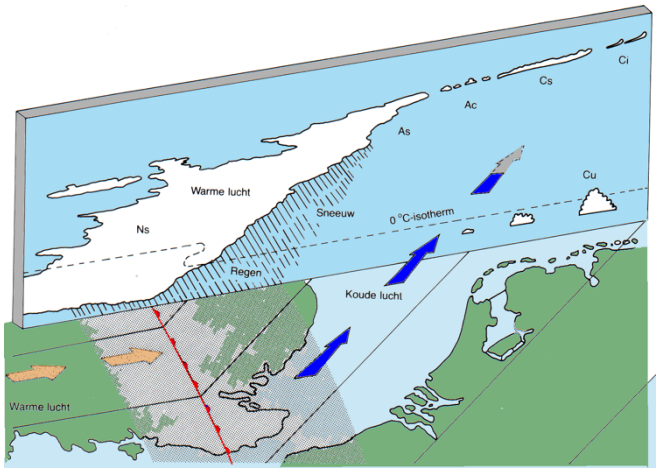


Hierboven zie je een doorsnede van een (1) warmtefront, een (2) koufront en een (3) occlusiefront. Door de heersende westenwind en de straalstroom (een wind op 10 kilometer hoogte met een snelheid van meer dan 100 kilometer per uur) verplaatsen deze depressies zich over de oceaan in onze richting. Ze trekken vervolgens meestal richting Scandinavië. Zomers maken wij geregeld perioden mee dat warmtefronten, koufronten of occlusiefronten achter elkaar over ons land stromen.

Warmtefront, bijbehorende wolken en weer



Bij een warmtefront schuift warme lucht over de koude zwaardere lucht. De warme lucht (lichter) wordt omhoog geduwd, koelt af en de waterdamp condenseert. Dit gaat heel geleidelijk en de lucht wordt vaak tot zo'n 10 km omhoog geduwd. Het front is soms wel 600 tot 1000 km breed.



Op de nadering van een warmtefront zie je achtereenvolgens de volgende bewolking: Cirrus, Cirrostratus, Altocumulus, Altostratus, Nimbostratus en Stratus. De stapelwolken verdwijnen omdat de zon verbleekt en uiteindelijk helemaal niet meer te zien is. De bewolking wordt dikker, er valt vaak langdurige motregen en de zweefvliegtuigen kunnen naar de hangaar.

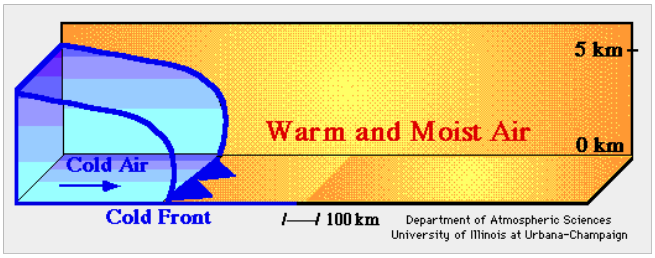
Een warmtefront staat op de kaart als een rode lijn met bolletjes aan de voorkant. Ver voor het front is op de grond aan de toenemende bewolking al te zien dat het front eraan komt. Eerst is cirrus zichtbaar, die overgaat in cirrostratus. De zon is nog bleek zichtbaar en vaak vormt zich een kring (halo) om de zon. Dit geeft aan dat het slechte weer eraan komt. De bewolking wordt dikker, je ziet altocumulus en altostratus. De zon verdwijnt en de thermiek dooft uit. De bewolking gaat over in een dikke ondoorzichtige laag nimbostratus met gelijkmatige regen, die langdurig aanhoudt. Tevens ruimt de wind bij het passeren van het front.

Warme sector, bijbehorende wolken en weer

Na passage van een warmtefront komt er warmere lucht het gebied binnenstromen. Het gebied bevindt zich dan in de warme sector. De vliegomstandigheden zijn slecht, want je krijgt dan een gebied met warme vochtige lucht. De wind is geruimd. Het zicht is slecht en er komt vaak stratusbewolking voor. Soms valt daar motregen uit.

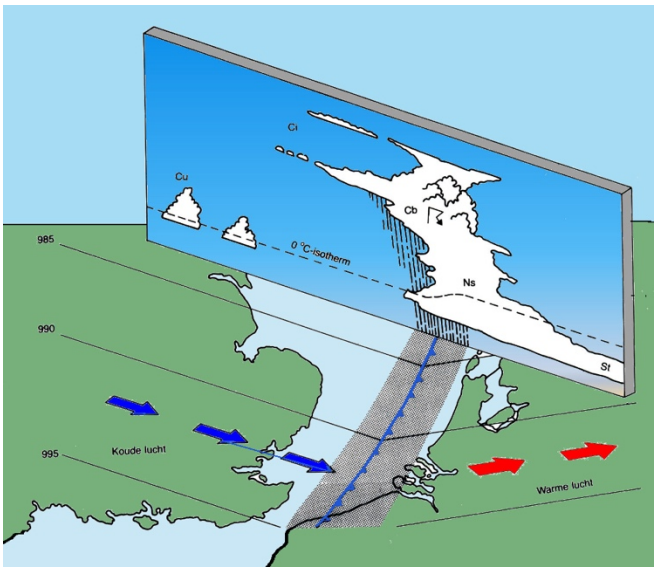
Koufront, bijbehorende wolken en weer

Bij een koufront schuift de koude lucht (zwaarder) onder de warme lucht en drukt deze omhoog. De lucht die omhoog gedrukt wordt koelt af en condenseert. Een koufront is meestal maar 100 tot 200 km breed en geeft korte hevige regen.



Op de animatie zie je wat er gebeurt als koude lucht (zwaarder) onder warme lucht (lichter) schuift. De

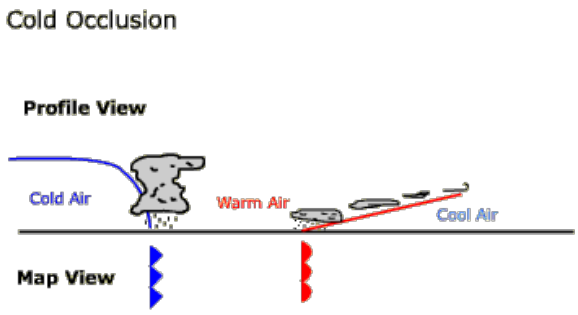
warme lucht wordt omhoog geduwd. Er ontstaan vaak cumulonimbuswolken. Dit leidt meestal tot korte hevige regen. Het front is veel kleiner dan bij een warmtefront en passeert sneller. Ook hier ruimt de wind bij het passeren van het front.



Het weer na een koufront

Na passage van het koufront ruimt de wind (draait met de klok mee). De lucht is helder, het zicht is goed, het nulgradenniveau daalt iets door de koudere lucht van het koufront en er ontstaan vaak stapelwolken. Prima zweefvliegweer.

Occlusiefront, bijbehorende wolken en weer



Een koufront verplaatst zich sneller dan een warmtefront. Op de afbeelding zie je dat het koufront het warmtefront inhaalt en samen gaan ze verder als een occlusiefront. Een occlusiefront begint vaak als een warmtefront met motregen maar gaat daarna vaak over in regenbuien.

Stationair front

Wanneer een front op één plaats blijft liggen, dan spreken we van een stationair front. Vaak met dikke bewolkingslagen, lichte of geen regen en geen of weinig wind.

Verandering van het weer bij een frontpassage

'*Krimpende winden en uitgaande vrouwen zijn niet te vertrouwen*', zeggen schippers. Voor het front krimpt de wind en neemt toe in kracht. Wanneer overdag de wind krimpt, is dit vaak één van de voorboden van het naderende front. Na frontpassage ruimt de wind en neemt meestal in kracht af.

Video van 4 minuten met uitleg over een koude- en warmtefront

Samenvatting:

- **Luchtsoorten** ontstaan als lucht langere tijd boven een bepaald gebied (**brongebied**) blijft hangen.
- Zo ontstaan:
  - **Equatoriale lucht**(EL) warm, ontstaat bij de evenaar,
  - **Tropische lucht**(TL) warm, ontstaat in gebieden tussen 15° en 45°noorder- en zuiderbreedte,
  - **Polaire lucht**(PL) koud, ontstaat tussen 45° en 70° noorder- en zuiderbreedte,
  - **Arctische lucht**(AL) koud, ontstaat bij de polen.
- Wanneer de lucht over zee naar ons land wordt aangevoerd ontstaat er vochtige lucht,**maritieme** lucht (m). Over land blijft het droge lucht. Dat noemen we**continentale**lucht (c).
- Lucht is **warme massa** als de temperatuur van de onderste laag warmer is dan die van dat aardoppervlak en andersom is het **koude massa**.
- Waar koude en warme luchtstromen elkaar ontmoeten ontstaan fronten.
- Bij een **warmtefront** ervaart een waarnemer op de grond na passage warmere lucht en na passage van een **koufront** koudere lucht.
- Bij een warmtefront schuift warme lucht over koude zwaardere lucht en wordt omhoog geduwd, koelt af, de waterdamp condenseert en er ontstaat gelijkmatige regen over een groot gebied.
- **Na passage van een warmtefront** is de temperatuur gestegen de lucht vochtiger (slechter zicht) en de wind geruimd.
- Bij een koufront schuift de koude lucht onder de warme lucht en drukt deze omhoog. Een koufront is meestal maar 100 tot 200 km breed en geeft korte hevige regen.
- **Na passage van een koufront** is de temperatuur gedaald, de lucht helderder (lagere luchtvochtigheid) en de wind geruimd.
- Het stuk tussen het warmtefront en het koufront heet de '**warme sector**',
- Haalt een koufront een warmtefront in dan ontstaat een **occlusiefront**.

3.7 DRUKSYSTEMEN

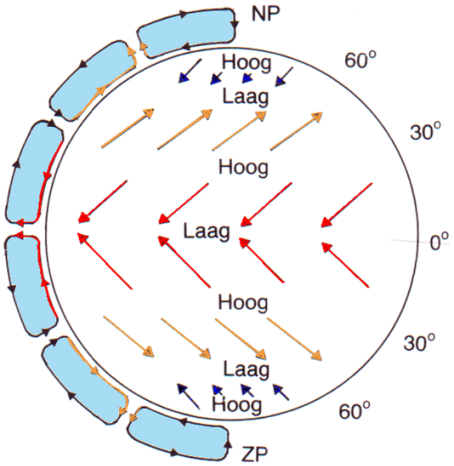
In Nederland varieert de luchtdruk tussen 965 en 1050 hPa. Wanneer de luchtdruk hoger is dan 1013 hPa dan spreken we van hoge druk en daaronder van lage druk. Op een barometer staan aan de kant van de hoge druk de woorden MOOI en BESTENDIG. Aan de kant bij de lage druk zie je de woorden REGEN en STORM staan. Hoge druk levert mooi weer en erg lage druk staat garant voor regen en storm. Op de barometer kun je ook zien of de luchtdruk gedurende de dag toeneemt of afneemt. Neemt de druk toe dan wordt het weer stabieler en daalt de druk dan neemt de onstabiliteit toe. Het gaat in dit hoofdstuk over:

- 3.7.1 HOGEDRUKGEBIEDEN
- 3.7.2 NIET-FRONTALE DEPRESSIES

3.7.1 HOGEDRUKGEBIEDEN

- Anticyclonen (hogedrukgebieden), typen, algemene eigenschappen, ruggen en subsidentie

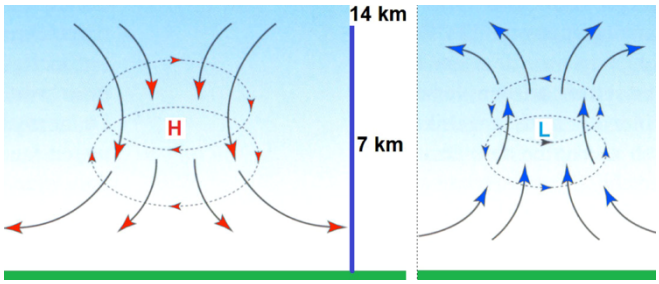
Bij de algemene circulatie van lucht rondom de wereld (3.2 Wind) is uitgelegd dat er zich bij de 30-ste breedtegraad en bij de noordpool hogedrukgebieden bevinden.



Op onze aarde zijn gebieden met vrijwel permanent hogedruk en gebieden waar overwegend een lage druk heerst.

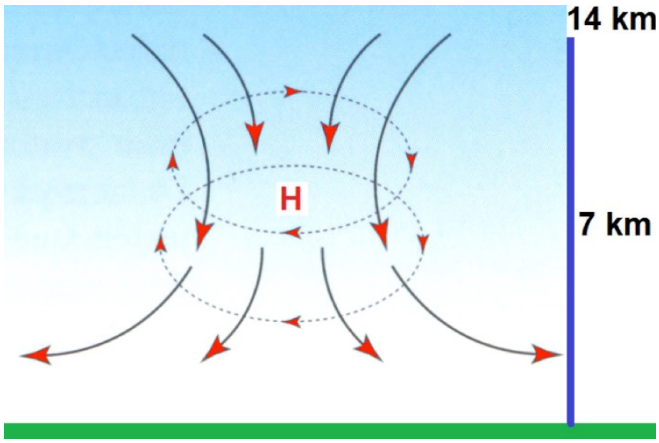
Bij de evenaar heerst een lagedrukgebied en bij de subtropen (30e breedtegraad) waar de lucht die van de tropen komt, daalt, heerst vrijwel permanent een hogedrukgebied. Door de wisseling van de seizoenen verschuiven deze zones.

Bij hogedrukgebieden daalt de lucht geleidelijk. Dit dalen gaat draaiend. De lucht daalt (op het noordelijk halfrond) in een draaiende beweging met de klok mee omlaag. Daarom heet een hogedrukgebied ook wel een anticycloon, want een lagedrukgebied die linksom draait wordt ook wel een cycloon genoemd.



Tijdens het dalen neemt de temperatuur adiabatisch toe en kan steeds meer waterdamp bevatten. Het regent daar vrijwel niet. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de Sahara woestijn. De neerslag is daar minder dan 100 mm per jaar.

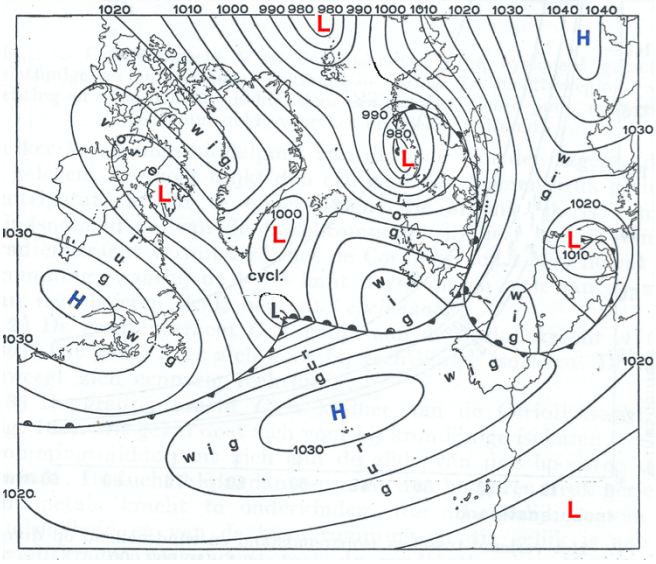
Het weer in een hogedrukgebied is rustig. Onder in het hogedrukgebied stroomt de lucht het hogedrukgebied uit. Het tekort aan lucht wordt van bovenaf aangevuld. In een hogedrukgebied daalt de lucht heel langzaam en warmt adiabatisch op. Dit noemen we subsidentie.



Een hogedrukgebied kan dagenlang voor goed weer zorgen. In zo'n hogedrukgebied ontstaat vaak een **subsidentie-inversie**. Dat is een laag lucht in een hogedrukgebied waar de temperatuur met de hoogte toeneemt. Zo'n subsidentie-inversie zakt vaak heel geleidelijk. Elke dag een stukje lager. De subsidentie-inversie is bij het zweefvliegen vaak te herkennen aan een dikke smerige laag bruin stof en roet die daar in de lucht hangt en het zicht beperkt. Het stijgen van de thermiek stopt onder die laag.

Op de weerkaarten zie je gebieden met hoge- en met lage druk. Een hogedrukgebied noemen we ook wel

een hoog en een lagedrukgebied een laag (zie 3.10.2 Weerkaarten).



Bij een **rug van hoge druk** is er sprake van een uitloper van een hogedrukgebied. Er komen vaak opklaringen en rustig weer bij voor. Een rug van hoge druk staat op de weerkaart als een rode lijn. De isobaren liggen er dichter bij elkaar dan bij een wig. Een wig is een uitloper van een hogedrukgebied waar de isobaren het verst van elkaar liggen.

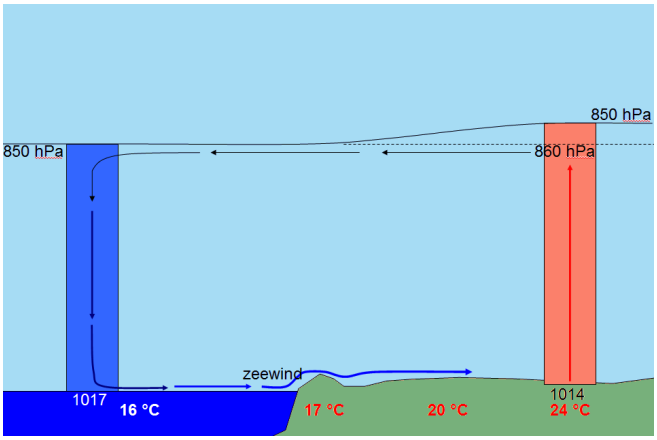
3.7.2 Niet-frontale depressies

- Thermische, orografische, polaire en secundaire depressies; troggen

Een niet frontale depressie is een lagedruk gebied dat zich niet ontwikkelt vanuit een warmte-, kou-, of occlusiefront, maar plaatselijk ontstaat. Verschillende omstandigheden kunnen leiden tot de vorming van depressies zonder frontale kenmerken.

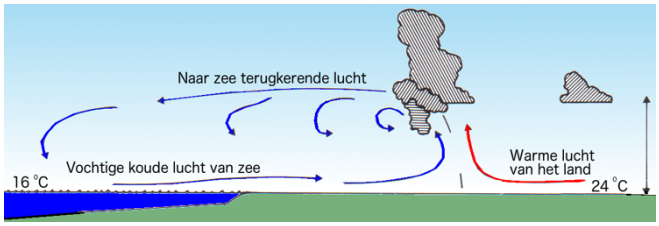
Thermische depressie

Een thermische depressie is een plaatselijk lagedrukgebied dat bijvoorbeeld zomers aan de kust ontstaat bij geen of heel weinig wind en bij grote temperatuurverschillen tussen de temperatuur van de lucht boven land en de temperatuur van de lucht boven koud zeewater.



Afbeelding overgenomen van Wikipedia

Door de opwarming boven land zet de lucht uit, waardoor de luchtkolom daar hoger komt te liggen. Op een hoogte van zo'n 1300 meter zal de lucht zijdelings wegstromen richting het lagere drukgebied boven de zee, waardoor boven het warmere oppervlak van het land een lagere druk ontstaat, de thermische depressie.



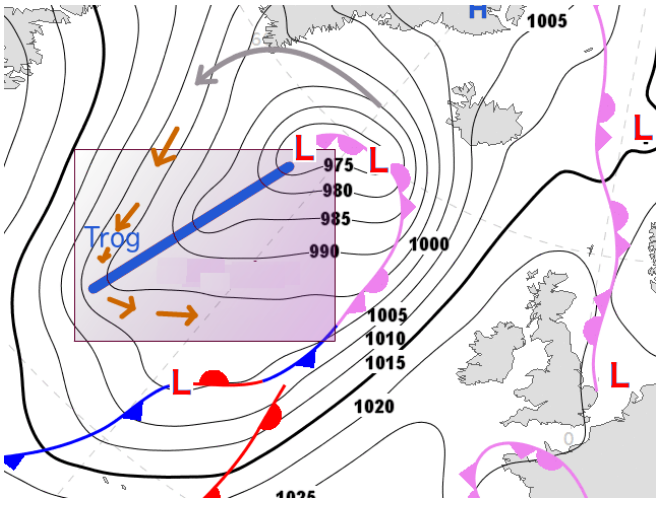
Door de koude lucht koelt de grond af en dit remt de thermiek. Soms zie je bij de kust de windmolens richting zee wijzen en een paar kilometer meer landinwaarts wijzen de windmolens de andere kant uit. Daartussen botst de zeewind op de wind boven land en op dat grensvlak geeft het vaak over een grote afstand stijgen. 's Nachts koelt de zee minder snel af dan de lucht boven land bij een heldere lucht. De lucht stijgt boven zee en daalt boven land en dan kan er landwind ontstaan.

Convergentielijn

Waar twee luchtsoorten met verschillende eigenschappen op elkaar botsen, zoals bij zeewind, ontstaat een **convergentielijn**. De twee verschillende luchtsoorten botsen als het ware tegen elkaar op, waardoor de lucht niets anders meer kan doen dan stijgen. Bovenop de normale thermiek, wordt de lucht dus nog eens extra opgetild. Dit kan voor mooie lange afstandsvluchten zorgen maar het kan ook leiden tot stevige buien. Als de ene luchtsoort droger is dan de andere dan zie je stapelwolken met in de ene luchtsoort een hogere basis dan in de andere.

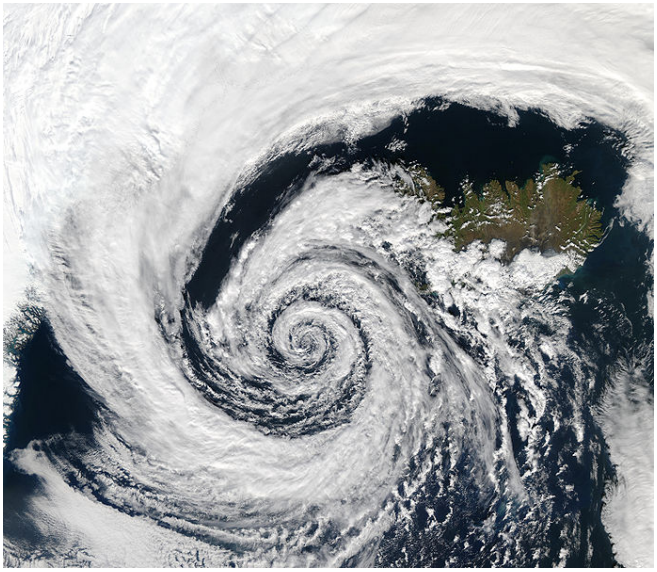
Orografische depressie

Orografie beschrijft het ontstaan en de eigenschappen van bergen en dalen. Een orografische depressie is een lagedrukgebied dat ontstaat onder invloed van het reliëf van het landschap. Bij luchtstromingen dwars op een bergrug ontstaat er door stuw aan de windzijde een rug. Aan de lijzijde van het gebergte vormt zich lagere druk die uit kan groeien tot een orografische depressie.



Trog

Bij een lagedrukgebied is soms sprake van een **trog**. Dit is een uitloper van een lagedrukgebied. In een trog liggen de isobaren (lijnen met gelijke luchtdruk) meestal dicht op elkaar. Hoe dichter de lijnen bij elkaar liggen des te harder waait het. Wanneer de lucht er opstijgt en voldoende vochtig is dan ontstaan er buien. Een trog staat op de weerkaart als een dikke blauwe lijn. Als de isobaren juist ver uit elkaar liggen, wordt ook wel gesproken van een **vore**.



Een lagedruk gebied, draait tegen de klok in en een hogedrukgebied (anticycloon) met de klok mee (op het noordelijk halfrond).

Samenvatting:

- Bij de evenaar heerst een lagedrukgebied en bij de subtropen overwegend een hogedrukgebied.
- Bij hogedrukgebieden daalt de lucht geleidelijk in een draaiende beweging met de klok mee (anticycloon). Een lagedrukgebied draait linksom en wordt ook wel een cycloon genoemd.
- Een niet frontale depressie is een lagedruk gebied dat plaatselijk ontstaat. Bijvoorbeeld:
  - Een **thermische depressie** ontstaat zomers aan de kust bij geen of heel weinig wind en bij grote temperatuurverschillen tussen de temperatuur van de lucht boven land en koud zeewater.
  - Een **orografische depressie** is een lagedrukgebied dat ontstaat bij luchtstromingen dwars op een bergrug. Er ontstaat door stuw aan de windzijde een rug en aan de lijzijde van het gebergte vormt zich lagere druk die uit kan groeien tot een orografische depressie.
  - Een **trog** is een uitloper van een lagedrukgebied waar de isobaren meestal dicht bij elkaar liggen.

3.8 KLIMATOLOGIE

Het klimaat is het weer bekeken over een lange periode. Het klimaat in een gebied op aarde wordt voor een groot deel bepaald door de ligging. Gebieden waar de zon loodrecht boven staat, zoals de tropen, worden heet en de polen zijn koud. Dit hoofdstuk is onderverdeeld in:

- 3.8.1 TYPISCHE WEERSITUATIES BIJ DE MIDDELSTE BREEDTEGRADEN
- 3.8.2 HET WEER IN HOGEDRUKGEBIEDEN
- 3.8.3 LOKALE WEERVERSCHIJNSELEN

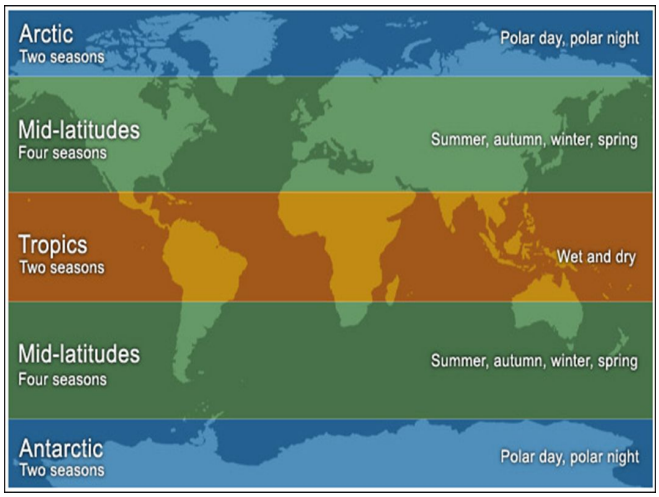
3.8.1 TYPISCHE WEERSITUATIES BIJ DE MIDDELSTE BREEDTEGRADEN

Klimatologie bestudeert het gemiddelde weer over vele jaren. Daarvoor is het nodig dat jarenlang de gegevens verzameld worden van: de temperatuur, de neerslag, de wind, de windrichting, de vochtigheid, aantal uren zonneschijn, de bewolking enzovoort. Ook de aanwezigheid van bergen, de invloed van golfstromen en de luchtcirculatie rond de aarde beïnvloedt het klimaat in een bepaald gebied. Je kunt het klimaat indelen in:

- tropisch klimaat
- gematigd klimaat
- poolklimaat

Ons weer speelt zich af tussen de middelste breedtegraden. Wij kennen in Europa vier seizoenen met een groot verschil tussen de temperatuur in de zomer en in de winter en in bijna alle seizoenen ongeveer evenveel neerslag.

De verschillen in temperatuur zijn in de landen die aan zee liggen, zoals Nederland, veel kleiner. Door de invloed van de warme golfstroom kennen wij zachte winters en koele zomers.



Wij hebben een zeeklimaat. Landen die verder van de zee af liggen, hebben een landklimaat. Daar speelt de eventuele aanwezigheid van bergen een grote rol.

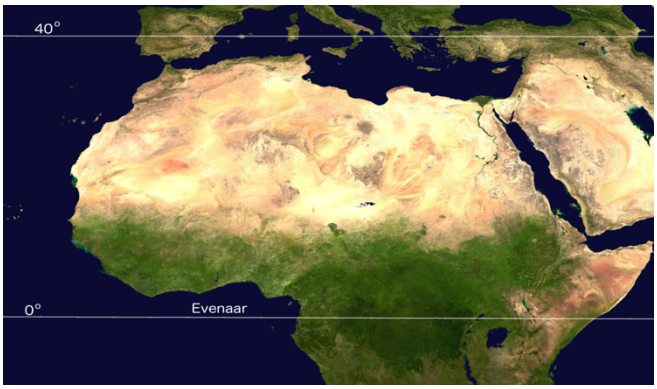
Gemiddelde temperatuur van Nederland (afb. KNMI)

In de bergen heb je geregeld snel wisselende weersomstandigheden. Lage temperaturen, harde wind en veel neerslag zijn kenmerkend voor een **bergklimaat**. De lage temperaturen ontstaan door de hoogte van de bergen. Op een hoogte van 2000 m is de temperatuur 13 graden lager dan op zeeniveau. Wanneer de wind over een berg wordt gestuwd, krijg je boven de berg een venturi effect. De wind waait daar veel harder dan op het vlakke land. Aan de windzijde van de berg condenseert de lucht geregeld tijdens het stijgen en geeft vaak neerslag.

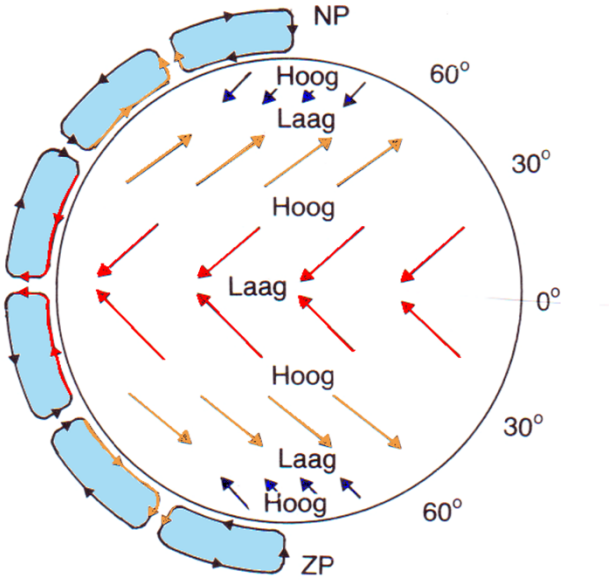
Ook de ligging van Nederland op de 52ste breedtegraad speelt een grote rol. Daardoor hebben wij geregeld te maken met zuidwesten wind en de aanvoer van de ene depressie na de andere. Het regent in ons land zo'n 600 uren per jaar. Dat zorgt voor veel neerslag, ongeveer 88 cm per jaar. Vergeleken met de natste plaatsen op aarde valt dat mee, daar regent het wel vijf keer zoveel per jaar.

3.8.2 HET WEER IN HOGEDRUKGEBIEDEN

Bij de evenaar bevinden zich de tropische regenwouden, daar stijgt de warme lucht tot aan de stratosfeer en veroorzaakt veel neerslag. De lucht stroomt daar op grote hoogte richting de polen.

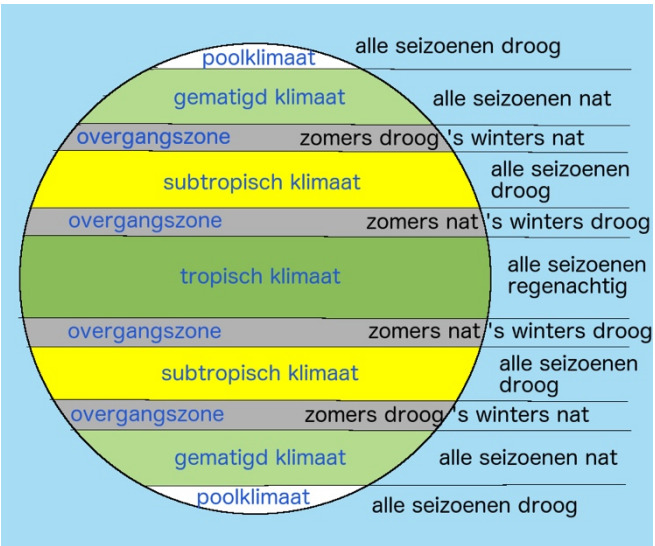


Bij de 30ste breedtegraad daalt de lucht. De lucht wordt tijdens het dalen 1°C per 100 m warmer en kan veel waterdamp bevatten. Daar ontstaat een permanent hogedrukgebied met een subtropisch klimaat. In de Sahara en landen zoals Egypte regent het soms jaren achterelkaar niet.



Door de algemene luchtcirculatie rondom de aarde kennen we gebieden met permanente hogedruk bij de subtropen en bij de polen. Globaal gezien ziet dat eruit zoals op de afbeelding is weergegeven maar o.a. door de wisseling van de seizoenen verschuiven deze zones en zo kennen we:

- gebieden met hogedruk die vrijwel het hele jaar droog zijn zoals bij de polen en de subtropen,
- gebieden waar het het hele jaar door geregeld regent zoals de gebieden bij de middelste breedtegraden,
- gebieden waar het zomers overwegend droog is en 's winters nat
- gebieden waar het zomers geregeld regent en 's winters overwegend droog blijft.

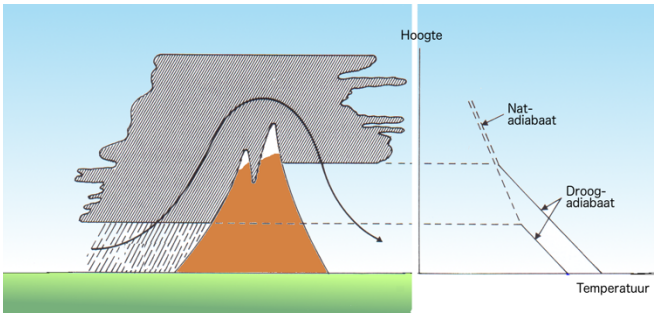


3.8.3 LOKALE WEERVERSCHIJNSELEN

- Föhn,
- Mistral,
- Sirocco

Föhn

De föhn is een warme wind die vaak aan de noordzijde van de Alpen waait. Ook in andere berggebieden komt dit verschijnsel onder vaak andere namen voor.



Bij 3.4.2 Orografische bewolking is reeds beschreven dat wanneer de wind tegen een berg aan waait, dat dan de lucht gedwongen wordt om omhoog te gaan. Daarbij koelt de lucht adiabatisch af (1 °C per 100 m). Komt de lucht onder het dauwpunt dan ontstaat bij de top van de berg een wolk. Bij de natadiabaat koelt de lucht veel minder dan 1 °C per 100 m af.

Aan de lijzijde van de berg daalt de lucht weer, warmt 1 °C per 100 m op en de wolk lost weer op. Wanneer het regent aan de windzijde dan bevat de lucht aan de lijzijde minder waterdamp en komt het condensatieniveau aan die kant van de berg hoger te liggen. Daar is de lucht droger, warmer en de wolkenbasis hoger.

Mistral

De mistral is een harde en koude noord- tot noordwestenwind die gemiddelde windsnelheden bereikt van zo'n 50 kilometer per uur met windstoten van meer dan 100 kilometer per uur. Hij komt vooral voor in het gebied tussen de Alpen en de Pyreneeën. De mistral houdt meestal dagenlang aan en komt het vaakst voor in de winter en het voorjaar. Hij ontstaat wanneer koude poollucht ver zuidwaarts Europa in wordt gezogen door een lagedrukgebied boven de Golf van Genua. Wanneer het water van de Golf van Genua warmer is dan in de omringende gebieden, dan stijgt de warmere lucht op. Dat veroorzaakt een actief lagedrukgebied, het Genua-laag.

Sirocco

De sirocco is een zuidelijke wind, die hete droge lucht uit de Sahara naar het noorden voert. De lucht bevat zand en stof dat meestal in de landen rond de Middellandse Zee met regen naar beneden komt. Als de wind in een groot deel van Europa zuidelijk is kan het Saharazand soms ook in Nederland terecht komen. De sirocco waait met windsnelheden van bijna 100 km/h en komt het meest in de lente en de herfst voor.

Samengevat:

- Het klimaat is het weer bekeken over een lange periode.
- Landklimaat: midden Europa droog, hete zomers en koude winters.
- Zeeklimaat: Nederland; nat, warme winters en koele zomers. Er ontstaan steeds weer depressies op de Oceaan en die trekken langs de kust naar Scandinavië.
- Bergklimaat: Lage temperaturen, harde wind en veel neerslag.
- Tropen: Daar stijgt de warme lucht tot aan de stratosfeer en veroorzaakt veel neerslag.
- Subtropen: Bij de 30e breedtegraad daalt de lucht wordt warmer en kan veel waterdamp bevatten. Daar ontstaat een permanent hogedrukgebied. In de Sahara en landen zoals Egypte regent het soms jaren achterelkaar niet. Andere subtropische gebieden kennen natte en droge zomers en winters.
- De **föhn** is een warme wind die vaak aan de noordzijde van de Alpen waait
- De **mistral** is een harde en koude noord- tot noordwestenwind die gemiddelde windsnelheden bereikt van zo'n 50 kilometer per uur met windstoten van meer dan 100 kilometer per uur. Hij komt vooral voor in het gebied tussen de Alpen en de Pyreneeën.
- De **sirocco** is een zuidelijke wind, met windsnelheden van bijna 100 km/h, die hete droge lucht uit de Sahara naar het noorden voert. De lucht bevat zand en stof dat meestal in de landen rond de Middellandse Zee met regen naar beneden komt en soms ook in Nederland.

3.9 GEVAARLIJK VLIEGSITUATIES

- 3.9.1 IJsvorming
- 3.9.2 Turbulentie
- 3.9.3 Windshear
- 3.9.4 Onweer
- 3.9.5 Wervelwinden, waterhozen en stofduivels
- 3.9.6 Gevaren bij het vliegen in de bergen (rotor)
- 3.9.7 Verminderd zicht

3.9.1 IJSVORMING

- Soorten ijsafzetting
- Risico's van ijsafzetting en het vermijden van ijsafzetting

Soorten ijsafzetting

IJsafzetting op de vleugel Vooral in het voorjaar kan de bovenlucht op de hoogte waar we zweefvliegen onder de nul graden zijn. De vleugels koelen af tot onder het vriespunt. Vlieg je in die omstandigheden door de flarden van een wolk met onderkoelde waterdruppels, dan ontstaat ijsafzetting.

IJzel op de vleugel IJzel ontstaat als bijvoorbeeld bij een warmtefront de regendruppels door zo'n koude luchtlaag vallen dat ze onderkoeld raken. Vlieg je door die regen dan botsen de onderkoelde waterdruppels tegen het koude vliegtuig en bevriezen. Er vormt zich een doorzichtige laag over de vleugel.

Risico's van ijsafzetting en het vermijden van ijsafzetting

IJsvorming:

- verslechtert het profiel
- verkleint de lift
- verhoogt het gewicht
- verstopt de pitot en de statische openingen
- kan de rolroeren blokkeren.

Passagiersvliegtuigen hebben een de-icing systeem waarbij de belangrijke onderdelen van het vliegtuig verwarmd worden en het ijs smelt. Zweefvliegtuigen hebben niet zo'n systeem. Vliegen in de wolken is gevaarlijk en één van de redenen waarom dat niet mag is de kans op ijsafzetting.

Vooral ijzel is gevaarlijk. IJzel veroorzaakt een laag doorzichtig ijs die je niet gemakkelijk ziet op je vleugel. Je overtreksnelheid gaat omhoog en je vleugeleigenschappen veranderen drastisch. De roeren kunnen blokkeren en de pitotbuis en statische openingen kunnen verstoppen. Een ijslaag op de kap belemmert bovendien het uitzicht.

3.9.2 TURBULENTIE

- De effecten van turbulentie op een vliegtuigen en het vermijden van die effecten

De gevaren van turbulentie zijn reeds eerder beschreven bij 3.2.5 Golf en 3.2.6 Turbulentie en worden hieronder beschreven bij 3.9.6 Gevaren bij het vliegen in de bergen.

Turbulentie kan ontstaan door turbulente luchtlagen, obstakels, bergen en sterke thermiek. Bij kans op turbulentie dien je de vliegsnelheid te verhogen om het vliegtuig beter bestuurbaar te houden.

Op de snelheidsmeter zie een groene band en een gele band. Bij turbulentie moet je het gele gebied vermijden om overbelasting van het vliegtuig te voorkomen.

3.9.3 WINDSHEAR

- Definitie van windshear
- Weersomstandigheden voor het ontstaan van windshear

Definitie van windshear

Windshear (windschering) is een plaatselijke plotselinge verandering van windrichting en windsterkte.

Weersomstandigheden voor het ontstaan van windshear

Windschering komt veel voor bij onweersbuien. Een voorbeeld is de zogenaamde downburst. Dit is een lokale neerwaartse koude luchtstroming die vlak voor de onweersbui uit de bui valt. Neervallende hagel en regen sleuren de lucht mee. Bij de grond stroomt die lucht uit en dit kan ervoor zorgen dat de wind 180° gedraaid is ten opzichte van de heersende wind.

3.9.4 ONWEER

- Condities voor het ontstaan van onweer (wolken Cb's)
- Structuur van onweer, verloop
- De gevaren van vliegen bij onweer
- Elektrische ontladingen
- Het effect van een blikseminslag op een vliegtuig
- Ontstaan en effecten van downburst
- Het vermijden van onweer

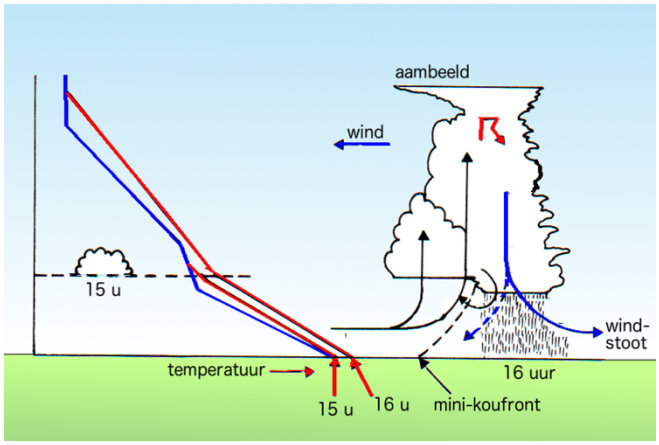
Condities voor het ontstaan van onweer

Onweerswolken zijn enorme stapelwolken waarbij de onstabiliteit van de lucht tot grote hoogte doorgaat. De temperatuur moet in de cumuluswolk dalen tot onder de -12^{0}C. Dan vormen zich namelijk ijskristallen en de cumulus congestus gaat over in een cumulonimbus. Op grote hoogte is de temperatuur nog veel lager en daar komen in de wolk alleen nog maar ijsnaalden voor. Wanneer er elektrische ontladingen plaatsvinden dan spreken we van een onweerscel.Onweerswolken stijgen soms door tot aan de tropopauze. Daarboven is de lucht stabiel. De onweerswolk wordt daar gedwongen om horizontaal uit te spreiden. Zo ontstaat het aambeeld, het typerende herkenningsteken van een naderend onweer.

Structuur van onweer, verloop

Het onweer duurt meestal niet langer dan een uur. Als het langer onweert dan komt dat omdat er dan steeds weer nieuwe onweerscellen ontwikkelen. In de onweerswolk komen stijgsnelheden voor van soms wel 30 m/s. We kunnen bij een onweerswolk drie fasen onderscheiden:

- **Het groeistadium** De cumulus congestus groeit door en de temperatuur komt onder -12 °C. Er vormen zich ijskristallen en het begin van neerslag elementen die door de sterke stijgwinden in de cumulus tot grote hoogte worden meegevoerd. Zodra de top van de onweerswolk gaat bevriezen krijgt deze een cirrusachtig uiterlijk, want die top bestaat geheel uit ijsnaalden.
- **Het volwassen stadium** In een cb wordt de omlaag vallende half gesmolten sneeuw weer omhoog gezogen en groeit verder aan tot hagel. Zulke hagelstenen kunnen in een Cb wel een aantal keren omlaag vallen en weer omhoog gezogen worden. Wanneer de hagel zover gegroeid is dat ze ondanks de stijgwind naar beneden vallen, dan nemen ze koude lucht van grote hoogte mee naar beneden. De zeer koude dalende luchtstroom (downburst) stroomt langs de grond in alle richtingen uit en veroorzaakt een minikoufront. De uitstromende koude lucht gaat ook tegen de heersende wind in. Wie bij de landing tegenwind verwacht krijgt ineens met rugwind te maken (windshear). Door de koude lucht stopt het stijgen in de wolk en de hagel valt, al of niet gesmolten als regen, op de grond. In dit volwassen stadium komen bij grote Cb's naast neerslag, zware windstoten en elektrische ontladingen voor.
- **Het oplosstadium** Als het stijgen in de Cb helemaal gestopt is begint de oplos fase. De neerslag neemt af en wordt gelijkmatiger. De wolk lost verder langzaam op.



Op de afbeelding zie je de ontwikkeling van een warmteonweer. Om drie uur 's middags is er nog niets aan de hand. De warme lucht stijgt tot aan het condensatieniveau en vormt daar een cumulus. De meest linkse blauwe lijn is de toestandskromme.Bij 15.00 uur staat de linkse rode lijn getekend. Tot aan de stippellijn is dat de droogadiabaat van dat moment. Bij het condensatieniveau vormt zich een stapelwolk en daarna gaat de lijn nog eventjes als natadiabaat verder en stuit dan op de lijn van de toestandskromme. Hoger gaat de wolk nog niet.

Om 16:00 uur is de temperatuur verder gestegen. De rechtse rode lijn geeft de adiabaat van 16.00 uur aan. Je ziet dat de temperatuur zoveel warmer is dat de natadiabaat nu tot grote hoogte rechts van de toestandskromme blijft. Er ontstaat een enorme hoge wolk met boven een aambeeld. Aan de onderkant van de wolk wordt warme lucht aangezogen.

De gevaren van vliegen bij onweer:

- Blikseminslag (kabel 400 m bliksemaantrekker)
- Draaiende wind, windstoten en turbulentie
- Sterke windtoename en draaien windrichting (180°)
- Zware neerslag, hagel, ijsafzetting
- Verlies van oriëntering en controleverlies omdat je in de wolk niets meer ziet
- Wanneer je in de wolk gezogen wordt kans op bevriezing (-50 ^{0}C.)
- Zuurstofgebrek
- Turbulentie door zeer sterk stijgen en sterk dalen in de wolk

In elk meteorologie-examen zit wel een vraag over de gevaren van onweer. Op de foto zie je het ontstaan van een cumulonimbus (Cb). De foto is gemaakt op een terrasje in Berlijn. Op de foto zie je het begin van de onweersbui.

Op de grond is het ontstaan van een onweersbui goed te volgen maar in een zweefvliegtuig, dicht onder de basis van de wolken, is dit veel moeilijker. Een uur na het nemen van deze foto's kwam het water met bakken naar beneden. Harde windstoten en zelfs takken braken van de bomen. In zo'n bui moet je niet met een zweefvliegtuig terecht komen.

Elektrische ontladingen

Het bovenste deel van de onweerswolk is positief geladen. Onder het nulgradenniveau is de wolk negatief geladen. Elektrische ontladingen gaan via de gemakkelijkste weg. Een stalen lierkabel van zo'n driehonderd meter werkt als een enorme bliksemafleider. Zelfs van grote afstand kan de bliksem via die kabel een weg naar beneden vinden. Ruim voordat een onweersbui overtrekt, moet de vloot in de hangaar staan. Overvalt het onweer je toch. zorg dan voor een goede schuilplek. Natuurlijk niet onder bomen, maar bij voorkeur in auto's. Mocht er geen enkele schuilplek zijn, maak je dan zo klein mogelijk en ga op je knieën zitten met je handen op je hoofd, maar niet in de buurt van bomen of hoge objecten.

Het effect van een blikseminslag op een vliegtuig

Een bliksemflits is een sterke elektrische ontlading tussen twee wolken of tussen een wolk en de aarde. Als een vliegtuig daar tussen vliegt, dan kan die stroom door het toestel heen gaan.

Verkeersvliegtuigen vermijden onweersbuien zoveel mogelijk. Bij de start of landing is dit niet altijd mogelijk. Op de foto zie je dat vlak na de start de bliksem bij de neus van het vliegtuig binnenkomt en via de vleugel weer verlaat. Een passagiersvliegtuig werkt als een kooi van Faraday. Een kooivormige constructie waardoor de bliksem via de buitenkant het vliegtuig weer verlaat. Meestal merken de passagiers een blikseminslag niet eens.

In een zweefvliegtuig ben je veel minder goed beschermd. Weliswaar zijn de neushaak, het voetenstuur en de roeren van een zweefvliegtuig geaard zodat de kans op vastsmelten van de metalen delen kleiner wordt. Maar de bliksem kan ook het toestel vernietigen. Blikseminslag bij het zweefvliegen komt meestal voor tijdens de lierstart. Een zweefvlieglier moet daarom ook bij het lieren met een metalen pen in de grond geaard worden. De bliksem wordt dan via de zwaartepuntshaak naar de lierkabel geleid en vervolgens naar de grond.

Downburst

Downburst is een sterke neerwaartse stroom van koude lucht uit een cumulonimbus, meestal geassocieerd met intense regen of onweer.

Het vermijden van onweer

Zweefvliegen en onweer gaan niet samen. Zorg ervoor dat je goed op de hoogte bent van het weerbericht en vooral als er kans op onweer is. Met name in de bergen kan onweer snel op komen zetten.

Constateer je op de vliegstrip dat er een onweersbui aan komt, zet dan tijdig alle vliegtuigen in de hangaar. Lukt dit niet meer, dan in de vliegtuigen gaan zitten en de remkleppen openen.

Kom je er tijdens het vliegen achter dat er zich een onweersbui aan het ontwikkelen is, land dan zo snel mogelijk. Is er geen geschikte landingsplek vlieg dan weg van het onweer en zoek een veilige landingsplaats.

Wanneer je in de wolk gezogen wordt dan direct de remkleppen helemaal openen en de trim naar voren plaatsen. Wanneer je geen zicht meer hebt dan de stuurknuppel loslaten en het toestel door z'n eigen stabiliteit laten vliegen tot je uit de wolk bent.

Wanneer het vliegtuig kapot gaat dan de riemen losmaken en eruit springen. Om te voorkomen dat je met je chute tot grote hoogte omhoog gezogen wordt, wachten met het openen van de chute totdat je uit de wolk bent

3.9.5 WERVELWINDEN, WATERHOZEN EN STOFDUIVELS

Wervelwind

Wervelwinden kunnen we onderverdelen in: tornado's, windhozen, waterhozen en stofhozen (dust devils).

Tornado in de Canadese provincie Manitobaop vrijdag 22 juni 2007 (Bron afbeelding: Wikipedia)

Een tornado is een wervelwind met omhoog wervelende vochtige lucht. De roterende lucht kan snelheden bereiken van een paar honderd kilometer per uur. De diameter is enkele tientallen meters tot een paar kilometer. De trechtervormige slurf wordt zichtbaar door condensatie van waterdamp en alles wat het meezuigt van het grondoppervlak. Zo'n wervelwind kan grote schade aanrichten. Tornado's komen in de VS geregeld voor. In Nederland komen alleen zwakke tornado's voor die windhozen worden genoemd.

Windhoos

Een windhoos is een snel draaiende kolom lucht die als een trechtervormige slurf soms onder een onweerswolk zichtbaar is. Ze komen vooral zomers voor en trekken met een onweersbui mee waarbij ze een enkele keer per jaar een spoor van vernielingen veroorzaken. Windhozen doen zich soms voor als er bij een onweersbui een groot verschil in temperatuur bij de grond en in de bovenlucht is en er op 10 km hoogte een sterke wind staat.

Stofhozen

Kleine wervelwinden die stof, bladeren, zand of hooi in een draaikolk mee omhoog voeren worden stofhozen, stofduivels (dust devils) en ook wel zandhozen genoemd. Ze ontstaan op warme thermische dagen met weinig wind bij superadiabatische condities. De toestromende koudere lucht kan voor een draaibeweging zorgen. Ze draaien dan meestal, net als bij een depressie op het noordelijk halfrond, tegen de wijzers van de klok in. Stofhozen zijn minder heftig dan windhozen en de meesten richten geen schade aan. Ze worden in de regel maar een tiental meters hoog en slechts een enkele keer een honderd meter. In woestijnachtige gebieden kunnen zandhozen voorkomen waarbij het zand tot grote hoogte wordt meegevoerd.

3.9.6 GEVAREN BIJ HET VLIEGEN IN DE BERGEN

Bergvliegen staat beschreven in hfdst. 6. Operationele procedures en dan bij 6.3.4 Bergvliegen. Hier wordt alleen ingegaan op de punten die je volgens EASA voor het vak meteorologie moet kennen:

- Invloed van het terrein op wolken, neerslag en passage van fronten
- Stijgwind, golf, rotors en ijsafzetting
- Ontwikkeling en effect van vallei-inversie

Invloed van het terrein op wolken, neerslag en passage van fronten

In de bergen staat de zon 's morgens al loodrecht op de ene helling en 's middags op de andere. De thermiek komt daardoor vroeg los en gaat lang door en is het sterkst op alle plaatsen die zo loodrecht mogelijk door de zon beschenen worden. Kale droge hellingen geven de meeste thermiek. Normaal daalt de temperatuur van de lucht tijdens het stijgen met 1 °C per 100 m, maar doordat er bij het stijgen langs de helling steeds nieuwe warme lucht wordt toegevoegd is de daling kleiner dan 1°C per 100 m. Daarom wordt het stijgen met de hoogte sterker en gaat er verder door dan boven het vlakke land. De wolkenbasis is er aanmerkelijk hoger.

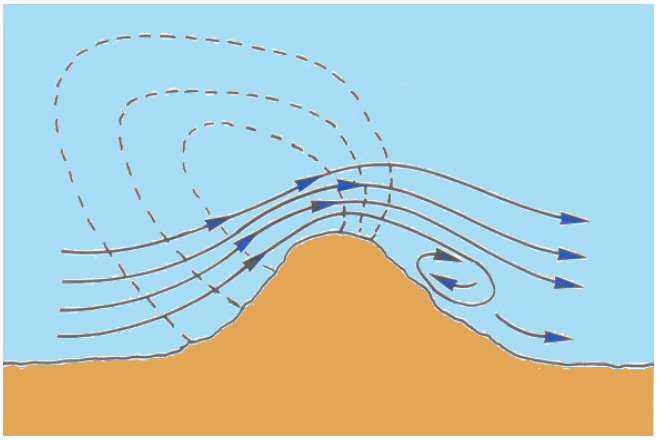
De passage van fronten verloopt anders dan boven het vlakke Nederland. De bergen stuwen de lucht extra

omhoog en dat resulteert in meer neerslag aan de windzijde van bergen. De wind gaat liever langs bergtoppen dan er overheen en dat zorgt ervoor dat tussen twee bergtoppen het extra hard waait en daar de turbulentie een stuk sterker is.

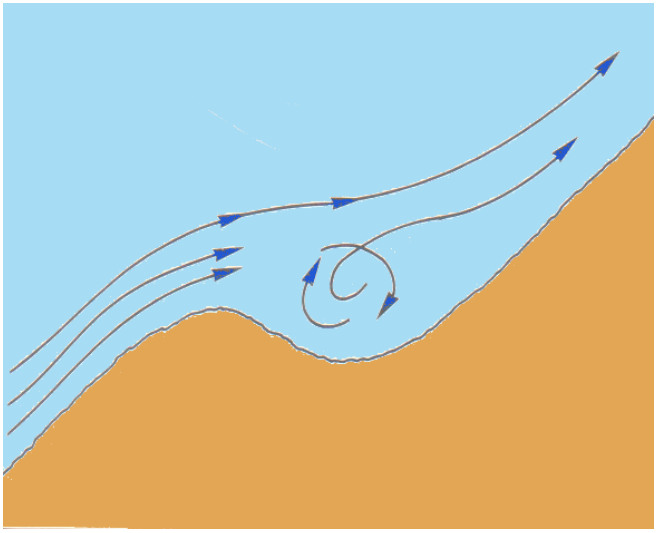
Houd het weer in de gaten en onderhoud elk half uur radiocontact met de grond. Zij kunnen je informatie geven over het dichttrekken van de bewolking of een naderend onweer. Een onweersbui die in het ene dal hangt, kan in vijf minuten naar het volgende dal trekken. Een te laat opgemerkt naderend onweer in een dal of een dichttrekkend wolkendek kan de terugkeer naar het veld volledig blokkeren.

Stijgwind, golf, rotors en ijsafzetting

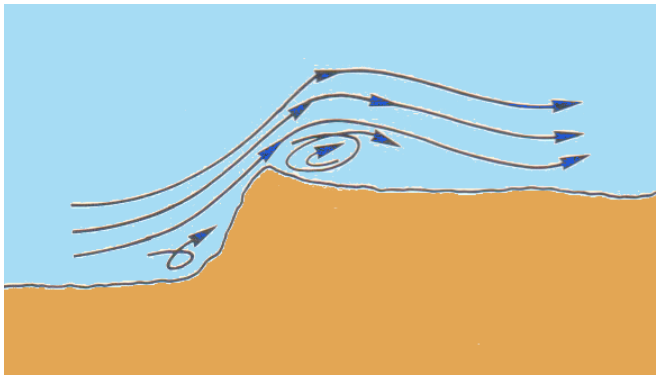
Aan de windzijde van een berg wordt de wind gedwongen om tegen de berg op te stijgen. Van deze stijgwind kun je gebruik maken bij het bergvliegen. Aan de lijzijde moet je niet komen.



Bij weinig wind gaat de luchtstroming met de helling omhoog en daalt aan de lijzijde. Bij meer wind kan de lucht de berghelling aan de lijzijde niet meer volgen en ontstaan er wervelingen. Bij een krachtige wind kan aan de lijzijde een rotor ontstaan (zie: 3.2.5 Golf). Bij harde wind vormt zich aan de lijzijde erg turbulente lucht. Reeds eerder is geschreven dat als het twee keer zo hard waait de turbulentie vier keer zo erg is.



Een kom in een helling kan ook turbulentie veroorzaken. Bij een stevige wind ontstaat hier plotseling dalen en wegvallen van de snelheid. Daarom moet je langs berghellingen altijd met extra snelheid vliegen.



Hoe steiler de helling en hoe sterker de wind, hoe groter de kans op turbulentie boven de top en op de plaats waar de helling met een knik omhoog gaat. De turbulentie kan hier nog weer versterkt worden als er op diezelfde plaatsen ook thermiek loskomt met stijgende en dalende lucht.

Ontwikkeling en effect van vallei-inversie

's Avonds en 's nachts koelen de berghellingen door uitstraling flink af. De afgekoelde lucht daalt, maar doordat dalende lucht ook 1 °C per 100 meter in temperatuur stijgt, ontstaat in het dal een inversielaag, die 's morgens eerst moet worden weggebrand. Door die inversielaag begint de thermiek 's morgens eerst op de hoger gelegen hellingen en pas na het verdwijnen van de inversielaag komt de thermiek ook op lagere hoogte los.

3.9.7 GEVAREN DOOR VERMINDERD ZICHT

- Verminderd zicht door: neerslag, sneeuw, mist, nevel, rook, zon

Neerslag en sneeuw kunnen het zicht tijdens het vliegen behoorlijk verslechteren, daarom wordt het zweefvliegen bij een regenbui stilgelegd totdat de bui voorbij is. Voor de eerstvolgende start worden de kap en de vleugels droog gemaakt. Natte vleugels overtrekken veel eerder. Na een bui beslaat de cockpitkap vrij snel. Zorg eerst voor een schone kap en ga dan pas starten. Natuurlijk blaast de kap tijdens de start wel schoon als de ventilatie open staat, maar bij een kabelbreuk op lage hoogte is de kap nog niet schoon geblazen en dan heb je juist een schone kap nodig om obstakels te kunnen ontwijken.

Zweefvliegen is alleen toegestaan als aan de zichtvoorschriften wordt voldaan. Mist, nevel, rook en de zon belemmeren het zicht. Zweefvliegen is in luchtruimklasse F en G (zie: 1.6 Luchtvaartnavigatie en vliegtuigoperatieuchtvaartnavigatie en vliegtuigoperatie) meestal toegestaan bij een horizontaal zicht van minimaal 1,5 km, vrij van de wolken en met zicht op de grond. Bij mist is het zicht minder dan 1 km en dan wordt er niet gevlogen. Bij zeemist die het land in trekt kan het voorkomen dat het zweefvliegveld niet meer te bereiken is. Je moet dan uitwijken naar een ander veld of buitenlanden.

Slecht zicht wordt extra slecht bij landen tegen de zon in. Het is dan moeilijker om obstakels en de juiste hoogte boven de grond in te schatten. Ook bij een

sleepvlucht waarbij de sleepvlieger precies tegen de zon in vliegt, is het moeilijk om de juiste positie achter de sleepkist te houden.

Samenvatting: Gevaarlijke vliegomstandigheden kunnen ontstaan door:

- **IJsafzetting op de vleugel:** Vlieg je door de flarden van een wolk met onderkoelde waterdruppels, dan ontstaat ijsafzetting.
- **IJzel op de vleugel** Vlieg je door die onderkoelde regen dan botsen de onderkoelde waterdruppels tegen het koude vliegtuig, bevriezen en er vormt zich een doorzichtige laag over de vleugel.
- **IJsvorming:**
  - verslechtert het profiel
  - verkleint de lift
  - verhoogt het gewicht
  - verstopt de pitot en de statische openingen
  - kan de rolroeren blokkeren.
- **Onweerswolken** zijn enorme stapelwolken waarbij de onstabiliteit van de lucht tot grote hoogte doorgaat. De wolk groeit door tot de tropopauze waar de lucht opzij gedwongen wordt en een aambeeld gevormd wordt. We kunnen drie fasen onderscheiden:
  - **Het groeistadium** De cumulus congestus groeit door en er vormen zich ijskristallen en het begin van neerslag elementen die door de sterke stijgwinden in de cumulus tot grote hoogte worden meegevoerd.
  - **Het volwassen stadium** De omlaag vallende half gesmolten sneeuw wordt weer omhoog gezogen en groeit verder aan tot hagel. Die vallen omlaag en worden een paar keer weer omhoog gezogen. Wanneer de hagelstenen naar beneden vallen, dan nemen ze koude lucht van grote hoogte mee naar beneden. De zeer koude dalende luchtstroom (downburst) stroomt langs de grond in alle richtingen uit en veroorzaakt een minikoufront. De uitstromende koude lucht gaat ook tegen de heersende wind in (windshear). Door de koude lucht stopt het stijgen in de wolk en de hagel valt, al of niet gesmolten als regen, op de grond. In dit volwassen stadium komen bij grote Cb's naast neerslag, zware windstoten en elektrische ontladingen voor.
  - **Het oplos stadium** Als het stijgen in de Cb helemaal gestopt is begint de oplos fase. De neerslag neemt af en wordt gelijkmatiger. De wolk lost verder langzaam op.

- **Windshear** (windschering) is een plaatselijke plotselinge verandering van windrichting en windsterkte. Komt voor bij onweer.
- De **gevaren onweer**:
  - Blikseminslag (kabel 400 m bliksemaantrekker)
  - Draaiende wind, windstoten en turbulentie
  - Sterke windtoename en draaien van de windrichting (180°)
  - Zware neerslag, hagel, ijsafzetting
  - Verlies van oriëntering en controleverlies omdat je in de wolk niets meer ziet
  - Wanneer je in de wolk gezogen wordt kans op bevriezing (-50 °C.)
  - Zuurstofgebrek
  - Zeer sterk stijgen en sterk dalen in de wolk
- Een **tornado** is een wervelwind met omhoog wervelende vochtige lucht met snelheden van een paar honderd kilometer per uur.
- Een **windhoos** is een snel draaiende kolom lucht die als een trechtervormige slurf soms onder een onweerswolk zichtbaar is.
- Een **waterhoos** is een windhoos die boven een open water blijft.
- **Stofhozen**, stofduivels (dust devils) en zandhozen zijn kleine wervelwinden die stof, bladeren, zand of hooi in een draaikolk mee omhoog voeren.
- **Gevaren bergvliegen**:
  - Bij harde wind vormt zich aan de lijzijde erg turbulente lucht.
  - De wind gaat liever langs bergtoppen dan er overheen en dat zorgt ervoor dat tussen twee bergtoppen het extra hard waait en daar de turbulentie een stuk sterker is.
  - Een onweersbui die in het ene dal hangt, kan in vijf minuten naar het volgende dal trekken. Een te laat opgemerkt naderend onweer in een dal of een dichttrekkend wolkendek kan de terugkeer naar het veld volledig blokkeren.
  - Bij een krachtige wind kan aan de lijzijde een rotor ontstaan.
  - Hoe steiler de helling en hoe sterker de wind, hoe groter de kans op turbulentie boven de top en op de plaats waar de helling met een knik omhoog gaat.
- **Gevaren door verminderd zicht:** Zweefvliegen is alleen toegestaan als aan de zichtvoorschriften wordt voldaan. Mist, nevel, rook en belemmeren het zicht. Vooral bij landen tegen de zon.

3.10 METEO INFORMATIE

Tegenwoordig zijn er prima sites met meteo-informatie. Elke zweefvlieger kan nu zelf bepalen of het Hammerwetter wordt of jojo-weer. Vroeger was het weer het terrein van de ddi (dienstdoende instructeur). Hij bekeek teletekst pagina 707, belde de meteoman van het vliegveld, noteerde snel de telefonische meteo-informatie en dat gaf hij door op de zweefvliegbriefing. Mocht tijdens de dag blijken dat het weer toch heel anders was dan 's morgens op de briefing verteld, dan kreeg de meteoman van de toren de schuld. Tegenwoordig zit er in het weekend geen meteoman of vrouw meer op de toren. Maar elke zweefvlieger heeft nu zelf radarbeelden en alle benodigde meteo-informatie op het internet. Onder de knop zweefvliegweer op zweefvliegopleiding.nl vind je sites die je kunt gebruiken om te bepalen of het goed en veilig zweefvliegweer zal worden. Dit hoofdstuk is door EASA onderverdeeld in:.

3.10.1 Waarnemingen

3.10.2 Weerkaarten

3.10.3 Informatie voor vluchtplanning

3.10.4 Meteorologische diensten

3.10.1 WAARNEMINGEN

- Uitschieters zoals weergegeven in METAR's en TAF's
- Zicht, grondzicht en verticale zicht
- De bewolking die genoemd kan worden in METAR en TAF (CB en TCU)
- Bedekkingsgraad
- Wolkenbasis
- Gegevens radiosonde / hoogte bewolking, wind en temperatuur
- Satellietgegevens
- Weerradargegevens
- Weergegevens van vliegtuigen

Weerbericht voor de kleine luchtvaart

De meeste informatie komt nog steeds van de KNMI en dan vooral van de site met het weerbericht voor de kleine luchtvaart. In de rechter kolom zie je hyperlinks naar de METAR en de TAF. Hier kun je per vliegveld de situatie en de verwachting opvragen. Je vindt die informatie ook terug op teletekst pagina 707. Bij teletekst is deze informatie verdeeld over de volgende pagina's:

Pagina 1 Op deze pagina wordt de tijd aangegeven in UTC (Universal Time Coordinated). De tijd die in de hele wereld in de luchtvaart gebruikt wordt. Voor berekening van de lokale Nederlandse tijd tel je hier 's zomers 2 uren bij en 's winters 1 uur.

Pagina 2 De windsterkte wordt uitgedrukt in knopen. Bij de nieuwsberichten en de tv gebruikt men vaak de schaal van Beaufort om de windkracht aan te geven. In het schema in paragraaf 3.2.1 kun je lezen waar dat mee overeenkomt.

Pagina 3 Dit is voor zweefvliegers een interessante pagina, want het vermeldt de verwachte maximum dagtemperatuur en de temperatuur van de hogere luchtlagen. Deze bepalen of er thermiek is, hoe hoog de thermiek zal gaan en hoe sterk die thermiek wordt.

Pagina 4 Op deze pagina wordt een weersverwachting voor de volgende dag gegeven. Deze pagina wordt pas tegen de avond geplaatst.

Pagina 5, 6 en 7 geeft de METAR van de vliegvelden.

METAR is een afkorting voor Meteorologische Airodrome Report. Om snel de METAR van een vliegveld te vinden kun je deze site gebruiken. Je zoekt daar de code voor een bepaald vliegveld. Bijvoorbeeld:

EHKD = De Kooy	EHTW = Twente
EHFS = Vlissingen	EHDL = Deelen
EHAM = Schiphol	EHSB = Soesterberg
EHRD = Zestienhoven	EHGR = Gilze-Rijen
EHGG = Eelde	EHEH = Eindhoven
EHBK = Beek	EHVK = Volkel
EHLW = Leeuwarden	EHVB = Valkenburg (ZH)

Hier zie je een voorbeeld:

2010/01/01 09:55

EHLW 010955Z AUTO 04007KT 9999NDV BKN029 B KN032 M00/M03 Q1002 BLU

EHLW = Leeuwarden 010955Z = 1 januari 9.55 uur zulu is 10.55 uur

AUTO = dit bericht is automatisch tot stand gekomen

040 is de windrichting en 07 KT de windsnelheid.

De windrichting wordt in graden van de windroos weergegeven bijv. 090 = 90 graden = oostenwind. Vrb = variabel = zwakke wind uit verschillende richtingen. De windrichting wordt gevolgd door de windsnelheid in knopen. Achter de schuine streep staat soms een getal. Dit getal geeft de uitschieters aan. 18025/35 betekent: wind uit het zuiden met een gemiddelde van 25 knopen en uitschieters tot 35 knopen.

9999 NDV = het zicht is meer dan 10 km en NDV (No Directional Variation) in één richting gemeten.

BKN 029 = broken = 5/8 is meer dan half bewolkt en de bewolking zit op 2900 ft en BKN032 = broken op 3200 ft

M00 / M03 = temperatuur 0°C en dauwpunt -3°C (de M geeft aan dat het onder nul is)

De bedekkingsgraad wordt weergegeven met:

SKC =	sky clear =	0/8 =	onbewolkt
FEW =	few =	1/8 – 2/8	bijna geen bewolking

SCT =	scattered =	3/8 - 4/8 =	half bewolkt
BKN =	broken =	5/8 - 7/8 =	meer dan half bewolkt
OVC =	overcast =	8/8 =	geheel bewolkt

en daarbij de wolkenbasishoogte in eenheden van 100 voet (dus 030 = 3000 ft).

Q1002 = de luchtdruk is 1002 hPa.

Blu = het zicht is goed: groter dan 8 km en de wolkenbasis is hoger dan 2500 ft

De betekenis van de colourstate is:

		zicht		**wolkenbasis**
blu =	blue =	> 8 km	en	> 2500 voet
wht =	white =	> 5 km	en / of	> 1500 voet
grn =	green =	> 3,7 km	en / of	> 700 voet
ylo =	yellow =	> 1,8 km	en / of	> 500 voet
amb =	amber =	> 0,9 km	en / of	> 200 voet
red =	red =	< 0,9 km	en / of	< 200 voet

Soms worden de volgende termen gebruikt of daaraan toegevoegd:

Cavok =	clouds and visibility OK
Nosig =	no significant changes
Gradu =	een geleidelijke verandering naar bijv. wht
Tempo =	een verandering binnen een uur
Rapid =	een snelle verandering
Inter =	een verandering van tijd tot tijd
Tend =	tenderend naar

Veel voorkomende afkortingen voor het weer zijn:

br = nevel	gr = hagel	sg = motsneeuw
dz = motregen	hz = heiigheid	sh = bui
fc = water-of windhoos	pe = ijsregen	sn = sneeuw
fg = mist	po = zandhoos	sq = windstoten
fu = rook	ra = regen	sa = zandstorm
ts = onweer	mi = grond....	

Soms worden deze letters gevolgd of voorafgegaan door een toevoeging:

bc=banken	fz= onderkoeld	re =in het afgelopen uur
bl =drift	mi=grond.....	xx =zware ....

bijv. rash betekent: regenbui (rainshower) xxsn betekent: zware sneeuwval

st = stratus	ac = altocumulus
sc = stratocumulus	cu = cumulus
as = altostratus	cb = cumulonimbus
ns = nimbostratus	ci = cirrus
cs = cirrostratus	tcu = towering cumulus

Hier onder zie je de metar van vliegveld Deelen van donderdag 26 september 2019 opgevraagd om 12:55 uur:

METAR EHDL 261025Z AUTO 18010KT 110V220 7000 SHRA SCT006 BKN007

BKN008 FEW015CB 16/16 Q1007 YLO=

Voor het vak meteorologie moet je bekend zijn met de onderdelen van de metar:

soort bericht	**METAR**	Meteorlogische Airodrome Report
plaats	**EHDL**	Europe Holland Deelen
datum / tijd	**261025Z**	26 september om 10:25 uur ZULU tijd. Er moet zomers twee uur bij geteld worden dus 12:25 uur.
	AUTO	Een automatisch opgemaakt bericht
wind	**18010kt**	De wind komt uit richting 180 met een kracht van 10 knopen.
	110V220	De wind gaat tussen richting 110 en 220 heen en weer.
zicht	**7000**	Het zicht is 7000 meter.
significant weer	**SHRA**	SH = shower = een bui en RA = rain = regen.
Bewolkings-graad	**SCT006** **BKN007** **BKN008** **FEW015CB**	SCT = scattered = 3/8 - 4/8 bewolking op 600 voet. BKN = broken = 5/8 - 7/8 bewolking op 700 voet. BKN = broken = 5/8 - 7/8 bewolking op 800 voet. FEW = few = 1/8 - 2/8 CB = cumulonimbus op 1500 voet
temperatuur en dauwpunt	**16/15**	de temperatuur is 16° C, het dauwpunt is 15°C
QNH	**Q1007**	De QNH (luchtdruk op zeeniveau) is 1007 hPa
Colourstate	**YLO**	Het zicht is groter dan 1,8 km en de wolkenbasis is hoger dan 500 ft

TAF

In tegenstelling tot een METAR die de huidige weersomstandigheden op een vliegveld aangeeft is een TAF een weersverwachting in de buurt van het vliegveld voor een bepaald aantal uren, vaak 3 of 6 uur

vooruit. De TAF (Terminal Aerodrome Forecast) wordt door de meteoroloog van het vliegveld gemaakt. Niet elk vliegveld geeft altijd een TAF. Hieronder volgt de TAF van vliegveld Volkel van 26 september 2019.

FC260900 EHVK VOLKEL/VOLKEL NLD 21 m.

TAF EHVK 260805Z 2609/2621 19010KT 9999 SCT008 BKN012

TEMPO 2609/2616 3000 DZRA SCT005 BKN008

BECMG 2616/2618 SCT015 BKN018

TEMPO 2616/2621 4500 SHRA FEW010 SCT015CB

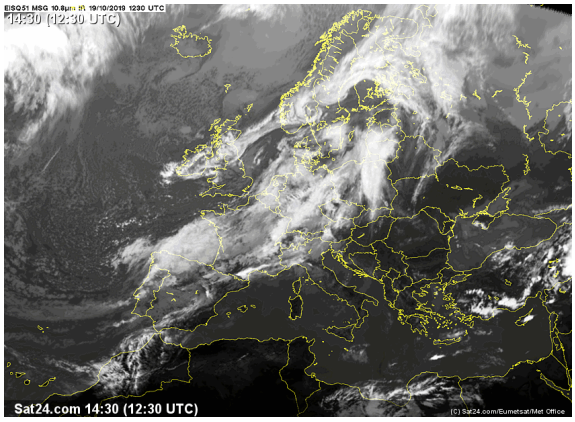
soort bericht	**TAF**	Terminal Aerodrome Forcast = de weersverwachting voor de luchthaven
plaats	**EHVK**	Europe Holland Volkel
datum / tijd	**26805Z**	26 september om 8:05 uur ZULU tijd. Er moet zomers twee uur bij geteld worden dus 10:05 uur.
Weersver-wachting voor	**2609/2621**	9 tot 21 uur
wind	**19010kt**	De wind komt uit richting 180 met een kracht van 10 knopen.
zicht	**9999**	Het zicht is 9999 meter. Dus goed zicht.
Bewolkings-graad	**SCT008** **BKN012**	SCT = scattered = 3/8 - 4/8 bewolking op 800 voet. BKN = broken = 5/8 - 7/8 bewolking op 1200 voet.
TEMPO	**2609/2616**	tijdelijk van 9 t/16 UTC zicht 3000 m en DZRA = motregen, bewolking SCT005 (500 voet) en BKN op 008 (800 voet)
BECM	**2616/2618**	wordt van 16 tot 18 uur UTC SCT015 en BKN0180
TEMPO	**2616/2621**	tijdelijk van 16 t/m 21 UTC zicht 4500 voet, SHRA = regenbui en bewolking FEW010 (1000 voet) en SCT015CB en cumulonimbusbewolking op 1500 voet.

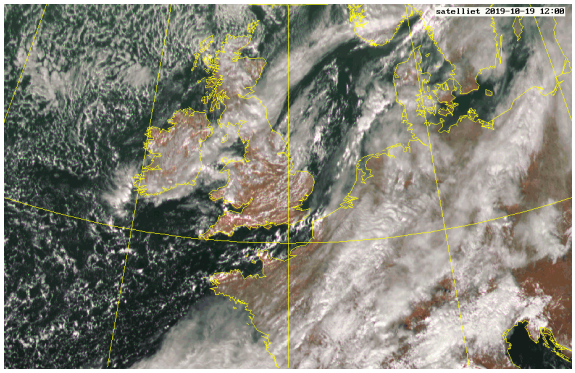
Met mobiel internet is het mogelijk om vlak voor je vlucht nog even het laatste weer te checken. Op de gratis APP StationWX en op AeroWeather kun je op je mobiel per vliegveld zien hoe hard het waait, uit welke richting en je vindt er de METAR en de TAF van het vliegveld.

Satellietgegevens en weerradargegevens

Op veel sites kun je satellietgegevens en weerradargegevens vinden. Zie bijvoorbeeld www.zweefvliegopleiding.nl/zweefvliegweer.

Zo vind je daar beelden van de site www.sat24.com, van het knmi en van buienradar.





Zweefvliegers kunnen ook inloggen op www.luchtvaartmeteo.nl Je krijgt toegang door:

1)in het eerste inlogscherm in te tikken: KZ (afkorting voor KNVvL Zweefvliegen) gevolgd door je KNVvL-lidmaatschapsnummer. (bv: KZ123456)
2)In het volgende scherm voer je als password je achternaam in hoofdletters in. Het password is de (eerste) achternaam in hoofdletters, zonder voorvoegsels en zonder leestekens Je kunt daar klikken op Satellite en dan kiezen voor infrared satellietbeelden, die laat alleen de dikke bewolking zien en visual die laat alle bewolking zien tijdens de daglichtperiode. Je kunt daar ook de verplaatsing van de wolken gedurende de laatste drie uur zien.

Radiosonde

Bij weerstations zoals het KNMI laten ze elke dag twee keer een weerballon met een radiosonde zo'n 20 à 30 km hoog de lucht in gaan. De weerballon meet tijdens

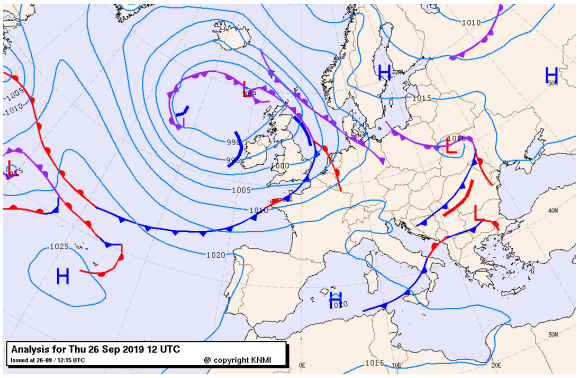
het stijgen de temperatuur, de luchtvochtigheid en de luchtdruk. Die gegevens worden radiografisch naar het KNMI gestuurd. Ondertussen drijft de ballon met de wind mee en daardoor worden de windrichting en windsnelheden op verschillende hoogtes berekend.

Weergegevens van vliegtuigen

Wereldwijd leveren vliegtuigen gegevens over temperatuur, wind en luchtdruk op vlieghoogte (10 tot 12 kilometer). Tijdens het opstijgen en het landen leveren ze ook gegevens over de onderste luchtlagen bij vliegvelden. Deze gegevens gaan naar alle nationale meteorologische diensten, zoals het KNMI en worden gebruikt voor het maken van weersverwachtingen.

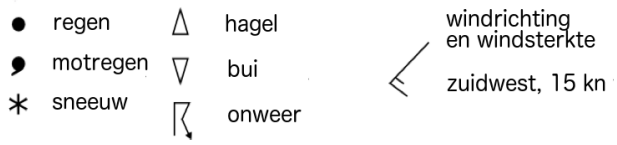
3.10.2 WEERKAARTEN

Op deze site van de KNMI vind je de weerkaarten voor komende dagen. Bij het bestuderen van het weer voor jouw zweefvliegdag begin je met die weerkaarten. Waar liggen hoge- en lagedrukgebieden. Waar bevinden zich fronten en hoe verschuiven die de komende 12 en 24 uur. Wanneer je daarna het weerbulletin van het KNMI leest en de weerkaart erbij hebt, dan zie je wat ze in het bulletin beschrijven.



Hierboven zie je de KNMI-weerkaart van donderdag 26 september 2019 om 12 UTC. Een warmtefront passeert, vervolgens komen we in de warme sector achter het warmtefront en nadert er een koufront. Een uitleg van de gebruikte tekens vind je ook op de site van het KNMI.

Enkele veel gebruikte symbolen die op weerkaarten voorkomen zie je hieronder. De windkracht en windrichting wordt weergegeven door een windvaan. De lange streep geeft de windrichting aan de korte streepjes geven het aantal knopen aan. Een kort streepje is 5 knopen en een iets langere is 10 knopen. De windrichting hieronder is dus zuidwest en de windkracht is 15 knopen. Staat er een driehoekje onderaan de de windvaan dan geeft dat 50 knopen weer.



3.10.3 INFORMATIE VOOR VLUCHTPLANNING

- Weerbericht voor de luchtvaart
- Meteorologische uitzendingen voor de luchtvaart
- Gebruik van meteorologische documenten (informatie voor de bemanning voor de vlucht en tijdens de vlucht)
- Waarschuwingen

Eén van de taken van een gezagvoerder van een vliegtuig is dat hij zich op de hoogte stelt van het weer in het gebied waar hij een vlucht maakt. Het is dus een vast onderdeel van de vluchtplanning. Allereerst bestudeert hij het weerbericht voor de luchtvaart en de weerkaarten zoals hierboven omschreven.

Als je een RT-licentie hebt, kun je aan elke luchtverkeersleider vragen hoe het weer onderweg of bij een vliegveld is. De frequenties van de luchthavens op jouw route vind je in de AIP.

Het is ook mogelijk om met je radio de ATIS (Automatic Terminal Information Service) van gecontroleerde luchthavens te beluisteren. Een ATIS is een continu herhaalde radio-uitzending met vooral lokale weersinformatie. De ATIS wordt elk half uur ververst en eerder als er zich een belangrijke wijziging voor doet. Hieronder zie je de frequenties waarop de ATIS van de belangrijkste Nederlandse luchthavens wordt uitgezonden:

- EHAM (Amsterdam) 132.975 MHz
- EHBK (Maastricht) 124.575
- EHGG (Groningen) 133.550
- EHRD (Rotterdam) 110.400

Een ATIS bericht heeft vaak de volgende opmaak:

1. Naam vliegveld en identifier (= letter A t/m Z) van de ATIS. De identifier wisselt steeds wanneer er een nieuwe ATIS uitkomt. Bij het aanvliegen van het vliegveld noem je dan ook welke ATIS je ontvangen hebt bijvoorbeeld door te zeggen: ***"Information Lima received."***
2. De tijd

3. De baan in gebruik en eventueel welke instrument arrival (= IFR aanvliegroute, niet voor zweefvliegen/motorzweven!)
4. Het Transition Level
5. De windrichting en snelheid in knopen
6. Het zicht in kilometers
7. De bewolking in voeten
8. De temperatuur en dauwpunt
9. De QNH
10. Het vooruitzicht
11. Eventuele NOTAM's

Deze volgorde kan per vliegveld anders zijn, houd er dus rekening mee dat geen enkel ATIS-bericht hetzelfde is. Een ATIS-bericht kan er als volgt uit zien:

Naam vliegveld en identifier	***This is Schiphol arrival Information Lima,***	*Schiphol aankomst informatie Lima ,*
De tijd	***at time one three three zero (1330),***	*gemaakt op 1330,*
De baan in gebruik	***main landing Runway zero six (06),***	*baan 06 in gebruik voor landingen,*
Het Transition Level	***Transition Level four zero (40),***	*Transition Level 40,*
De windrichting en snelheid in knopen	***wind zero five zero five (050/5), maximum one five (15), variable between zero one zero (010) and one zero zero (100),***	*windrichting op de baan variabel tussen 010° en 100° gemiddeld 050° sterkte 5 knopen met uitschieters naar 15 knopen,*
Het zicht in kilometers	***visibility one zero (10) kilometers***	*zicht meer dan 10 kilometer,*
De bewolking in voeten	***clouds few one-thousand five hundred (1500), broken three thousand (3000),***	*bewolking 1/8e a 2/8e op 1500ft (ongeveer 500 meter) en 5/8e a 6/8eop 3000ft (ongeveer 1000 meter),*
De temperatuur Het dauwpunt	***temperature two zero (20), dewpoint one zero (10),***	*temperatuur 20° Celsius, dauwpunt 10° Celsius,,*
De QNH	***QNH one zero one four (1014),***	*QNH 1014,*
Het vooruitzicht	***NOSIG,***	*geen significante veranderingen,*
Eventuele NOTAM's	***caution birds in the vicinity of the airport.***	*Pas op voor vogels in de buurt van het vliegveld.*

Probeer tijdens het vliegen een ATIS bericht zo kort mogelijk op een blaadje te schrijven. Je bent hier helemaal vrij in. Een voorbeeld:

AMS ARR L 1330Z RWY06 TL40 050/5G15 010/100 10km FEW1500 BKN3000 20/10 QNH1014 NOSIG birds

Op deze manier kun je, na een beetje oefenen, een bericht snel opschrijven en heb je meer tijd om je op het vliegen te concentreren.

Heb je een RT-bevoegdheid dan kun je tijdens de vlucht in Nederland weerupdates opvragen bij **Dutch Mil Info** en **Amsterdam Information**.

Tijdens een vlucht kun je op je smartphone via het internet satellietbeelden bekijken of de weergegevens van een vliegveld waar je in de buurt bent.

3.10.4 METEOROLOGISCHE DIENSTEN

- SIGMET
- AIRMET

Een SIGMET en een AIRMET worden alleen bij de grote luchtvaart gebruikt en niet bij bij het zweefvliegen.

SIGMET
Een SIGMET (Significant Meteorological Information) is een waarschuwing voor de commerciële luchtvaart. Dit weerrapport waarschuwt voor gevaarlijke weersverschijnselen onderweg. Bijvoorbeeld voor onweer, ijsaanzetting, turbulentie, vulkanische as, enzovoorts.

AIRMET
Een AIRMET (Airmen's Meteorological Information), is een beknopte beschrijving van de weersverschijnselen die zich voordoen of voor kunnen doen langs een luchtroute.

Literatuur

- Eerst weten dan zweven, vierde druk , 1973
- Theorie van het Zweefvliegen, KNVvL, Afdeling Zweefvliegen, 1995
- Meteorologie voor zweefvliegers, Yvonne van der Meer-Balster
- Meteorologie van de Liga van Vlaamse Zweefvliegclubs, 2017.
- De wereld van het weer, Teleac, ISBN 90-6533-390-8
- Nordian AS (2008), Meteorology, Sandefjord: Nordian AS, ISBN 978-82-8107-086-2
- Thuis in de lucht, Dennis Pagen, tweede druk, ISBN 90-9017677-2
- Corporaal, D.R. (2018), Zweefvliegen Elementaire Vliegopleiding, Harlingen: Flevodruk.
- Corporaal, D.R. (2003), Zweefvliegen Voortgezette Vliegopleiding.
- www.zweefvliegopleiding.nl
- Het weer van morgen, Dieter Karnetzki
- Meteorologie voor iedereen, Kees Floor, www.keesfloor.nl/weerkunde

COLOFON

Tekst:	Dirk Corporaal, Stiens, laatste versie 20 november 2019
Illustraties en vormgeving:	Dirk Corporaal, boek Theorie van het zweefvliegen, Henk Jukkema en het internet.
Copyright:	Dirk Corporaal, Stiens

Behoudens uitzonderingen door de Wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de schrijver, illustrator of fotografen niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins.

Save exceptions stated by the Law no part of this publication may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or other means, without the prior written permission of the author, illustrator and photographers.