

# Het Weer

## Vereenvoudigd

Heinrich Wilhelm Klöpping

© 2016 Molenstichting Midden- en Oost-Groningen (MSMOG)

Dit werk valt onder de Common Criteria BY-NC-SA 4.0 licentie. Je bent vrij om dit werk te delen — te kopiëren, te verspreiden en door te geven via elk medium of bestandsformaat, het werk te bewerken — te herschikken, te veranderen en er afgeleide werken van te maken, maar onder de volgende voorwaarden: de gebruiker dient de maker van het werk te vermelden, een link naar de licentie te plaatsen en aan te geven of het werk veranderd is. Je mag dat op redelijke wijze doen, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat de licentiegever instemt met je werk of je gebruik van het werk. Je mag het werk niet gebruiken voor commerciële doeleinden. Als je het werk hebt herschikt, veranderd, of op het werk hebt voortgebouwd, moet je het veranderde materiaal verspreiden onder dezelfde licentie als het originele werk. De licentiegever (MSMOG) kan deze toestemming niet intrekken zolang aan de licentievoorwaarden voldaan wordt.

De volledige voorwaarden zijn te lezen op <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/nl/legalcode>



# Inhoudsopgave

Inleiding.....	3
Deel I – de wind.....	4
Moleculen.....	4
Dunne lucht stijgt op.....	5
De bron is de zon.....	5
Een simpel circulatiemodel.....	6
Corioliseffect.....	6
Een beter model van de aarde.....	7
Drie dimensies.....	8
Straalstromen.....	8
Het model is niet de werkelijkheid.....	10
De seizoenen.....	10
Luchtlagen.....	10
Coriolis en lucht.....	11
Buys Ballot.....	11
Beaufort.....	11
Deel II – neerslag.....	13
Condensatie.....	13
Relatieve luchtvochtigheid.....	14
Fronten.....	14
Wolken.....	15
Soorten wolken.....	15
Regen, hagel en sneeuw.....	16
Buienwind.....	17
Hoe mengen luchtsoorten.....	17
Op- en afbouw van depressiefronten.....	18
Frontkarakters.....	18
Weerkaarten.....	19
Deel III – de molenaarspraktijk.....	20
Duiding van een weerkaart.....	20
Krimpen en ruimen.....	21
Nadering van een warmtefront.....	21
Nadering van een koufront.....	21
Depressie trekt ten noorden voorbij.....	22
Depressie trekt ten zuiden voorbij.....	22
Depressie trekt recht over.....	22
Onweer.....	23
Dagelijkse gang.....	23
Zeewind.....	24
Meetinstrumenten in de molen.....	24
Moderne tijden.....	25
Naschrift.....	26
Bijlage – de weermeter.....	27
Bijlage - errata en dankbetuigingen.....	28

# Inleiding

Doel van deze handleiding is op een eenvoudige, compacte manier het weer aan leerlingen uit te leggen. Wat we in deze pagina's opnemen geeft een voldoende basis om met succes het examen en daarna de praktijk te doorstaan.

We maken in de eerste zes weken gebruik van deze handleiding – en geen andere. Daarna hebben we een goede basis gelegd en kun je als je dat wilt je verder verdiepen in het weer, bijvoorbeeld door bestudering van het Gildemateriaal.

In het basismateriaal van het Gilde wordt het weer in hoofdstuk 8 behandeld. Omdat dit hoofdstuk niet altijd helder was heeft het GVM in 2016 nog een aanvullend katern "Het Weer" uitgebracht.

Hou in de gaten: een molenaar is geen meteoroloog. In de praktijk kijken molenaars vooral in de lucht en handelen naar wat ze daar zien. Zo gaat het al eeuwen. Maar het helpt wel – en is ook leuk – als je wat meer van de theorie rond het weer begrijpt. Daar gaan we samen in de komende tijd aan werken.

Slochteren, oktober 2016,

Henk Klöpping

Naschrift februari 2024: inmiddels heeft het GVM opnieuw een verbeterde versie van hoofdstuk 8 gepubliceerd.

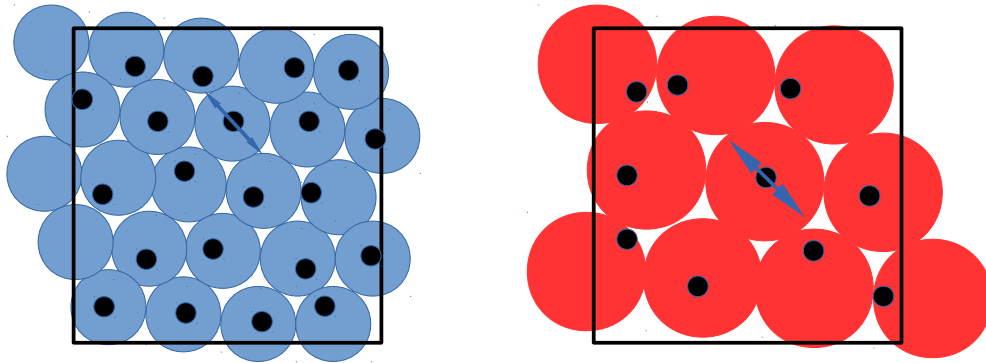
## Deel I – de wind

De molen is op de wind gezet en je gaat zeilen voorleggen. Er staat een mooie wind. Maar wat is eigenlijk "wind"? Onze aarde heeft een atmosfeer die bestaat uit een aantal gassen, we noemen dat eenvoudig "lucht". Die lucht staat niet stil. De bewegende lucht noemen we "wind". Onze molens kunnen alleen maar werken door die wind. Het is daarom goed er iets meer van te weten.

### Moleculen

Alle materie bestaat uit moleculen. Moleculen zijn heel klein maar hebben nog nét alle eigenschappen van de stof die ze vormen. Hun grootte wordt uitgedrukt in nanometer: één miljardste meter. Lucht is een verzameling van verschillende soorten moleculen, voornamelijk stikstof (78%) en zuurstof (21%).

Die moleculen bewegen ten opzichte van elkaar. Als moleculen meer bewegen hebben ze voor die beweging meer plaats nodig. En moleculen gaan meer bewegen als we energie toevoegen, bijvoorbeeld zonne-energie. We kunnen dat voelen: dan voelt de lucht warm.



In de figuur zie je de moleculen getekend als zwarte puntjes. Die moleculen bewegen zich ten opzichte van elkaar. Het gebied waarin ze zich bewegen is hierboven als een cirkel getekend.

Het vakje in de beide figuren is even groot. Links zie je dat er 21 moleculen in het vakje passen. Als de lucht warmer wordt, gaan de moleculen wilder bewegen en duwen elkaar van elkaar weg. Dat zie je rechts getekend. Nu passen er nog maar 10 moleculen in hetzelfde vakje. Als de lucht veel moleculen bevat per liter spreken we over "een dichte lucht". Bevat de lucht weinig moleculen per liter spreken we over "dunne lucht". Omdat er bij een dunne lucht veel minder moleculen tegen je zeil slaan dan bij een dikke lucht zal de molen minder snel draaien. Op een warme dag is er een grotere snelheid van de wind nodig om dezelfde kracht uit te oefenen op je zeil dan wanneer de lucht "dikker" is.

## Dunne lucht stijgt op

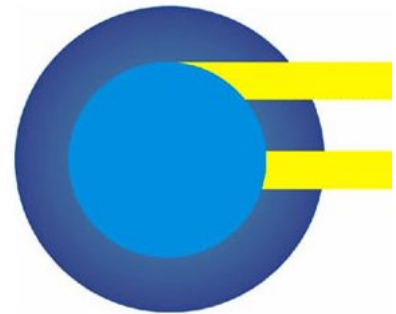
Wat lichter is drijft boven – en dat is met lucht niet anders. Als er minder moleculen per liter in lucht zitten is die liter lucht lichter dan de omringende lucht. Door de energie van de snel bewegende moleculen duwt de lichtere lucht zich omhoog door de dichtere lucht. Warme lucht (dunne lucht) stijgt op.

We kennen dit fenomeen natuurlijk wel: rook boven het vuister stijgt op, de hete lucht boven je gaspit of kaarsvlam, de trillende hete, opstijgende lucht boven het asfalt.

## De bron is de zon

Eigenlijk zijn molens heel modern. Want ze maken gebruik van zonne-energie. Dat klinkt onlogisch: het is toch de wind die de molens aandrijft? Inderdaad. Maar wind ontstaat uit verschil in druk. Verschil in druk ontstaat door verschil in temperatuur. En verschil in temperatuur ontstaat doordat de zon sommige delen van de aarde meer verwarmt dan andere. De windmolen is eigenlijk een zonnemotor.

Hiernaast zie je een vereenvoudigde weergave van onze planeet: de lichtblauwe bol in het midden. Daaromheen hebben we de atmosfeer getekend: de donkerblauwe cirkel. De twee gele lijnen zijn even breed en stellen zonlicht voor dat vanaf de zon door de atmosfeer heen op de aarde valt.



Hoe donkerder een oppervlak is, hoe meer warmte van de zon het opneemt. De lucht is vrijwel transparant en warmt nauwelijks op door de zonnestrallen die er letterlijk doorheen vallen. Maar de aarde eronder is veel donkerder en neemt de energie van de zon goed op. Die wordt heet. Die hitte warmt op zijn beurt de lucht erboven op.

Wat je goed kunt zien is dat de onderste gele lijn veel minder oppervlak van de aarde beschijnt dan de bovenste. De zon schijnt met meer kracht per vierkante meter op de evenaar dan op de polen. De aarde en de lucht erboven worden op de evenaar veel warmer dan op de pool.

Warme lucht stijgt op. De verplaatsing van die lucht kost energie, daardoor koelt de lucht geleidelijk af – de moleculen gaan steeds minder bewegen en komen steeds dichters op elkaar. De lucht wordt letterlijk zwaarder en daalt uiteindelijk neer.

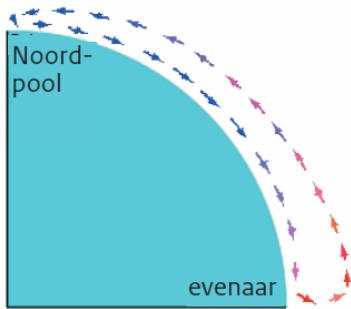
Dat gebeurt ook op de aarde: de lucht op de evenaar stijgt op en daalt even verderop, waar het koeler is, weer neer.

Als warme lucht opstijgt ontstaat er een lagere druk. Daardoor wordt van onderen lucht aangezogen over het aardoppervlak. Die bewegende lucht - dat is wind.



## Een simpel circulatiemodel

De wind zou met wat we nu weten heel eenvoudig voorspelbaar moeten zijn: we hebben opwarming aan de evenaar en afkoeling naarmate we dichter bij de polen komen. Warme lucht moet bij de evenaar opstijgen en dan bij de pool weer naar beneden komen. De luchtstroom die ontstaat op het aardoppervlak loopt altijd van noord naar zuid.



De figuur hiernaast (bron: KNMI) geeft zo'n eenvoudige circulatie weer. Dit eenvoudige model werd door Hadley voorgesteld en heet naar hem een *Hadley cel*

Maar dat stelt ons voor een raadsel: we zouden dan verwachten dat de wind altijd van noord naar zuid zou waaien, altijd een noordenwind.

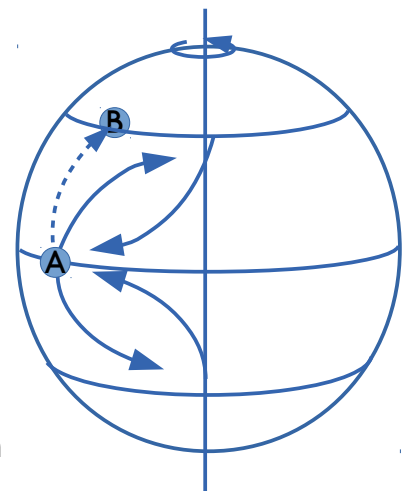
Dat is niet zo, dat weten we uit observatie. We zien ook wel westen-, oosten- en zelfs ZUIDENwinden! Hoe kan dat dan?

## Corioliseffect

De voornaamste reden dat we niet constant een noordenwind hebben is het Corioliseffect. Dat effect zorgt er voor dat luchtstromen op het noordelijk halfrond een afwijking naar rechts krijgen.

Iemand schiet een raket vanaf de evenaar naar het noorden. Hij stuurt de raket in een rechte lijn op Groningen af. Tot onze opluchting mist hij de Stad – en komt honderden kilometers ten oosten uit.

Toen de raket werd afgevuurd was dat wel degelijk goed naar het noorden. Maar de raket staat op de evenaar en beweegt naar het oosten met een snelheid van 1600 km/u. Daarom krijgt de raket niet alleen een noordwaartse snelheid (richting Groningen), maar hij houdt ook zijn originele oostwaartse snelheid. Het doelwit in Groningen heeft een oostwaartse snelheid die *lager* is dan de oostwaartse snelheid van de raket. De raket gaat sneller oostwaarts dan het doelwit. Daardoor zal de raket, vanuit de evenaar gezien, naar rechts afwijken.



Er is sprake van een zijwaartse afbuiging naar rechts, gezien in de richting van de beweging. Dat geldt ook voor de wind:

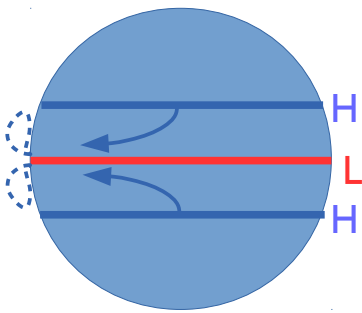
Zuidenwind wijkt af naar het oosten, noordenwind naar het westen, westenwind wijkt af naar het zuiden, en oostenwind wordt naar het noorden afgebogen. Op het zuidelijk halfrond is het net andersom, daar wijkt alles naar links af.

Als een voorwerp vanaf de evenaar naar de noordpool vliegt en de kromming van de aarde volgt ontstaat, op het noordelijk halfrond een afwijking naar Rechts, op het zuidelijk halfrond naar links. Voor de bepaling van de richting dien je met het voorwerp mee te bewegen; als de raket van zuid naar noord vliegt is 'rechts' dan een afwijking naar het oosten.

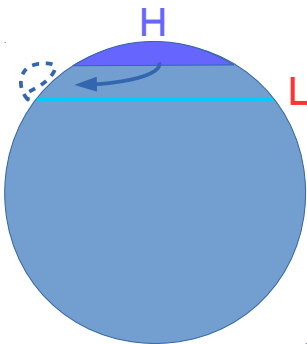
*Coriolis* spreek je uit als "kooh-rie-ooH-LIESS", met de klemtoon op de laatste lettergreep en een hoorbare 'es' aan het eind. Engelsen gebruiken vaak "korrieOOles".

## Een beter model van de aarde

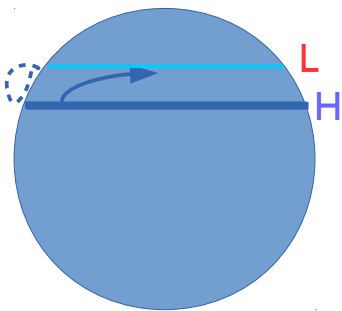
Met wat je nu weet kun je al een beter model van onze aarde maken. Dat model is bruikbaar om de grote luchtbewegingen op onze planeet te begrijpen.



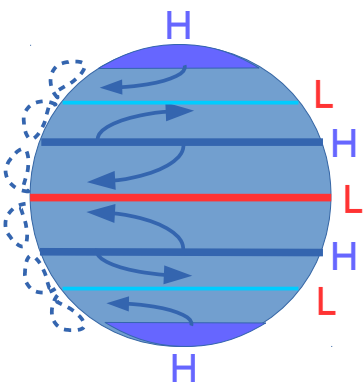
*De zon verwarmt de evenaar het felst.* Daar ontstaat een permanent lagedrukgebied (opstijgende **L**auwe lucht). Wat opstijgt moet noodzakelijkerwijs weer neerkomen en dat gebeurt dan ook, typisch op 30 breedtegraden van de evenaar. Daar geldt **H**oge druk. Die druk leidt tot een luchtstroom over het aardoppervlak (blauwe pijlen). De afwijking naar rechts op het noordelijk- en naar links op het zuidelijk halfrond zorgt voor oostenwinden rond de evenaar.



*Op de polen is het altijd koud,* daar is de lucht koud en drukt stevig op de aarde: een **H**oge druk gebied. Als die massa toeneemt, bijvoorbeeld in de winter, kan die koude lucht nergens anders heen dan over het aardoppervlak naar het zuiden, Er ontstaan dan noordelijke winden die door het Corioliseffect naar rechts worden gebogen: oostenwind.



Hoe het in de tussenliggende zone gaat volgt uit de circulatie in het noorden en aan de evenaar. De lucht stijgt op rond de 60e breedtegraad en daalt neer rond de 30e. Vanaf de 30e gaat de lucht dan weer over de grond noordwaards met een afbuiging naar rechts: westenwinden.



Het totaal plaatje zie je hier. De Hadleycel loopt van de evenaar tot de 30e breedtegraad. De cel tussen de 30e en 60e breedtegraad heet "Ferrelcel". En die tussen 60° en de pool heet "Polaire cel". De Ferrelcel heeft een circulatiepatroon dat veroorzaakt wordt door de interactie tussen de Hadley- en de Polaire cel.



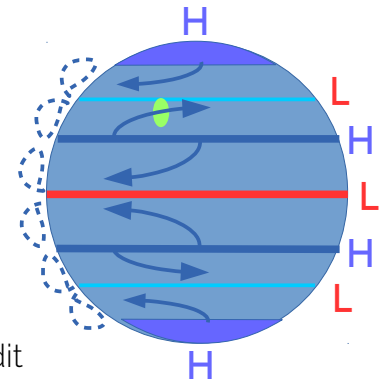
De aarde is niet de enige planeet waar het Corioliseffect invloed heeft op het weer. Hiernaast zie je een plaatje van de planeet Jupiter, waarop duidelijk te zien is dat er veel meer 'banden' zijn dan bij ons op de Aarde. Dat komt omdat Jupiter veel groter is en ook nog sneller draait (eens per 9.9 uur).

De omvang van de (aard)bol en de rotatiesnelheid bepalen het aantal banden in de atmosfeer. Er zijn meer dingen van invloed zoals de zwaarte van de gassen in de atmosfeer en de hoek waaronder de aardbol staat ten opzichte van de zon.

## Drie dimensies

Als je nadenkt over het weer moet je je steeds realiseren dat de wereld een bol is en dat de atmosfeer een dikte heeft. De bolvorm zorgt voor afwijkingen in de baan van de lucht – het Corioliseffect.

De dikte van de atmosfeer is voldoende om meerdere luchtstromen te kunnen omvatten – en die zijn bovenin en onderin tegengesteld. Zo waait er op onze breedten een overwegend oostelijke wind in de bovenste lagen van de atmosfeer en een overwegend westelijke wind in de onderste lagen van de atmosfeer. In de figuur rechts is de plaats van Nederland symbolisch aangegeven door een groene vlek.

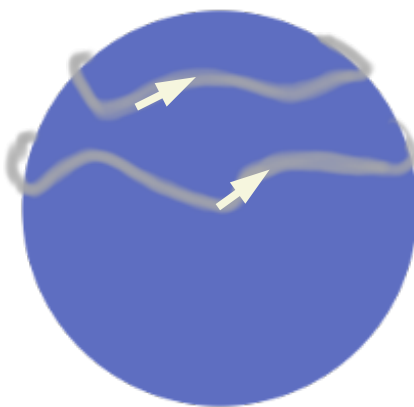


De richting waaruit de wind overwegend komt noemen we "de heersende wind". In Nederland is de heersende wind volgens dit model westelijk. Dat klopt in de praktijk ook, maar..

## Straalstromen

Maar zelfs dit model is niet voldoende om onze waarnemingen te bevestigen. Want wat blijkt: *op grote hoogte* waait er ook nog een stevige wind. Vaak is dat een *westerwind*. Dit werd al in 1926 door de Japanse weerkundige Oishi Wasaburo ontdekt toen deze weerballonnen opliet.

Deze westerwind wordt veroorzaakt door de *straalstroom*. Deze bevindt zich in de atmosfeer tussen 7 en 12 km boven het aardoppervlak. Het is een relatief klein gebied van een paar honderd kilometer breed, waar de wind heel sterk is (vanaf 11 Bft).



Straalstromen komen op beide halfronden van de Aarde voor. In de figuur links zijn die op de noordelijke helft weergegeven. Schematisch, want deze felle wind slingert zich onregelmatig ergens tussen 30 en 70°NB (polaire-) en tussen 20 en 50°NB (subtropische straalstroom). Soms is de band een tijd onderbroken, soms loopt hij zelfs even van oost naar west.

De oorzaak van het optreden van straalstromen is precies dezelfde als die altijd bij wind: temperatuursverschillen. Hoe groter die zijn, hoe sterker de resulterende wind.



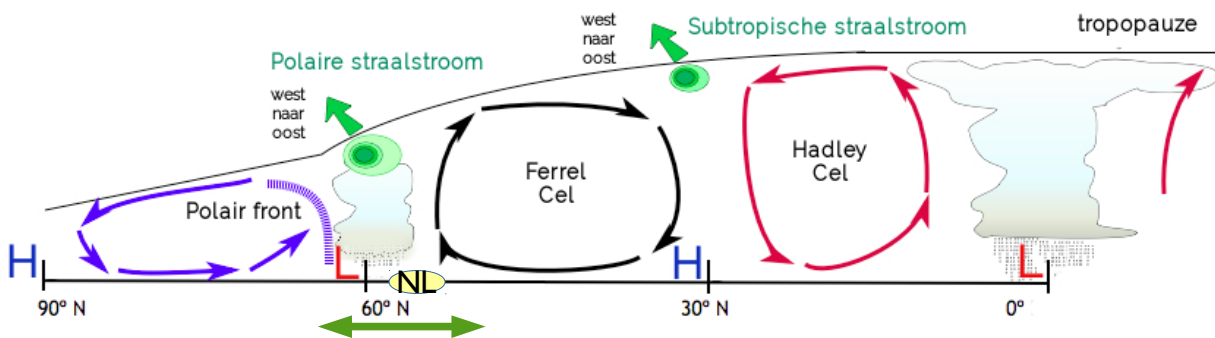
De polaire straalstroom is voor ons van het meeste belang. Hij slingert op grote hoogte boven ons aan de bovenkant van de *troposfeer*.

De troposfeer is de onderste laag van de atmosfeer, waar "ons" weer zich afspeelt. De troposfeer is 9-16 km dik, afhankelijk van de plaats op aarde. In de troposfeer wordt het naar mate je hoger komt steeds kouder, zo'n 7 graden Celsius per kilometer.

Boven de troposfeer is de *stratosfeer* en daarin neemt de temperatuur juist weer toe als we verder naar boven gaan. De stratosfeer loopt tot ongeveer 50 kilometer hoogte.

De grens tussen de troposfeer en de stratosfeer heet "tropopauze".

De straalstromen komen net onder de tropopauze voor, helemaal bovenin de troposfeer. Daar is de koude lucht het koudst is en de temperatuurverschillen met equatoriale lucht zijn daar veel groter dan beneden in de atmosfeer.



In bovenstaande figuur hebben we wat we tot nu toe hebben geleerd samengebracht (bron: CMMAP).

De polaire straalstroom waait naar het oosten omdat de koude poollicht op die hoogte naar het noorden wordt geduwd en die stroom buigt zoals altijd af – met de wind in de rug – naar rechts - het oosten.

Het is een relatief smalle band, omdat de polaire lucht zich met kracht onder de subtropische lucht duwt, wat veel energie kost en maar beperkt lukt. Hoe groot de temperatuurverschillen zijn hangt met name af van het seizoen: in de zomer is het verschil kleiner dan in de winter.



We kunnen zowel voordeel als nadeel van de straalstroom hebben, afhankelijk van waar hij zich bevindt. Soms wordt hij door de interactie tussen de polaire en subtropische lucht naar beneden geduwd en loopt dan ten zuiden van ons, zie de figuur links (bron: Met Office).

Als de straalstroom ten zuiden van ons loopt, trekt hij depressies die op de Atlantische Oceaan worden gevormd naar onze streken en hebben we slecht weer.



Loopt hij ten noorden dan hebben we vaak mooi weer, omdat de depressies die op de Atlantische oceaan gevormd zijn ons niet bereiken, zie de figuur links (bron: Met Office).

## Het model is niet de werkelijkheid

De werkelijkheid is grilliger omdat ..

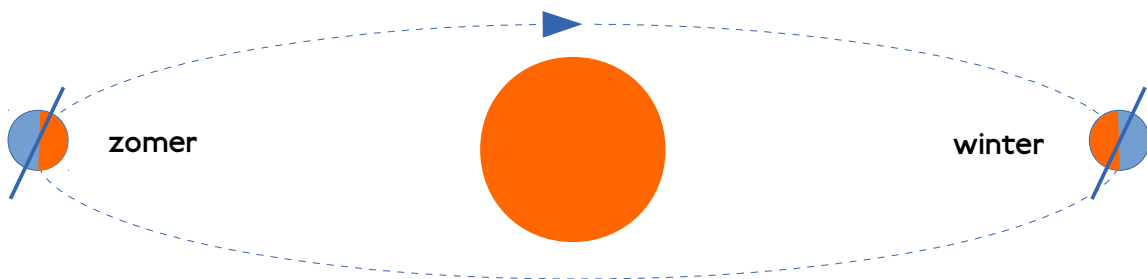
- de aarde geen mooie regelmatige bol is;
- de rotatieas van de aarde scheef staat ten opzichte van de zon;
- de landmassa en de zeemassa ongelijk zijn verdeeld;
- er bergen zijn en dalen, bossen en zandgronden, dijken en heuvels;
- de atmosfeer niet overal even dik is;
- er wolken ontstaan in de atmosfeer die de verdeling van warmte en kou wijzigen.

Het model is nooit de werkelijkheid en het is ook niet makkelijk om het te gebruiken om het weer bij onze molen te *voorspellen*. Waar de modellen – ook die uit onze opleiding – wel goed voor zijn is het weer *begrijpen*. Als je je afvraagt waarom depressies overwegend van zuidwest naar noordoost over ons land trekken, kan een model je een plausibel antwoord geven.

De werkelijkheid is in feite alleen maar waar te nemen door om je heen te kijken – wat de molenaar dan ook altijd doet.

## De seizoenen

De aardbol kent een rotatieas die ten opzichte van de zon onder een hoek staat. Omdat onze Aarde eens per jaar om onze zon draait verschuift de hoeveelheid zon die op noordelijke en zuidelijke halfronden valt dagelijks.



Dit heeft gevolgen voor de temperatuur van de polen. Onze noordpool krijgt in de winter gedurende een half jaar geen zon. Daarom zal de lucht daar ook sterk afkoelen en zich naar beneden duwen. In de zomer loopt de temperatuur aan de polen op en daarom zal de polaire lucht minder diep naar beneden drukken.

Door dit uitzetten / krimpen van de polaire lucht verschuiven bijvoorbeeld de straalstromen van plaats en komen we in de winter vaker in polaire lucht terecht. Verder krijgen wij op onze breedtegraad ook te maken met minder licht / warmte per dag, waardoor de temperatuur ook lager is in de winter.

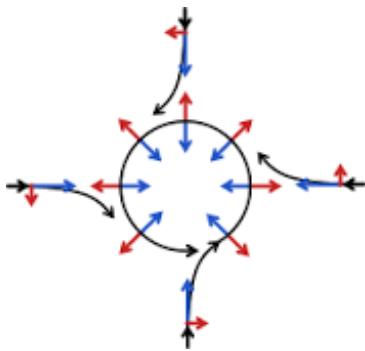
## Luchtlagen

De onderste luchtslaag is de laag van ongeveer 1 kilometer dik die het dichtst bij het aardoppervlak zit. Die laag bestaat uit relatief dichte lucht – immers: de luchtdruk neemt heel snel af naarmate je hoger komt. Die dichte lucht dicht bij het aardoppervlak is trager en reageert vertraagd op wijzigingen van de windrichting.

Staan bij de molen tuurt de molenaar daarom vaak eens recht naar boven om te zien wat de *bovenlucht* doet. De richting van de wolken in die bovenlucht – zo ongeveer vanaf een kilometer boven je – geeft aan in welke richting de wind binnenkort ook op het oppervlak zal gaan. "De onderlucht richt zich naar de bovenlucht" zegt de molenaar.

## Coriolis en lucht

Lucht bestaat net als een raket ook uit materie en op die materie werken in beide gevallen dezelfde krachten en effecten. Beweegt lucht zich van de evenaar naar de noordpool dan wijkt de stroom naar het oosten af. Beweegt lucht zich van de noordpool naar de evenaar dan wijkt de stroom naar het westen af.



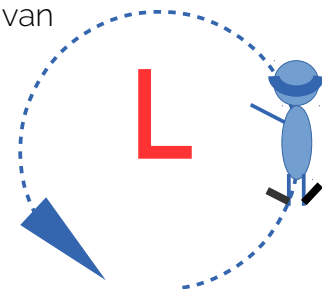
Hiernaast een tekening van een gebied ergens op het noordelijk halfrond. In het midden zien we een lage drukgebied waar van alle kanten lucht naar toe stroomt. Zoals te zien is, is de afwijking altijd naar rechts en wat 'rechts' is wordt bepaald met de rug in de wind. Het corioliseffect is getekend als een kracht – de rode pijl. De kracht van de luchtdruk als een blauwe.

Als het Corioliseffect in balans is met de kracht van de wind, blijft de wind precies om de kern draaien. De luchtdruk is daar overal gelijk. We kunnen een lijn tekenen langs alle punten met gelijke luchtdruk: *een isobaar*.

## Buys Ballot

Een gevolg van het Corioliseffect is terug te lezen uit de Wet van Buys Ballot, ook wel "de windregel" genoemd:

*Als je op het noordelijk halfrond met je rug in de wind staat, bevindt het **l**agedrukgebied zich **l**inks.*



## Beaufort

Welke kracht de wind heeft hangt van veel factoren af. De snelheid van de wind is daar één van. De luchtvochtigheid en de temperatuur - hoe dicht de wind is - zijn ook belangrijk. Een matige, dichte wind in de winter is vaak meer waard dan een stevige, droge zomerwind.

Windkracht drukken we uit in Beaufort: de "kracht" van de wind. Beaufort was een marineofficier die de windkracht *kwalitatief* beschreef, van "just sufficient to give steering" tot "that which no canvas sails could withstand".

De moderne interpretatie van de schaal van Beaufort gaat uit van de snelheid van de wind en beschrijft de windkracht *kwantitatief*. De molenaar kan daarom meemaken dat hij in de zomer bij windkracht 3 niet kan werken en in de winter wel.

	Windkracht in Beaufort	Meter per seconde	Knopen	Kilometer per uur
	0 = windstil	0.0 - 0.2	1	1
	1 = zwakke wind	0.3 - 1.5	1 - 3	1 - 5
Maalwinden	2 = zwakke wind	1.6 - 3.3	4 - 6	6 - 11
	3 = matige wind	3.4 - 5.4	7 - 10	12 - 19
	4 = matige wind	5.5 - 7.9	11 - 16	20 - 28
	5 = vrij krachtige wind	8.0 - 10.7	17 - 21	29 - 38
	6 = krachtige wind	10.8 - 13.8	22 - 27	39 - 49
	7 = harde wind	13.9 - 17.1	28 - 33	50 - 61
	8 = stormachtige wind	17.2 - 20.7	34 - 40	62 - 74
	9 = storm	20.8 - 24.4	41 - 47	75 - 88
	10 = zware storm	24.5 - 28.4	48 - 55	89 - 102
	11 = zeer zware storm	28.5 - 32.6	56 - 63	103 - 117
	12 = orkaan	> 32.6	> 63	> 117

De luchtstroom – de wind – gaat bij normale winden niet veel sneller dan 40-50 kilometer per uur. Als het sneller gaat is het voor een molenaar niet meer zo makkelijk de molen verantwoord te laten draaien. Vroeger kon het vaak niet anders, maar tegenwoordig hoeven we niet per se meer. De regel is daarom dat we bij windkracht 7 of hoger de molen niet meer laten draaien. De pelmolens zijn daarop een uitzondering, maar ook daar is het bij 8 of hoger wel gedaan.

## Deel II – neerslag

Nu je weet hoe de wind ontstaat ben je als molenaar al een stuk verder. Want het gaat ons uiteindelijk toch om de wind.

Maar er speelt natuurlijk veel meer. Zo kan er een forse onweersbui optreden, waardoor de molenaar – en zijn molen – gevaar loopt. Het kan ijzelen, waardoor de molen en zijn omgeving moeilijker toegankelijk en te bedienen zijn. Zeilen kunnen vastvriezen. Door de kou kan een gietijzeren bovenas makkelijker breken. Regen kan zorgen voor gladde stellingdelen en maaldekken.

Maar ook gebrek aan neerslag kan gevolgen hebben. De zon schijnt fel, de molenaar moet zich er goed tegen beschermen. Maar ook voor het houtwerk: wiggen die uit kunnen drogen en los kunnen gaan zitten, de reuzel smelt van je kruiring af, en je verf heeft te lijden en kan barsten en los gaan zitten.

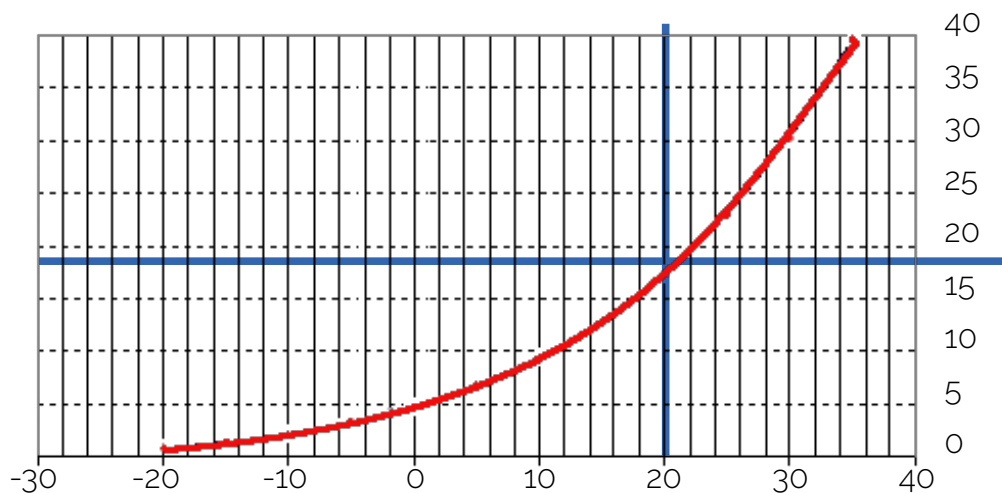
Kort en goed: we zijn er niet alleen met weten hoe wind ontstaat.

### Condensatie

In het eerste deel hebben we de luchtmoleculen leren kennen. We deden alsof de luchtmoleculen allemaal gelijk waren, maar als we wat beter kijken is dat niet zo.

Lucht bestaat uit een mengsel van gassen: op onze hoogte bestaat ongeveer 78% van het volume uit stikstof, 21% uit zuurstof. De overige 1 procent bestaat uit koolzuurgas (koolstofdioxide, zo ongeveer 0.03%) en *waterdamp (tot 0.7 %)*.

De maximale hoeveelheid waterdamp die lucht kan bevatten varieert met temperatuur en (in veel mindere mate) druk. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer water er in lucht kan zitten. De grafiek hieronder laat de relatie als een curve zien uitgaande van een constante normale luchtdruk van 1000 HPa:



Onderaan zien we de temperatuur in graden Celsius, rechts de maximale hoeveelheid waterdamp bij die temperatuur per kubieke meter. Een voorbeeld is in de grafiek aangegeven met de blauwe lijnen: bij een temperatuur van 20 graden past er ruim 17 gram waterdamp in een kubieke meter lucht.

Als er meer water in de lucht zit, condenseert dat: het slaat neer. We krijgen dan condens, mist of regen.

## Relatieve luchtvochtigheid

Je hebt vast wel eens een hygrometer gezien: een instrument om de luchtvochtigheid mee te meten. Een hygrometer meet de *relatieve luchtvochtigheid*: hoeveel procent van de maximaal aanwezige hoeveelheid water zit er in de lucht op dit moment? Die maximale hoeveelheid is afhankelijk van temperatuur en druk, zoals we zagen.

Dat houdt in dat de relatieve luchtvochtigheid van 100% bijvoorbeeld bereikt wordt bij 0 graden als er ongeveer 5 gram water in de lucht zit, maar als het warmer is, bijvoorbeeld 20 graden, dan houdt een relatieve luchtvochtigheid van 100% in dat er 17 gram water in de lucht zit.

Bij welke temperatuur dan ook: als er een relatieve luchtvochtigheid van 100% is en we verlagen de temperatuur ook maar iets zal er mist, dauw, rijp, regen of condens ontstaan. We noemen lucht met een relatieve luchtvochtigheid van 100% 'verzadigd'.



We spreken over een relatieve luchtvochtigheid van 50% als de helft van de maximaal mogelijke hoeveelheid waterdamp in de lucht zit, bijvoorbeeld als er bij 20 graden ongeveer 8 gram water in een kubieke meter lucht zit. De meeste mensen vinden een relatieve luchtvochtigheid van tussen de 40 en 70 procent prettig.

Je zou denken dat een apparaat om de relatieve luchtvochtigheid te meten wel heel speciaal moest zijn: je moet rekening houden met druk, temperatuur en vochtigheid. Jazeker, maar toch kan het heel eenvoudig worden gemeten: de lengte van een (ontvette) mensenhaar varieert namelijk met de relatieve luchtvochtigheid; de haar wordt korter als de relatieve luchtvochtigheid afneemt. Die lengteverandering kun je

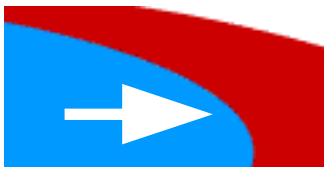
waarnemen, bijvoorbeeld door hem naar een wijzer over te brengen.

## Fronten

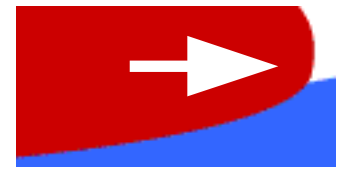
We hebben in het deel over de wind geleerd dat er koude lucht vanaf de polen komt en dat er warme lucht vanaf de evenaar wordt aangevoerd. Het model is mooi gemaakt en regelmatig. Maar we weten ook al dat de aarde zelf niet zo regelmatig is: water en aarde wisselen elkaar onregelmatig af, bossen en platteland, heuvels, bergen en grote steden – elk met hun eigen temperatuurprofiel. Verder heeft de aarde een hellende rotatieas ten opzichte van de zon, waardoor er seizoenen ontstaan.

Het resultaat van al die onregelmatigheden is ook dat er verstoringen in het ideale plaatje ontstaan. Wij zitten bijvoorbeeld in ons land net in de buurt van een overgang (60 graden, iets ten noorden van ons) tussen twee Hadleycellen. Door de onregelmatigheden schommelt die grens nogal en soms liggen we plotseling in koude poollucht, dan weer in hete subtropische lucht. Soms drukt de subtropische lucht zich op en duwt de koele poollucht weg, soms duwt de koude poollucht de subtropische lucht weg. In beide gevallen zien we dat er een verschil in temperatuur tussen die luchtsoorten bestaat. Daardoor ontstaan er wolken (condensatie) en heel vaak ook regen.





Er zijn 2 situaties denkbaar: (links) dikke koude lucht (veel massa) verdrijft dunne warme lucht (weinig massa); (rechts) dunne warme lucht schuift zich over de dikke koude en drukt die geleidelijk weg.

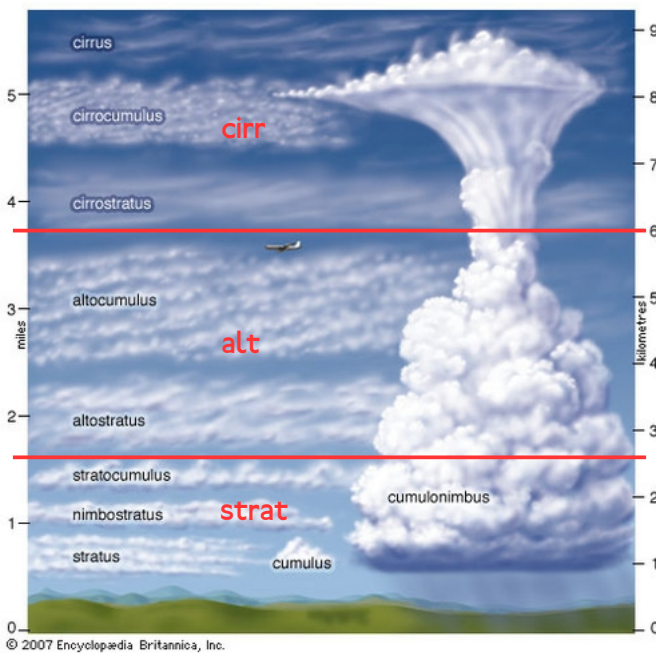


In beide gevallen ontstaan wolken, en als de luchtvochtigheid voldoende groot is, ook regen of mist. Op de grens tussen de warme en koude lucht ontstaat dan een *front*.

## Wolken

Zoals je weet kan met waterdamp verzadigde lucht condenseren als de temperatuur daalt. Als dat in de lucht gebeurt vormen zich *wolken*. Condensatie kan overal in de atmosfeer plaatsvinden waar warme en koude lucht op elkaar stuiten. Als dat vlak boven de grond is zien we mist, is het hoog in de lucht zien we wolken. Hoe hoger een wolk zich vormt, hoe kouder de atmosfeer daar is. Een hoge wolk bestaat aan de bovenkant dan ook vaak uit (sterk) onderkoelde waterdampdruppels en ijskristallen of een menging daarvan. Een wolk zal "groeien" door vochtige, opstijgende, warme lucht die in de wolk condenseert.

## Soorten wolken



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Er zijn allerhande soorten wolken, die op de eerste blik veel op elkaar lijken. Maar bij nadere beschouwing zijn er verschillen: de ene wolk is grijzer dan de andere, wolken hebben soms bloemkoolvormen, soms is het ijle damp boven in de atmosfeer.

De typen wolken hebben een (latijnse) naam gekregen. Hoog in de lucht cirrus, laag bij de grond cumulus. De namen bevatten ook een beschrijving van de hoogte van de wolken aan: cirro is het hoogste, dan volgt alto, dan volgt strato. Nimbus is latijn voor regen, cumulus betekent wolk.



De bekende onweerswolk met bovenin uitstulpingen ("kantelen") zien we liever niet. Gelukkig onweert het in Nederland niet zo vaak: in onze streken ongeveer 21 dagen per jaar, vaak bij een zuidoosten wind. De molenaar is er evenzogoed *altijd* mee bezig: de bliksemafleider moet er bij naderend onweer op, maar ook *altijd* na afloop van het draaien. Routine is redding!

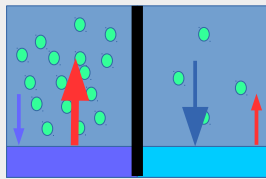
## Regen, hagel en sneeuw

Regen, hagel en sneeuw ontstaan door 2 effecten: coalescentie en het Wegener-Bergeron-Findeisen-proces.

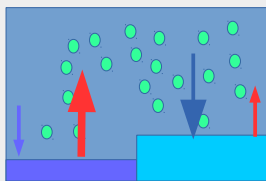
*Coalescentie* is het proces waarin de gecondenseerde waterdamp kleine druppeltjes vormt, die samenvloeien tot grotere. De condensatie vormt eerst druppeltjes, maar die zijn nog zo klein dat ze in de zo ontstane wolk op de luchtstromen rond blijven bewegen. Ze botsen daarbij op andere druppeltjes en smelten ermee samen. Uiteindelijk zijn de druppels zo zwaar dat de luchtstroom niet voldoende meer is om ze in de wolk te houden – ze vallen. Op hun weg naar beneden stuiten ze op nog meer druppels waar ze mee samensmelten tot een steeds dikkere drup, die uiteindelijk uit de wolk ontsnapt en naar beneden valt. Het regent.

Het *Wegener-Bergeron-Findeisen proces* is met name in onze gematigde streken reden voor neerslag. Wolken die zich hoger in de atmosfeer vormen bestaan uit een mengeling van ijskristallen, waterdamp (watermoleculen) en waterdruppeltjes. De ijskristallen groeien snel ten koste van de waterdruppeltjes. Dit komt omdat waterdruppeltjes een hogere *dampdruk* hebben dan ijs – er vormen zich meer waterdruppeltjes boven water dan boven ijs - en zo bewegen de watermoleculen zich in de richting van het ijs dat daardoor aangroeit.

Het concept 'dampdruk' kunnen we verduidelijken aan de hand van een experiment.



Hiernaast zien we een gesloten container met een tussenschot erin: links gevuld met onderkoeld water, rechts met ijs. Onderkoeld water is water dat ondanks een temperatuur beneden 0 graden Celsius vloeibaar blijft. Onderkoeld water verdampt makkelijker dan ijs. Er vormen zich veel watermoleculen boven het water in de linker container – dat leidt tot een hoge druk in die container. Ijs verdampt moeilijk en de druk van moleculen op de wand van die container veel geringer. Halen we het schot weg dan zullen de watermoleculen naar de rechter kant bewegen en neerslaan op het ijs. Het effect van een menging van onderkoelde waterdamp en ijs is dat ijs ten koste van waterdamp aangroeit.



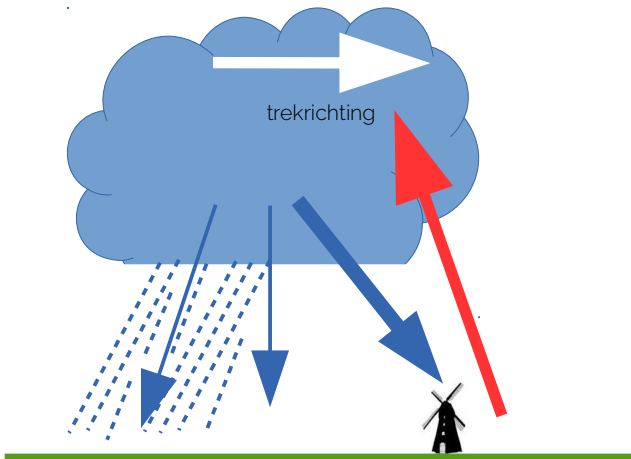
De door de hogere dampdruk van onderkoeld water gevormde kristallen vallen naar beneden en klonteren samen met andere. Zo vormen zich sneeuwvlokken die uit de wolk vallen. Afhankelijk van de temperatuur onder de wolk kan het gaan sneeuwen, vormt zich natte sneeuw of gaat het regenen. Dat kan ook "onderkoelde" regen zijn, die levensgevaarlijk is, omdat er gladde stellingen, maaldekken, gevluchten en wegen door ontstaan.



## Buienwind

Eén van de dingen die voor de molenaar van groot belang is, is onderkennen dat een bui "zijn eigen wind" meeneemt en hoe je daar dan mee om moet gaan.

De buienwind ontstaat, omdat een stevige wolk, gevuld met (koude) neerslag, voorbij trekt. De afkoeling die die wolk op de lucht onder hem overbrengt, zorgt voor een neerwaartse luchtstroom.



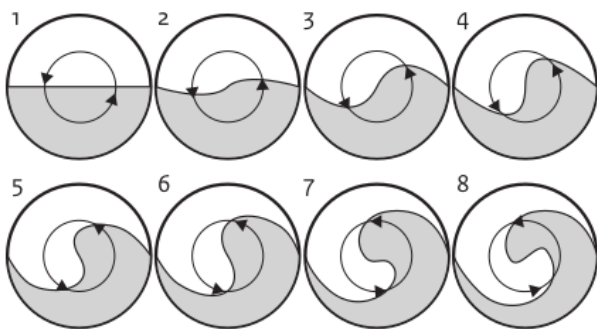
Bij het naderen van de bui regent het nog niet en komt de relatief warme lucht (rode pijl) aan de voorkant de bui binnen.

Doordat de wolk heel veel waterdamp bevat koelt de warme lucht snel af en daardoor condenseert het in die lucht aanwezige water. Onder de bui ontstaan door de sterke afkoeling van de warme lucht in de wolk valwinden. Met name aan de voorkant van de bui zijn die vaak sterk, er treden hevige windstoten op. Even later gaat het dan regenen.

De molenaar die zo'n wolk aan ziet komen doet er goed aan de vang er even op te leggen, want de windstoten zijn gevaarlijk.

## Hoe mengen luchtsoorten

Op onze planeet hebben we oceanen, landmassas en ijsmassa's. Ons land ligt net tussen die drie invloeden in: ten westen en zuidwesten oceanen, ten oosten en zuiden een grote landmassa en ten noorden de noordpool. De diverse soorten lucht hebben verschillende temperaturen en luchtvochtigheden.



Door de winden (zowel bovenin de atmosfeer als onderin de atmosfeer) wordt die lucht verplaatst. Als twee verschillende luchtsoorten op elkaar stuiten, ontstaan mengingen van lucht.

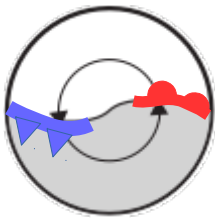
Je hebt al geleerd dat koude lucht (wit in de figuur) zwaarder is dan warme (grijs in de figuur). Koude lucht is massiever, net als een olietanker – die komt ook moeilijker in beweging, maar als die beweging is ingezet

is het ook weer moeilijker die te stoppen: *inertie*.

Je kent ook al het Corioliseffect, dat op onze breedtegraad leidt tot een afwijking naar rechts (met je rug in de wind). Dit effect, in combinatie met twee verschillende lagen lucht, geeft mengpatronen zoals die in de figuur hiernaast (bron: KNMI) zijn weergegeven. Op de grenzen tussen de koude en warme lucht vormen zich fronten waaruit het kan gaan regenen, hagelen, sneeuwen of ijzelen. De kern van een dergelijk menggebied wordt gevormd door warme (lauwe) lucht en die stijgt zoals je weet op: zo vormt zich een lagedrukgebied (L) oftewel: een *depressie*.

## Op- en afbouw van depressiefronten

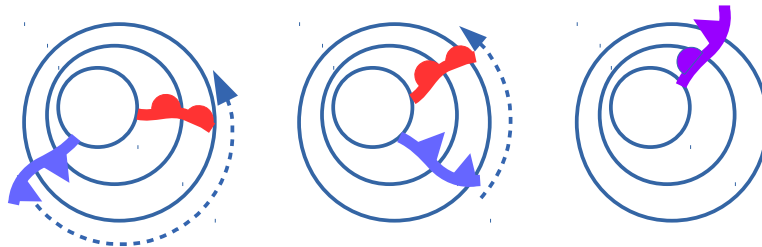
Als de koude polaire lucht en warme subtropische lucht zich gaan mengen, ontstaan er twee fronten: een warmtefront, waar de warme lucht over de koude lucht wordt geduwd, en een koufront, waar de koude lucht zich onder de warme lucht duwt.



In de figuur links is dit aangegeven met een blauwe en een rode lijn: de rode lijn stelt het warmtefront voor (met bolletjes die de richting waarin het front beweegt aangeven) en de blauwe lijn het koufront, met driehoekjes die de beweegrichting van het front aangeven.

Koude lucht is zwaarder dan warme. Koude lucht komt moeilijker in beweging maar heeft daarna meer vaart dan warme lucht.

Bij het ontstaan van een depressie ontstaat er zowel een warmtefront als een koufront. Het koufront bevindt zich altijd voor aan de koude lucht en die koude lucht heeft meer massa en meer snelheid dan de warme lucht. Het koufront haalt uiteindelijk het warmtefront in en vormt dan uiteindelijk een *occlusiefront*.



Wat van groot belang is is je realiseren op welke schaal dit allemaal speelt: een depressie kan een doorsnee hebben van vele honderden kilometers.

### Frontkarakters

Een *koufront* bestaat uit koude lucht die de warme lucht tamelijk onzachtzinnig verdrift. Een *koufront* kent een scherpe begrenzing tussen koude en warme lucht en een relatief groot verschil in temperatuur. Dit leidt tot windstoten en vaak stevige neerslag.

Een *warmtefront* bestaat uit warme lucht die zich aan de bovenkant geleidelijk aan over de koude lucht uitbreidt. Dit gaat allemaal veel rustiger, met veel minder wind en uiteindelijk vaak een lauwe warme regen die bijna rechtstandig uit de lucht valt.

Het *occlusiefront* heeft eigenschappen van beide fronten; er valt soms loodrechte, dan weer onder invloed van windbeweging wat fellere regen.

De nadering van een *warmtefront* kondigt zich aan door hele hoge bewolking (Cirrus), gevolgd door een steeds lager hangende grijze lucht. Er valt een constante stroom lauwe regen uit. Na het overtrekken van het front klaart het op.

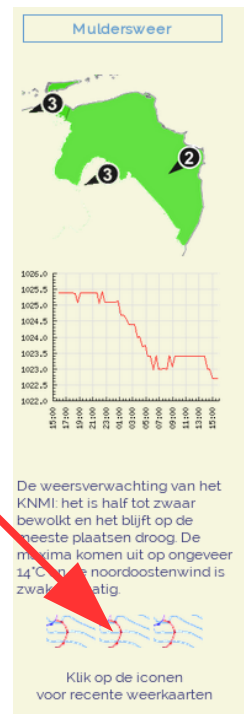
De nadering van een *koufront* kondigt zich aan door een loodgrijze wolkenband aan de hemel, waaruit vaak op afstand zichtbaar al regen valt. Er zijn vaak windstoten en de regen kan wild striemen.

## Weerkaarten

De patronen van zich vermengende warme en koude lucht in de atmosfeer worden dagelijks op *weerkaarten* vastgelegd. In ons land wordt dit goed gedaan door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut – het *KNMI*.

Wij zullen in het komende jaar elke week de weerkaart bestuderen. Je dient wekelijks een analyse van de weerkaart te maken. Je gaat - met alleen die weerkaart en verder geen informatie - proberen daar voor onze molen uit af te leiden wat het weer is en welke gevaren je ziet voor de molen. Steevast zal ook gevraagd worden welke zeilvoering je dan op een belaste poldermolen zou voeren.

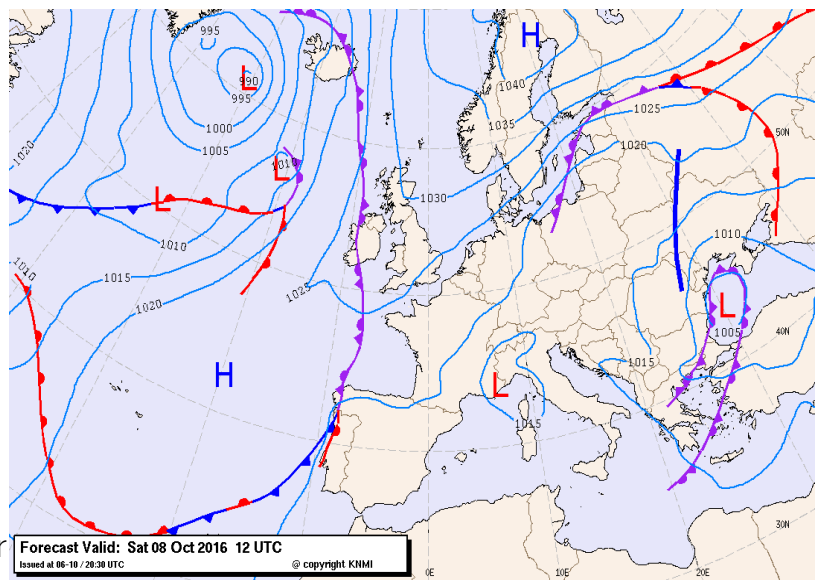
De weerkaarten van het KNMI zitten wat verstopt op de KNMI website. Daarom is op onze MSMOG website op de voorpagina ook een verwijzing naar deze weerkaarten te vinden, samen met een overzicht van de huidige windrichting in Groningen, de barometerstanden van de afgelopen 12 uren en een beknopt weerbericht, zie de figuur rechts. Afhankelijk van het tijdstip waarop je kijkt zie je daar 3 of 4 icoontjes. Door er even met de muis over te zweven zie welke kaart er "onder" zit.



Vanaf vrijdagmiddag is er meestal wel een prognose voor zaterdag 12.00 uur te vinden – die moet je gebruiken.

Hiernaast een voorbeeld van zo'n "zaterdagse weerkaart". Je ziet een palet van lijnen en kleuren. Je herkent vast wel de *isobaren*: de lijnen van punten die een gelijke luchtdruk hebben.

Verder zie je de bekende letters **H** en **L** (hoog en laag). De lagedrukgebieden ontstaan door menging van warmere lucht met koude lucht.



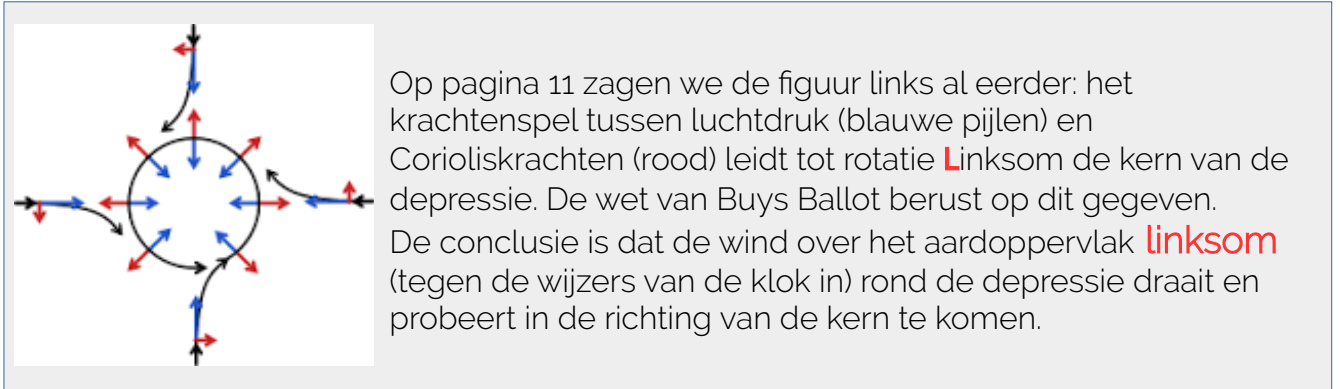
De hogedrukgebieden zijn gebieden waar naar verhouding koude lucht neerwaarts drukt. Merk op dat "laag" en "hoog" relatief ten opzichte van elkaar zijn.

Verder zie je op de kaart nog lijnen die dikker rood en blauw zijn, met daaraan bolletjes (rood) of driehoekjes (blauw). Deze lijnen geven de fronten aan die ontstaan wanneer relatief warme lucht op relatief koude lucht stuit: rood is dan de situatie dat warme lucht zich over koude schuift, blauw wanneer koude lucht zich onder warme lucht schuift.

# Deel III – de molenaarspraktijk

## Duiding van een weerkaart

Bij het duiden van de weerkaart kunnen we wat we geleerd hebben omzetten naar een paar eenvoudige vuistregels waarmee we de windrichting en -kracht kunnen bepalen.



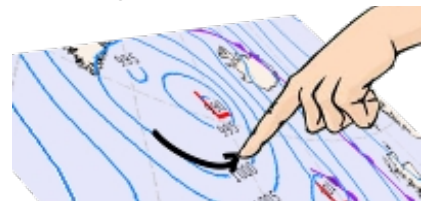
We weten dat een *depressie* een kern van warme (**L**auwe) lucht heeft die opstijgt. Er moet daarom lucht worden aangezogen. Die aangezogen lucht ondervindt het Corioliseffect en wijkt op onze noordelijke breedtegraad naar rechts af, gezien met de rug in de wind. De windrichting is van opzij naar boven: de wind over het aardoppervlak zal **linksom** de kern gaan.

We weten dat een *pressie* een kern van koude lucht heeft die neerdaalt. Er moet lucht worden weggedrukt. Die weggedrukte lucht ondervindt het Corioliseffect en wijkt op onze noordelijke breedtegraad naar rechts af, gezien met de rug in de wind. De windrichting is van boven naar opzij - precies andersom - de wind over het aardoppervlak zal **rechtsom** de kern gaan.

Bij het duiden van de weerkaart nemen we de isobaren als uitgangspunt. We kijken welke isobaren er over het gebied gaan waar onze interesse naar uit gaat, bijvoorbeeld: Slochteren. Als er geen isobaren over het gebied lopen kijken we naar de isobaren die er in de buurt over lopen. Het is immers niet zo dat de wind *alleen maar* langs de isobaren loopt, daartussen natuurlijk ook.

We kijken of de isobaren in de buurt van ons gebied rond een **H**oge- of een **L**agedrukgebied lopen. Je kunt nu (letterlijk, of in gedachten) met je wijsvinger om de kern draaien, langs de isobaren:

- bij een lagedrukgebied linksom en ietsje naar binnen;
- bij een hogedrukgebied rechtsom en ietsje naar buiten.



Zo bepalen we of de wind de isobaren **L**inksom of **re**chtsom volgt. We kijken ook hoe ver die isobaren uit elkaar liggen: als de isobaren dicht bij elkaar liggen, zijn er op een relatief klein gebied grote verschillen in luchtdruk en is de kracht van de wind groter. We weten nu al hoe hard het ongeveer zal waaien en in welke richting.

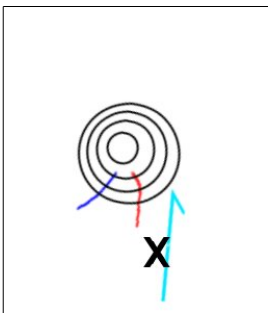
Ook zien we op de weerkaart de fronten aangegeven. Afhankelijk van de temperatuurverschillen tussen de koude en warme lucht is de kans op neerslag groter.

## Krimpen en ruimen

Als de wind van richting verandert kan dat op twee manieren: linksom of rechtsom. Als de wind tegen de wijzers van de klok in draait, van bijvoorbeeld west naar zuid, noemen we dat "krimpen". Als de wind met de wijzers van de klok meedraait, van zuid naar west bijvoorbeeld, noemen we dat "ruimen". Omdat in ons land een krimpwind vaak duidt op nadering van een depressie is in ons land de zegswijze "krimpwinden zijn stinkende winden" ontstaan. In vroeger tijden, toen vrouwen in de ogen van het volk vooral thuis moesten blijven zei men ook wel "krimpwinden en uitgaande vrouwen zijn onbestendig en niet te vertrouwen".

## Nadering van een warmtefront

Depressies ontstaan in onze streken typisch op de Atlantische Oceaan en volgen de (bovenkant van) de straalstroom. Omdat de straalstroom golft kan de depressie zowel uit westelijke, zuidelijke of noordelijke richting trekken. De *meest voorkomende* richting is van zuidwest naar noordoost.

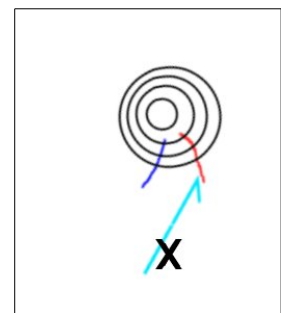


Bij nadering van een depressie over de noordelijke Noordzee die van zuidwest naar noordoost trekt, draait de wind in Nederland naar zuidelijke richtingen (zie figuur links). De subtropische lucht uit het zuiden bevat veel vocht. De warme, lichte lucht schuift over de koude lucht omhoog en koelt daardoor af. Er ontstaat (mot)regen.

Cirrusbewolking gaat over in cirrostratus en dicht bij het front in altostratus. Langs het front is nimbostratus en/of stratus aanwezig.

Eenvoudiger gezegd: eerst zien we hoge bewolking, de lucht wordt grijzer en grijzer, de wind krimpt en trekt aan. Dit kan uren duren. De luchtdruk daalt, eerst langzaam, dan sneller. Een warmtefront kent een dik pak bewolking, waaruit langdurig regen valt. In de winter ook sneeuw of ijsregen.

Als het warmtefront over is getrokken, zal de wind ruimen en klaart het op. We zien dan vaak stratocumulus – vrij lage (2-3 km hoge) bewolking, waar geen regen uit valt.



## Nadering van een koufront

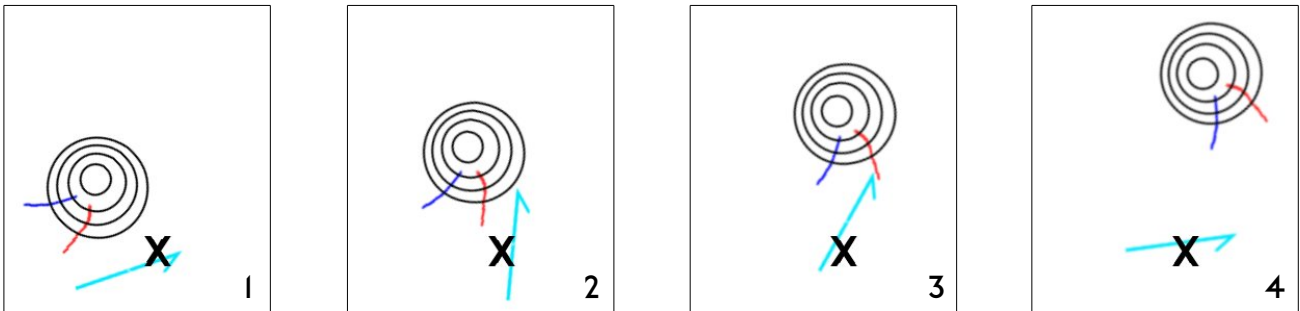
Na enige tijd passeert het koufront, waarbij de koude, zwaardere lucht onder de warme lucht schuift. Door de snelle opstijging van de warme lucht ontstaan er buien en gaat het flink regenen, hagelen of sneeuwen. We zien cirrus die overgaat in cirrocumulus en dicht bij het front in altocumulus. Langs het front is cumulonimbus aanwezig.

Eenvoudiger gezegd zien we grijze lichten met dikke regenwolken aankomen. Sterke windstoten kunnen ontstaan door buienwind (zie pagina 17). In de winter kan het striemend hagelen, sneeuwen of regenen.

De luchtdruk zal na passage van het front snel stijgen (koude lucht) en de wind kan flink toenemen. Een bekende zegswijze is dan ook "Komt wind voor regen" - warmtefront - "dan is er niets aan gelegen; doch komt regen voor wind" - koufront - "berg dan de zeilen gezwind."

## Depressie trekt ten noorden voorbij

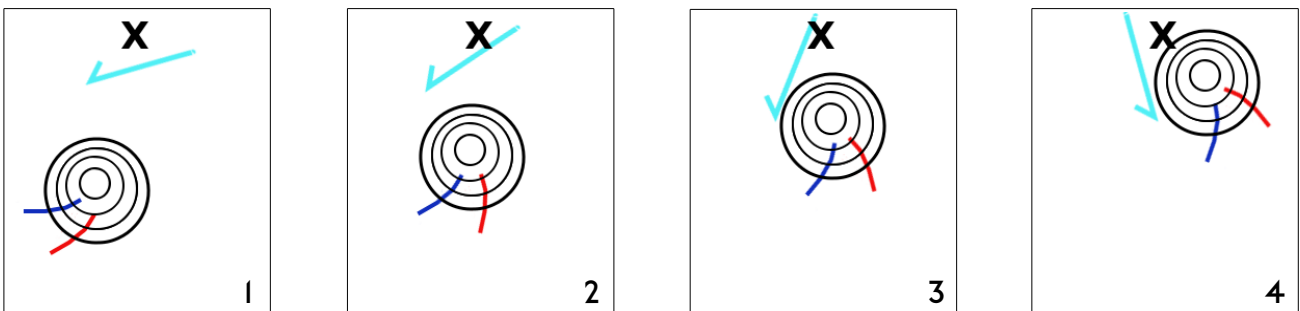
Wanneer een depressie ten noorden voorbij trekt, zitten we in de onrustige onderkant van de depressie. Daar bevinden zich het warmte- en koufront, hebben we regen en wind, hagel of sneeuw.



In de bovenstaande vier plaatjes zien we schematisch hoe de wind zich draait ten opzichte van onze molen (het kruisje) als een depressie ten noorden overtrekt. Zoals je ziet gaat in alle gevallen de 'windregel' op: plaatje 1 en 4 ligt de kern links, op plaatjes 2 en 3 ligt de kern linksvoor.

Je ziet nu dat de wind eerst zuidwest wordt (plaatje 1), dan krimpt naar zuid, dan ruimt naar zuid-zuidwest en dan ruimt naar west. Merk op dat het warmtefront ons vanaf plaatje 3 is gepasseerd en dat op plaatje 4 we zelfs al in het koufront terecht zijn gekomen.

## Depressie trekt ten zuiden voorbij



Deze situatie is voor de molenaar veel mooier: er is wel wind, maar we hebben niet veel last van regen, sneeuw, hagel. De wind krimpt voortdurend mee en komt dan uit oost, via noordoost naar noord. We zitten in relatief koude lucht met weinig luchtdrukverschillen.

## Depressie trekt recht over

*Deze situatie is gevaarlijk.* De molen staat eerst in de zuidelijke stroming rond de kern, waar het stevig waait. Dan krimpt de wind nog wat en valt dan weg – we zitten in de kern. Dan komen we vrij snel in de noordelijke stroming terecht – dat is precies net tegenovergesteld aan de eerdere windrichting! Als we dat niet zagen aankomen en de molen niet hebben gekruidd of afgezeild, dan staat de molen met het gevluucht verkeerd om in de wind en kan terug gaan draaien. Een horrorverhaal!



## Onweer

Waar materie langs elkaar wrijft, ontstaat elektrische lading. Hoe groter de verschillen in temperatuur, hoe meer beweging en hoe meer lading. Er zijn twee soorten onweer.

Het *frontaal onweer* treedt in de zomer op en is dan onderdeel van een koufront rond een depressie. Er ontstaan op de grens van hete lucht en poollicht vaak stevige buien waarin veel wrijving voorkomt. De elektrische lading is zo groot dat er een forse ontlading kan ontstaan: bliksem. De uitzetting van de lucht door de hete vonk geeft het geluid van donder.

Het *warmteonweer* ontstaat in de loop van de dag omdat er in de stratosfeer een koude bel lucht aanwezig is ("instabiele lucht") die stuit op de hete oppervlaktelucht van de aarde. Ook hier zien we heftige reacties en grote (ont)ladingen. Typisch komen deze onweerbuien in de late middag of avond tot de grootste uitbarstingen om daarna weer te verdwijnen.

Op pagina 15 is een afbeelding van een onweerswolk te vinden. .

De molenaar heeft bij onweer maar één keus: stilzetten, als het kan afzeilen, en de bliksemafleider er op! En vergeet ook vooral de teruglooppal en roedeketting niet.

## Dagelijkse gang

's Nachts is het kouder dan overdag, omdat de zon dan niet schijnt. Daardoor koelt de lucht af en wordt zwaarder. Zware lucht kan moeilijker in beweging worden gebracht en *op rustige dagen* komt de wind daardoor 's nachts aan de aardoppervlakte zelfs tot volledige stilstand.

Als de zon opkomt vormen zich warme bellen lucht (thermiek) die opstijgen en zo onderdruk veroorzaken. Die onderdruk moet worden opgevuld - er gaat wind waaien. De zon voert meer energie toe, de bellen worden groter en groter en stijgen sneller op - de wind trekt aan.

Op grotere hoogte is de lucht minder dicht en daardoor waait het daar harder. De bellen warme lucht die aan de aardoppervlakte zijn ontstaan stijgen verder op en de bovenwinden kunnen daardoor afbuigen naar de oppervlakte. De wind wordt vlagerig.

Als de zon daalt neemt de thermiek af en zal de lucht weer afkoelen en tot stilstand komen. De wind gaat liggen. Of, zoals een bekende spreuk zegt: "Gaande wind, 's ochtends een kind, 's middags een man en 's avonds is er niets meer van!"

In de tabel zien we, ingedeeld per windrichting en seizoen, de eigenschappen van de winden.

	Winter		Zomer	
Z	DG		DG	onweershoek
ZW	-	regennest, vlagerig	DG	regennest, vlagerig
W	DG		DG	
NW	DG	werkwind, wappert	DG	werkwind, wappert
N	DG		DG	
NO	-		DG	
O	-	waait 24 uur per dag		waait 24 uur per dag
ZO	DG		-	onweershoek

## Zeewind

Op vrijwel windstille, warme voorjaars- en vroege zomerdagen komt er in ons land aan de kust zeewind voor. Boven land wordt de lucht verwarmd en stijgt op. Dit veroorzaakt onderdruk. De koude lucht boven de in het voorjaar nog relatief koude zee vult deze op. Vanaf de zee gaat het dan verkoelend waaien, meestal niet harder dan windkracht 2.

Zeewind komt typisch rond 11 uur 's morgens op gang en zakt laat in de middag af als de zon minder sterk schijnt. Er moet natuurlijk niet al veel wind staan – minder dan 3 Bft – het werkt alleen op rustige dagen.

In onze streek is zeewind niet zo vaak waar te nemen, maar op molen De Goliath en andere dichterbij de zee gelegen molens is het een bekend verschijnsel.

## Meetinstrumenten in de molen



In de molen kunnen vaak allerlei meetinstrumenten zijn opgehangen. Temperatuurmeters, hygrometers en barometers komen het meest voor. Het meest belangrijke meetinstrument, dat eigenlijk in geen enkele molen(aarswoning) mag ontbreken is de *barometer*. Hiermee wordt de luchtdruk gemeten.

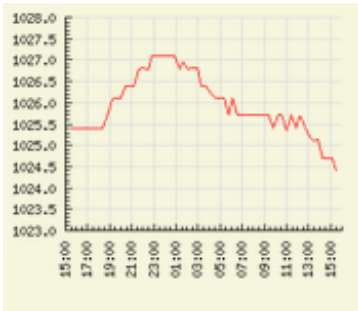
De barometer geeft de druk weer in hectoPascal (hPa), of, bij oudere barometers, nog wel in millibar. Dat is exact dezelfde eenheid.

Typisch loopt luchtdruk in onze streken van ongeveer 970 tot ongeveer 1040 hPa. Hoewel vaak op barometers met symbooltjes wordt aangegeven dat men zon of regen kan verwachten, komt die voorspelling lang niet altijd uit; dat ligt immers aan het verschil met elders voorkomende druk.

Wat heel belangrijk is, is dat je het *verschil met de vorige luchtdruk* kunt herkennen. Daarom hebben veel barometers een instelbare wijzer waarmee je de eerder gemeten luchtdruk aangeeft. Kijk je een uurtje later nog eens, kun je zo zien of de druk daalt of stijgt en hoe snel.



De naald van de barometer ondervindt heel weinig kracht van het instrument en kan wat blijven "steken" op een eerdere stand. Daarom is het goed om even – licht – met bijvoorbeeld een balpen tegen het glas van de meter te tikken. Kun je gelijk ook de stand in het logboek schrijven.



Op onze website zie je op de voorpagina altijd een grafiek van het verloop van de luchtdruk in onze streek gedurende de laatste 12 uren. Je kunt daar een tendens uit afleiden: dalend (dat duidt op een weersverslechtering) of stijgend (weersverbetering).

Snelle, scherpe dalingen duiden op sterke verslechtering en zijn alarmtekens voor de molenaar.

Eerder al (zie pagina 14) zagen we een afbeelding van de *hygrometer*. Deze meet de relatieve luchtvochtigheid, wat een indicatie kan zijn voor de kans op neerslag. Een hoge relatieve luchtvochtigheid, met afnemende luchtdruk duidt op een grote kans op neerslag. Uit het raam kijken, of buiten bij de vang, is vaak beter om dat te bepalen.

De *thermometer* is ook een vaak voorkomend instrument waar de molenaar niet zoveel mee doet. Je voelt immers zelf ook goed aan of het warmer wordt of kouder en de exacte temperatuur is dan niet zo heel belangrijk. Wel is een thermometer nuttig om te zien of je in de buurt van het vriespunt komt, bijvoorbeeld om te kunnen bepalen of de neerslag die je ziet aankomen je zeilen tot planken om gaat vormen, je maaldek of stelling spekglad kan maken etc.

De conclusie is dat je in ieder geval een barometer in je molen zult willen hebben. Daarom is de barometer ook het klassieke geschenk wat men vanuit De Hollandsche Molen cadeau doet aan molenaars bij feestelijke gelegenheden. Op de molen van de Groote Polder hebben we er ook een.

## Moderne tijden

In het oorspronkelijke Gildemateriaal staat al een voor die tijd "moderne" manier om het weer te voorspellen: teletekst. Ook de indertijd toch heel acceptabele manier om een middengolf transistor-radiootje naast een zender af te stemmen om te horen of het in de verte onweert, komt nu wat lachwekkend over – al zal het vast nog steeds werken.

Tegenwoordig hebben we veel mooiere manieren. Op de smartphone heb je vast wel de Buienradar *app*. Op onze eigen webstek kun je snel KNMI weerkaarten vinden, de luchtdruktendens zien en de windrichtingen in Groningen zien. Die gegevens komen weer van andere websites, die je natuurlijk ook rechtstreeks kunt raadplegen, zoals [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl), [www.hetweeractueel.nl](http://www.hetweeractueel.nl) en [www.buienradar.nl](http://www.buienradar.nl).

*Maak gerust van deze mogelijkheden gebruik*, maar onthoud: ze zijn op zijn best een aanvulling op de waarnemingen van de molenaar. Die moet blijven kijken en zo zelf bepalen wat er moet gebeuren. Dat kan desnoods ook prima zonder al die moderne instrumenten en mogelijkheden, zo doen molenaars het immers al eeuwen.

## Naschrift

Het is verleidelijk om steeds dieper en dieper in het weer te duiken, steeds meer te leren van steeds meer weezaken. Je hebt bijvoorbeeld nog niets gehoord over *Eddy currents*, hoe orkanen zich vormen, rolwolken, allerhande soorten hagel en sneeuw, *troggen*, voren..

En dat mag en kun je allemaal opzoeken, deels in het Gildemateriaal, deels in het katern "Het Weer" van David Henneveld, deels op het Internet. Er zijn ook uitstekende (on-line) boeken over te vinden. Maar de hoofdzaken rond de theorie ken je nu.

*Veel belangrijker dan de theorie is de praktijk.* Draaiend met je molen moet je het weer constant blijven waarnemen. Je moet verslechtering van het weer op tijd aan zien komen, moet weten wanneer je beter maar kunt vangen, weten wanneer je rustig door mag en kan draaien. Hoe vaak is het helaas al niet gebeurd dat een molenaar zich te sterk liet afleiden door bezoek, dan vergat het weer in de gaten te houden en dan bijvoorbeeld werd overvallen door een rukwind van een passerende bui, of een plots omkerende wind als een depressie recht over trok.

Laat je dat niet gebeuren!

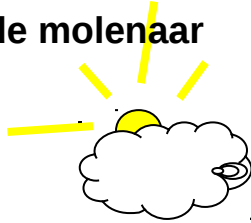
In de komende maanden begin je met het opbouwen van ervaring op dit gebied. Dat proces gaat de rest van je leven door, je bent eigenlijk nooit uitgeleerd als het over het weer gaat. Niet voor niets is "het weer" een belangrijk onderwerp van gesprek op onze breedtegraad.

Ik wens je bij je opleiding – en daarna - veel plezier en succes!

# Bijlage – de weermeter

## Weer-meter

voor de molenaar



- is het touwtje nat dan regent het.
- is het touwtje koud en stijf dan is er vorst.
- hangt het touwtje slap dan is er geen wind.
- zweeft het touwtje horizontaal dan is er veel wind.
- geeft het touwtje schaduw dan schijnt de zon.
- is het touwtje niet goed te zien dan is er mist.
- is het touwtje weg dan is het tijd voor onderhoud.
- gaat het touwtje heen en weer dan pas is het muldersweer.



Molenstichting Midden- en Oost-Groningen

Het weer kun je net zo moeilijk maken als je het wilt – en net zo makkelijk! Wijlen instructeur en molenaar Lammert Groenewold wist daar natuurlijk ook alles van. Van zijn hand is de bijgaande weermeter, die de essentie van het weer keurig samenvat.

Het beste kun je deze pagina printen op een goede kleurenprinter en daarna plastificeren. Knip de weermeter dan uit langs de stippelijntjes en plak hem op een (gelakt) plankje, stukje multiplex of triplex.

Neem een touwtje (bijvoorbeeld paktouw of vliegertouw) en maak daar een steentje of loodje aan vast. De lengte zo dat je er de afstand tussen het kruisje en het MSMOG logo mee kunt overbruggen.

Sla een klein spijkertje in het kruisje links naast het wolkje en knoop daar het touwtje aan. Zet de weermeter buiten en lees hem regelmatig af om het weer te bepalen.

Veel plezier!

# Bijlage - errata en dankbetuigingen

Dit document is een levend document. Aanmerkingen en opmerkingen graag sturen aan [redactie-hwv@msmog.nl](mailto:redactie-hwv@msmog.nl).

Van versie C169 naar versie C172: dank aan **Ria Voorhorst**, die me er op wees dat ik vaak onnodig het woordje 'dus' gebruik. Dat is hersteld en ik zal er beter op letten. Bij het deel over de winddichtheid werd abusievelijk 'vierkante meter' in plaats van 'liter' gezegd. Verder wat punctuatie aangepast.

Van versie C172 naar C174: dank aan **David Henneveld**, die een spelfout vond en die een aantal nuttige inhoudelijke aanvullingen aandroeg en daarnaast een aantal suggesties deed hoe het materiaal beter op de bij meteorologen gangbare taal aan kon sluiten. David is de auteur van het officiële GVM weerkatern.

Van versie C174 naar C177: de auteur - spelfout gevonden in het hoofdstukje "Naschrift": *uitsekende* moest *uitstekende* zijn.

Van versie C177 naar C178: dank aan **Bertus Hoetjer**, die observeerde dat de beschrijving van de windrichting (pg 7) van de polaire wind niet klopte: de wind gaat over het aardoppervlak naar het zuiden, dat levert dus een noordenwind op.

Van versie C178 naar C179: dank aan **Bertus Hoetjer**, die de figuren op pagina's 7 en 8 onderzocht en ontdekte dat een aantal cellen "verkeerd om" was weergegeven.

Van versie C179 naar C181: de auteur - het gezegde op pagina 21 rond kou- en warmtefronten was niet goed overgenomen, verder de aanhalingstekens goed gezet.

Van versie C181 naar C182: spelfout 'zjin' moest 'zijn' zijn.

Van versie C182 naar C183: dank aan **Paul Cuypers**, die ontdekte dat op pagina 23 onder de kop "dagelijkse gang" in de 3e paragraaf werd gesproken over "minder koud" waar er "minder dicht" werd bedoeld.

Van versie C183 naar C184: dank aan **Bertus Hoetjer**, die met de stofkam door de stof is gegaan en op elke pagina wel een paar foutjes heeft gevonden. Dan gaat het om 'wat' waar het 'dat' moest zijn, wat de d- en t- fouten, komma's en spellingswijzen. Met het Groene Boekje in de hand heeft Bertus een knap stukje corrigeerwerk verricht. Verder dank aan **Harry Blankena** die ontdekte dat in het stukje over straalstromen in één paragraaf de windrichtingen verkeerd om waren beschreven.

Van C184 naar C185: dank aan **Harry Blankena** die me wees op het ontbreken van 3 letters t en wel op pagina 18, 11e regel: er moet een t achter bevind, pagina 20, onder 1e plaatje, 2e regel en 7e regel; 2x ondervind waar ook een t achter moest. En ik vond zelf ook nog een fout gespelde bevind (waar ook een t achter moest) op pagina 9. Dank voor het helpen perfectioneren, Harry!

Van C185 naar C186: dank aan **Luuk Boven**. Hij vond op pagina 23, de eerste regel, een spelfout: "electrische" moest elektrische zijn. Verder wees hij er op dat de formulering over de windrichtingen op pagina 6 verkeerd kon worden geïnterpreteerd: "Zuidenwind wijkt af naar het oosten, noordenwind naar het westen, oostwaartse winden wijken af naar het zuiden, en westwaartse winden naar het noorden worden afgebogen." De beweringen kloppen weliswaar maar het is verwarrend dat er in 2 gevallen '-waarts' (gaat naar) wordt gebruikt en in 2 gevallen de richting waaruit de wind komt. Alles daarom gelijk getrokken en nu westenwind en oostenwind in plaats van oostwaartse wind en westwaardse wind. En gelijk de zin gecorrigeerd, die liep niet goed.

Van C186 naar C189: dank aan **Paul Cuypers**, hij vond een typefoutje op pagina 8 op een na laatste alinea: 'Schematisch, want deze felle wind slingert zich onregelmatig ergens ..'. Verder op zijn verzoek pagina 16 een definitie van onderkoeld water toegevoegd ter verduidelijking.

Van C189 naar C190: dank aan **Corien Mechielsen**, die een fout gespeld woord vond ("tenslote") op pagina 23. Het woord verwijderd, het was niet alleen fout gespeld maar overbodig.

Van C190 naar C192: auteur: op pagina 4 de eerste alinea herschreven: samenstelling lucht toegevoegd en de formeel onjuiste benaming "luchtmolecuul" verwijderd.