

Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

TWISTERS: LINKSOM OF RECHTSOM

Draait een tornado altijd linksom? Loopt een Australisch badputje rechtsom leeg?



DUST DEVIL OF STOFHOOS

diameter: 5-20 m
wind: tot 100 km/h
weer: zwaarste wind
hoe lang: 5 minuten tot 5 minuten

LAGEDRUKGEBIED

diameter: 500-1000 km
wind: tot ca. 100 km/h
weer: bewolkt, neerslag, wind
hoe lang: 5-7 dagen



CORIOLISKRACHT EN MIDDELPUNTZOEKENDE KRACHT

Misschien heb je het wel eens gehoord: het water in een leeglopend bad zou in Australië andersom draaien dan in Nederland. Echt waar... of een 'broodje aap'? De natuurkunde biedt een antwoord.

CORIOLISKRACHT
Stel dat je een bal van de Noordpool naar Moskou schiet. De aarde draait onder de bal door: de bal komt in Londen terecht. Er lijkt een kracht op de bal te werken. Deze schijnkracht heet de Corioliskracht (F_c). Op het noordelijk halfrond werkt deze kracht op een bewegend voorwerp altijd naar rechts als je in de bewegingsrichting kijkt.

MIDDELPUNTZOEKENDE KRACHT
Een draaiende beweging werkt plaats als de resulterende kracht naar het middelpunt gericht is: de middelpuntzoekende kracht (F_m). Bij lucht die rond de kern van een lagedrukgebied beweegt, wordt deze kracht geleend door de som van de volgende twee krachten:
- de drukgradiëntkracht (F_d), van hoge naar lage druk, en
- de Corioliskracht (F_c), naar rechts.

Voor de krachten geldt:

$$F_m = \frac{v^2}{r}$$
 waarbij r = straal systeem, v = snelheid

$$F_m = F_d - F_c$$
 waarbij F_c = de Coriolisparameter $2\Omega \sin(\varphi)$
 (φ = breedtegraad, Ω = draaiingsnelheid van de aarde;
 $\Omega = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ op 45° breedte)

KRACHTEN IN EVENWICHT



Op het noordelijk halfrond werkt de Corioliskracht naar rechts, op het zuidelijk halfrond naar links. De linker draai kan altijd, de rechter alleen bij kleine, snel draaiende systemen (als F_m klein is in vergelijking met F_d).

LINKS- OF RECHTSOM: ROSSBYGETAL
Of de draairichting van een weersysteem 'vastligt', hangt dus af van F_m en F_d , en dus van v en R . De verhouding tussen F_m en F_d heet het Rossbygetal:

$$Ro = \frac{F_m}{F_d} = \frac{v}{Rf}$$
 Alleen als Ro klein is (kleiner is dus ca. 0) ligt de draairichting van het weersysteem vast: linksom op het noordelijk halfrond.

Is het waar dat een badkuip in Australië rechtsom leegloopt, en bij ons linksom? Nee dus. Het systeem 'badkuipputje' is te klein: het Rossbygetal is te groot en de badkuip kan in iedere richting leeglopen. Dus toch een broodje aap!

[WWW.WAGENINGENUNIVERSITEIT.NL](http://www.wageningenuniversiteit.nl)



TORNADO OF WINDHOOS

diameter: 10-1000 m
wind: tot 400 km/h
weer: veranderende wind, regen en onweer
hoe lang: van 5 minuten tot 5 uur

TROPISCHE CYCLOON

diameter: 100-500 km
wind: tot 250 km/h
weer: veranderende wind, hevige regen, onweer
hoe lang: 5-10 dagen




WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGENUR



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Inleiding

Deze lesbrief hoort bij de lesposter Twisters: linksom of rechtsom? Op de poster wordt beschreven waarom twisters (orkanen, dustdevils, badputje) wel of niet een vaste draairichting hebben. Dit wordt vooral bepaald door de draaiing van de aarde, de Corioliskracht, en de schaal van het systeem. Deze Corioliskracht speelt ook een zeer belangrijke rol in het weer zoals wij dat in Nederland ervaren. Daarover gaat deze lesmodule; je zult leren welke krachten in de atmosfeer een rol spelen, hoe hoge- en lagedrukgebieden in elkaar zitten en waarom het mooi of juist slecht weer is.

Doel

- Inzicht verkrijgen in de krachten die een rol spelen in de atmosfeer.
- Inzicht verkrijgen in de hoge- en lagedrukgebieden en de bijbehorende circulaties die ons weer voor een groot deel bepalen.
- Op een andere manier naar het alledaagse weer kijken

Theorie

Corioliskracht

Stel je bevindt je in een draaiend systeem, bijvoorbeeld een draaimolen, en je gooit een bal naar het midden van de draaimolen, dan zal deze bal niet recht gaan, maar afbuigen als gevolg van het draaien van de draaimolen. De aarde is in feite ook een groot draaiend systeem en alle bewegingen in het aardsysteem ondervinden een kracht, die zorgt voor een afbuiging. Deze kracht heet de Corioliskracht (F_{cor}) en is in feite een schijnkracht. Alles wat zich in het roterende systeem van de aarde bevindt, ondervindt deze kracht, maar als je buiten het systeem staat, bestaat de kracht niet, vandaar de naam schijnkracht. De Corioliskracht werkt als gevolg van de draairichting van de aarde op het noordelijk halfrond naar rechts en op het zuidelijk halfrond naar links. De Corioliskracht heeft alleen effect op systemen met een klein Rossby-getal (de grens is ca. $Ro < 5$) waarbij het Rossby-getal gedefinieerd is als;

$$Ro = \frac{v}{r \cdot f} \quad \text{waarbij} \quad f = 2\Omega \sin(\varphi)$$

met v de windsnelheid ($m \cdot s^{-1}$), r de straal (m) van het systeem, f (s^{-1}) de Coriolisparameter, welke afhankelijk is van φ , de breedtegraad ($^{\circ}$) en de rotatiesnelheid van de aarde (als hoeksnelheid: 2π in 24 uur, oftewel $7,292 \cdot 10^{-5} s^{-1}$).

De formule voor het Rossby-getal laat zien dat de Corioliskracht alleen merkbaar is in grote en 'trage' systemen, aangezien een grote r en een kleine v leiden tot een kleine Ro . Voorbeelden van dit soort systemen zijn lagedrukgebieden of oceaanstromingen. Een badputje of een stofhoos zijn dus te kleine of te snelle systemen en worden daardoor niet beïnvloed door de Corioliskracht. De draairichting wordt dan door andere factoren bepaald; de karakteristieken van een onweersbui bepalen de draairichting van een tornado en de draairichting in een badputje wordt in grote mate bepaald door de vorm van de badkuip of wastafel.

Hoge- en lagedrukgebieden

De luchtdruk op de grond wordt bepaald door de hoeveelheid lucht erboven. Bevindt er zich veel lucht boven je hoofd dan is de druk van de lucht op de grond hoog; hoge luchtdruk en dit uit zich dan in een hogedrukgebied. Bij een lagedrukgebied is het logischerwijs andersom, dan bevindt er zich minder lucht boven je hoofd.

In de atmosfeer spelen verschillende krachten een rol, waarvan de drukgradiënt kracht (F_p) de belangrijkste is. Deze kracht zorgt ervoor dat lucht stroomt en dat er dus wind is: van hoge naar lage druk. De Corioliskracht zorgt er echter voor dat wind wordt afgebogen (naar rechts op het noordelijk halfrond), wat resulteert in stroming parallel aan de isobaren (lijnen van gelijke druk). De lucht stroomt dus als het ware tussen een hoog- en lagedrukgebied door. Dit bracht Buys Ballot

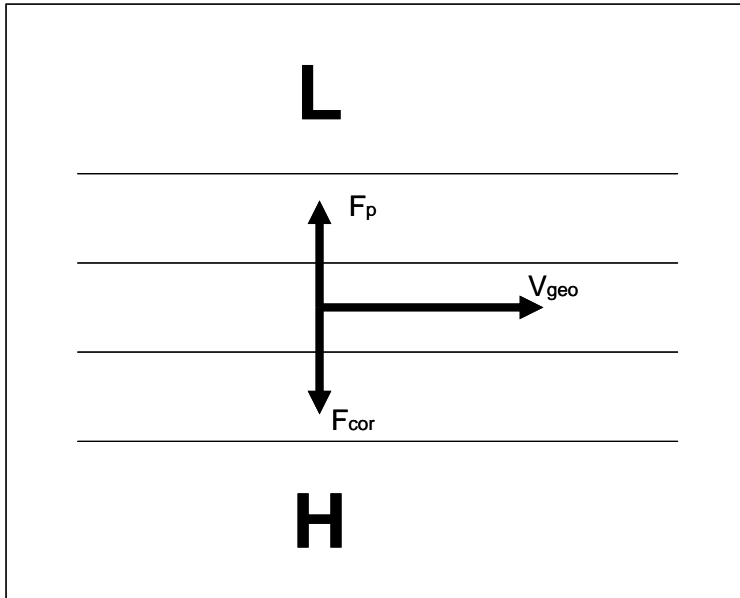


Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

(oprichter van het KNMI) ook tot zijn beroemde wet: *Met de wind in de rug ligt het lagedrukgebied op het noordelijke halfrond links en het hogedrukgebied rechts.*

Het evenwicht tussen de drukgradiënt kracht en de Corioliskracht wordt ook wel geostrofisch evenwicht genoemd. De windsnelheid bij het geostrofisch evenwicht heet de geostrofische wind (v_{geo}) en is zichtbaar in figuur 1.



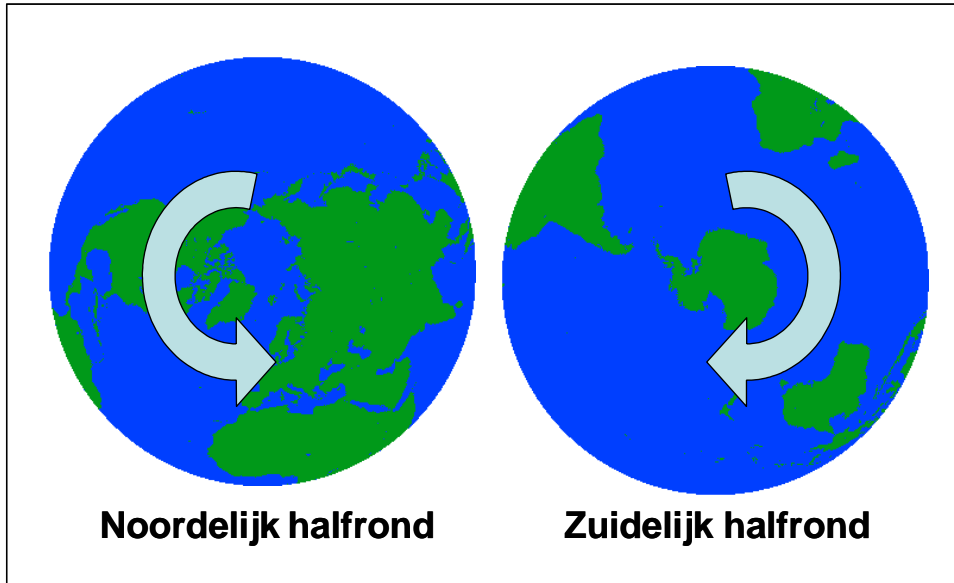
Figuur 1: Geostrofisch evenwicht met de bijbehorende geostrofische wind.
 F_p = drukgradiënt kracht, F_{cor} = Corioliskracht, v_{geo} = geostrofische wind

In werkelijkheid zijn de isobaren bij hoge- en lagedrukgebieden meestal cirkelvorming en dus zelden recht. Hierdoor wordt er nog een kracht toegevoegd; de middelpuntzoekende kracht. Deze kracht is een resultante van de drukgradiënt kracht en de Corioliskracht en is altijd naar het midden gericht. De middelpuntzoekende kracht is relatief klein in vergelijking met de andere twee krachten, maar zorgt er wel voor dat bij een lagedrukgebied de stroming linksom (tegen de klok in) en bij een hogedrukgebied rechtsom (met de klok mee) het centrum draait.

Omdat op het zuidelijk halfrond de Corioliskracht naar links (in plaats van naar rechts op het noordelijk halfrond) wijst, zijn de woorden 'linksom' en 'rechtsom' niet erg gelukkig gekozen. Hiervoor zijn de woorden cyclonaal (draait in dezelfde richting als de aarde) en anti-cyclonaal (draait in de tegenovergestelde richting als de aarde) bedacht. Als je de aarde van boven de polen bekijkt zie je twee halve bollen die in tegengestelde richting draaien, zoals in figuur 2 kunt zien.

Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

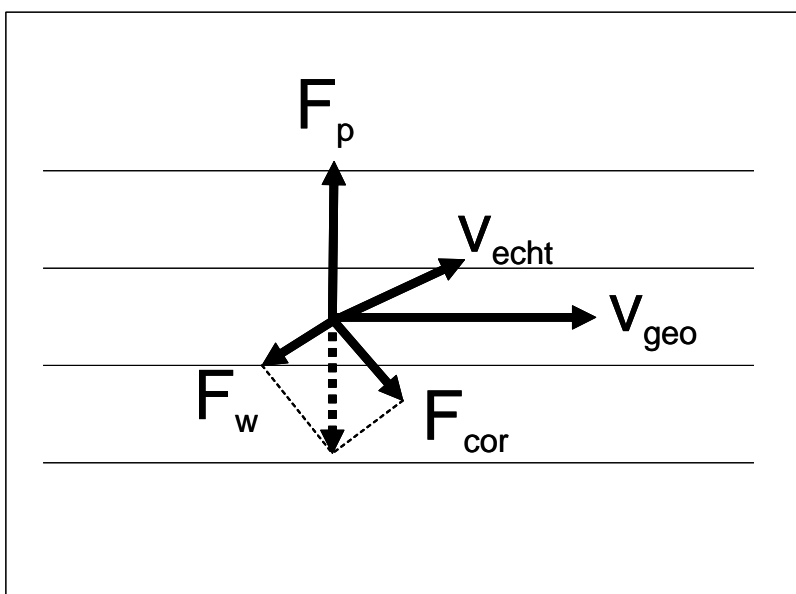


Figuur 2: Links: de draairichting (linksom) van het noordelijk halfrond, gezien van boven de Noordpool. Rechts: de draairichting (rechtsom) van het zuidelijk halfrond, gezien van boven de Zuidpool.

De stroming om een lagedrukgebied is dus op beide halfronden cyclonaal (noordelijk halfrond: tegen de klok in, zuidelijk halfrond: met de klok mee) en bij een hogedrukgebied stroomt de lucht anti-cyclonaal (noordelijk halfrond: met de klok mee, zuidelijk halfrond: tegen de klok in) om het centrum heen.

Wrijving

De echte wind (v_{echt}), zoals wij die aan de grond voelen, wijkt bijna altijd af van de geostrofische wind. Bij geostrofisch evenwicht wordt naast de middelpuntzoekende kracht bijvoorbeeld ook de wrijvingskracht verwaarloosd. Dit is in de hogere atmosfeer een goede aanname, maar dicht bij het aardoppervlak werkt deze aanname een stuk minder goed: wrijving met het aardoppervlak zorgt voor een remming van de wind. Door deze afname van de windsnelheid neemt de Corioliskracht af, terwijl de drukgradiënt kracht gelijk blijft. Hierdoor heeft de echte wind dus een afwijking richting lagere druk (links op het noordelijk halfrond) ten opzichte van de geostrofische wind.



Figuur 3: De echte wind wijkt ten opzichte van de geostrofische wind af richting lage druk.

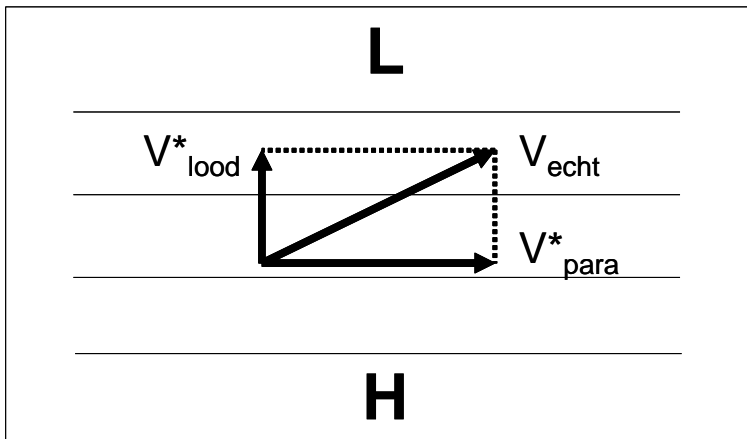
Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Ekman transport

Door de afwijking van de echte wind ten opzichte van de geostrofische wind is de stroming dus niet meer parallel aan de isobaren. Hierdoor vindt er transport van lucht plaats over de isobaren heen. Als we een perfect rond lagedrukgebied bekijken, is de stroming erom heen cyclonaal met aan de grond een lichte afwijking richting lage druk. Je kunt aan de grond de echte-windvector ontbinden in twee componenten, zoals in Figuur 4 is gedaan. Je krijgt dan een component parallel aan de isobaren (v_{para}^*) en een component loodrecht op de isobaren (v_{lood}^*). De parallelle component van de wind wordt ook wel de primaire circulatie genoemd, omdat deze component meestal het grootst is.

De loodrechte component zorgt voor netto transport van massa over de isobaren heen, Ekman transport genoemd. Doordat de loodrechte component bij een lagedrukgebied naar het centrum is gericht stroomt de lucht daar samen (convergentie) en wordt de lucht gedwongen te stijgen. Deze stijgbeweging wordt ook wel de secundaire circulatie van een lagedrukgebied genoemd.



Figuur 4: Ontbinding van de echte-windvector (v_{echt}) in twee componenten; een component parallel aan de isobaren (v_{para}^*) en een component loodrecht op de isobaren (v_{lood}^*).

In een hogedrukgebied is het precies andersom dan bij een lagedrukgebied. De loodrechte component richt zich juist van het centrum af, namelijk richting de lage druk, waardoor er dus uitstroming van lucht (divergentie) plaatsvindt in het centrum. De lucht moet worden aangevuld, wat leidt tot een dalende secundaire circulatie in een hogedrukgebied.

Verskil in oppervlakte-eigenschappen

Hoe groter de wrijvingskracht is, hoe meer de echte wind afwijkt van de geostrofische wind. Als er dus veel wrijving is, zorgt dit voor veel transport richting het centrum en dus voor grotere stijgende bewegingen. Toch heeft wrijving ook een negatieve invloed op een lagedrukgebied, want massatransport richting het centrum van een lagedrukgebied zorgt ervoor dat het lagedrukgebied opvult en dus afzwakt.

Opvulling is ook een hoofdreden waarom stormdepressies (sterke lagedrukgebieden) boven zee heel krachtig kunnen zijn, maar boven land snel afzwakken. Boven land is de wrijving een stuk groter dan boven de zee, waardoor een lagedrukgebied snel opvult en de luchtdrukgradiënt dus kleiner wordt.

Een andere reden voor sterkere stormen boven zee dan boven land, is dat er boven zee veel vocht beschikbaar is. Naarmate lucht kouder wordt, kan het minder vocht bevatten. Hierdoor leidt de stijgende lucht in een lagedrukgebied snel tot condensatie en dus tot wolkenvorming. Bij condensatie komt ook energie vrij waardoor de storm sterker wordt.

Mooi en slecht weer

Ondanks dat je het op het eerste gezicht niet zou zeggen, wordt ons gevoel van het weer voor een groot deel bepaald door het Ekman transport. Door de stijgende luchtbewegingen in een lagedrukgebied worden daar snel en makkelijk regenwolken gevormd. Als dit dan ook nog eens gepaard gaat met hoge windsnelheden spreken we al snel van 'slecht weer'.



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Dalende bewegingen in een hogedrukgebied zorgen ervoor dat daar juist geen wolken kunnen ontstaan. Als lucht daalt neemt de temperatuur namelijk toe, waardoor de lucht meer vocht kan bevatten. Zonder toevoeging van vocht wordt de lucht dus steeds droger. Hierdoor is het in een hogedrukgebied vaak 'mooi weer'; blauwe lucht, zonnetje, enkele schapenwolkjes en een licht windje. Wat wil een mens nog meer...

Extra: meer over de geostrofische wind

Je weet nu wat de geostrofische wind inhoudt en op welke manier deze om een lage- of hogedrukgebied heen waait. Maar naast windrichting is de windsnelheid eigenlijk minstens zo belangrijk, bijvoorbeeld voor de luchtvaart of mogelijke schade bij een storm.

De geostrofische wind is een evenwicht tussen twee 'simpele' krachten en daardoor betrekkelijk eenvoudig te berekenen:

$$v_g = \frac{1}{\rho f} \frac{dp}{dx}$$

met v_g de geostrofische wind (ms^{-1}), f de Coriolisparameter (s^{-1}), ρ de dichtheid van de lucht (ongeveer 1.2 kg m^{-3} aan de grond) en dp/dx de luchtdrukgradiënt (Pa m^{-1}) (verandering van de druk over een horizontale afstand).

De berekende geostrofische wind is vaak een goede benadering van de werkelijke wind op enige hoogte boven de grond ($\sim 2 \text{ km}$).

Zoals eerder beschreven is de wind aan de grond een stuk minder sterk door de wrijving met het oppervlak, maar toch gebruiken meteorologen de geostrofische wind soms ook voor een weerbericht. Een voorbeeld hiervan is een hevige regenbui; de lucht in een regenbui valt als het ware met de regendruppels naar beneden, dit wordt ook wel een 'downdraft' (valwind in het Nederlands) genoemd. Deze lucht valt redelijk snel waardoor zijn eigenschappen (gedeeltelijk) behouden blijven. Daarom is het ook vaak kouder in een regenbui, de lucht komt immers van boven. De 'vallende' lucht behoudt ook zijn horizontale snelheid en dus is de wind aan de grond soms enige tijd bij benadering geostrofisch. Wij merken dit meestal in de vorm van windstoten. In het nieuws wordt hier vaak voor gewaarschuwd omdat ze zeer sterk en daardoor gevaarlijk kunnen zijn. Windstoten zijn in locatie en sterkte erg onvoorspelbaar.



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Vragen en opdrachten

1. De luchtdruk aan de grond is te berekenen met behulp van $p=mg$ (waarbij g de zwaartekrachtsversnelling is en m de massa van de atmosfeer boven één vierkante meter aardoppervlak).
 - a. De gemiddelde luchtdruk op aarde is 1013 hPa. Wat is de gemiddelde massa van de atmosfeer boven één vierkante meter aardoppervlak ?
 - b. Bereken het verschil in massa (boven één vierkante meter) tussen een diep lagedrukgebied met een kerndruk van 950 hPa en een hogedrukgebied met een kerndruk van 1050 hPa.

De bovenstaande luchtdrukwaarden zijn extreem in de aardse atmosfeer. In Nederland liggen de luchtdrukrecords van de afgelopen eeuw rond deze waarden en komen dus zelden voor.

- c. Hoe verhoudt het, net berekende, *verschil* in massa zich tot de *totale* massa van de atmosfeer boven een vierkante meter? En wat zegt dit over de extremen in de atmosfeer?
 - d. Stel je bent op wintersport in Frankrijk (2500m hoogte) en je pakt na een dag skiën een zak chips uit je tas die je nog van thuis had meegenomen. Verklaar (eventueel met getallen) waarom het zakje helemaal bol staat.
2. Neem een weerkaart waarop een duidelijk lagedrukgebied te zien is.
 - a. Bepaal de straal van het lagedrukgebied (bedenk dat je de schaal van de weerkaart kunt afleiden uit de afstand tussen breedtegraden: op de bijgeleverde weerkaart zijn die om de 10 graden getekend en de omtrek van de aarde is 40000 km).
 - b. Bepaal het Rossby-getal als de gemiddelde windsnelheid rond het lagedrukgebied 90 km/uur is. Is het systeem in geostrofisch evenwicht?
 - c. Geef met behulp van pijlen aan hoe de wind waait op minstens 5 verschillende plaatsen op de weerkaart.
 - d. Leg met behulp van de weerkaart en het bijgevoegde satellietbeeld uit wat voor weer het in Frankrijk is.
 3. Maak een verticale doorsnede van een hoge- en/of lagedrukgebied, waarin duidelijk de primaire en secundaire circulatie naar voren komt.
 4. Bedenk waarom geostrofisch evenwicht niet op en rond de evenaar geldt.

Extra vraag

5.
 - a. Bereken met behulp van de weerkaart de geostrofische wind boven Nederland.

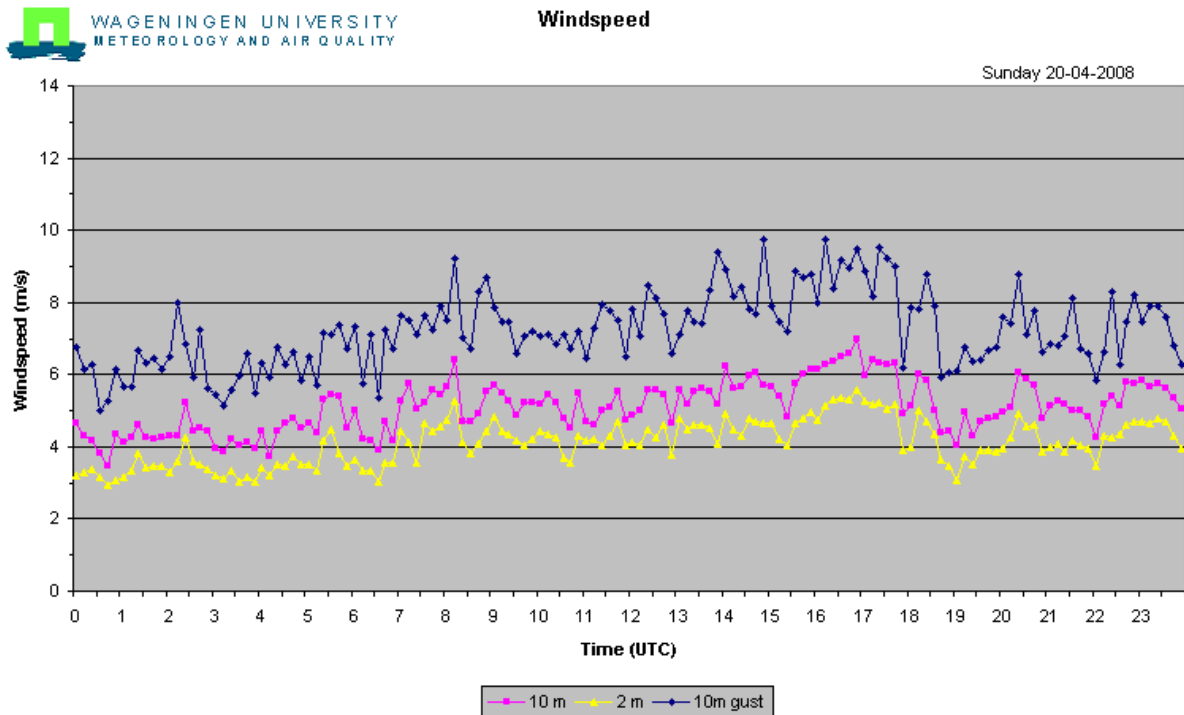
Hieronder is de windsnelheid van 20-04-2008 te zien op het weerstation van Wageningen Universiteit. De gele, roze en blauwe lijnen geven respectievelijk de wind op 2m, 10m en de windstoten op 10m aan.

- b. Leg met behulp van onderstaande grafiek uit waarom het geostrofisch evenwicht niet geldt dichtbij de grond.



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-



Figuur 5: Windsnelheden op het weerstation 'Haarweg' van de Wageningen Universiteit: onderste lijn: windsnelheid op 2 meter hoogte, middelste lijn windsnelheid op 10 meter hoogte, bovenste lijn: windstoot in een 10-minuten interval. Kijk voor meer weerdata en het huidige weer op www.met.wau.nl.

Oriëntatie op vervolgonderwijs

Het onderwerp van deze lesmodule kom je ook tegen bij de BSc-opleiding Bodem, water en atmosfeer van Wageningen Universiteit. Naast meteorologie gaat deze studie ook in op de bèta-aspecten van bijvoorbeeld bodemkunde, hydrologie en aquatische ecologie. Lijkt je dit interessant, kijk dan voor meer informatie op www.wageningenuniversiteit.nl.

Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Voor de docent

Inleiding

Deze lesbrief hoort bij de lesposter Twisters: linksom of rechtsom? Als u deze nog niet heeft, kunt u die aanvragen via onze website www.wageningenuniversiteit.nl → Docenten/Dekanen → Lesmateriaal.

Op de poster wordt beschreven waarom twisters (orkanen, dustdevils, badputjes) wel of niet een vaste draairichting hebben. Dit wordt vooral bepaald door de draaiing van de aarde, de Corioliskracht, en de schaal van het systeem. Deze Corioliskracht speelt ook een zeer belangrijke rol in het weer zoals wij dat in Nederland ervaren. Daarover gaat deze lesmodule.

In deze lesmodule wordt geprobeerd om leerlingen inzicht te geven in het dagelijkse weer van Nederland. Iedereen kent de weerkaartjes van het weerbericht op tv, maar weinig mensen weten waarom het nu vaak mooi weer is in een hogedrukgebied. Na het lezen en maken van deze lesmodule zullen leerlingen (hopelijk) een beter besef hebben van het hoe en waarom van het weer om ons heen.

Verdere achtergrondinformatie bij de poster is te vinden in twee NVOX artikelen:

- Twisters: rotatie in de atmosfeer - deel 1: linksom of rechtsom?, Moene, A.F.; Michels, B.J.; Holtslag, A.A.M., NVOX Tijdschrift voor Natuurwetenschap op School (2004). p. 133 - 135.
- Twisters: rotatie in de atmosfeer - deel 2: twisters in soorten en maten, Moene, A.F.; Michels, B.J.; Holtslag, A.A.M. NVOX Tijdschrift voor Natuurwetenschap op School (2004). p. 251 - 254.

Beide artikelen zijn ook te vinden op de website van de leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit: www.maq.wur.nl onder 'Publications' → 'Selected articles in Dutch'.

Bij vraag 2 van de opdrachten wordt er gebruik gemaakt van een weerkaart, zoals die op tv te zien is. Het is natuurlijk het leukst om een weerkaart van het huidige weer te gebruiken, maar dit is niet altijd mogelijk. Om vraag 2 een beetje beantwoordbaar te houden is het nodig dat er zich een mooi circulair (hoge- of) lagedrukgebied op de kaart bevindt. Weerkaarten van het huidige weer zijn te vinden op http://www.knmi.nl/waarschuwingen_en_verwachtingen/weerkaarten.php. De kans is redelijk klein dat er een goed hoge- of lagedrukgebied aanwezig is, vandaar dat er ook een voorbeeldkaart van 20-04-2008 is bijgevoegd. Van deze situatie zijn ook de antwoorden beschikbaar.

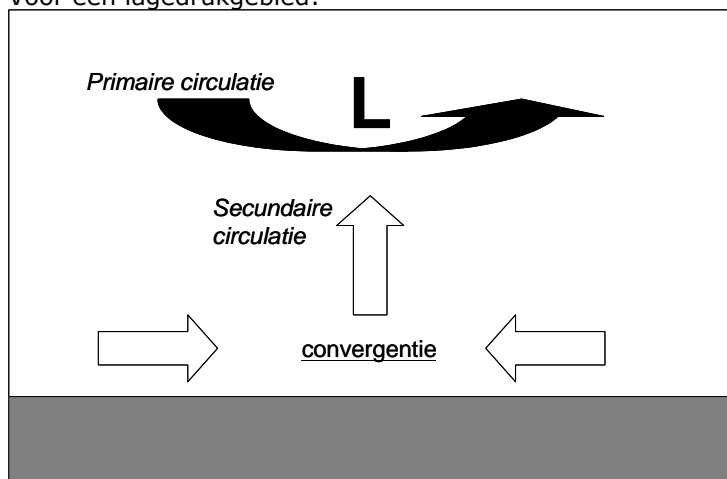


Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Uitwerking van de vragen

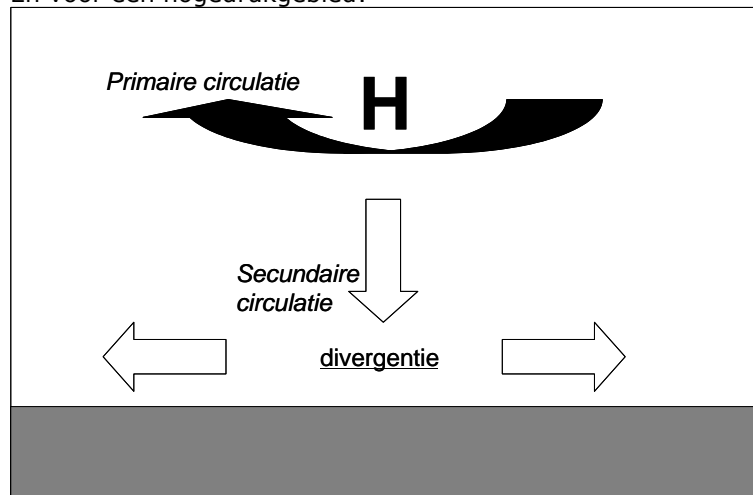
- $p = mg \rightarrow 101300 = 9.8 m \rightarrow m = 10336.7 \text{ kg m}^{-2} \sim 10^4 \text{ kg m}^{-2}$
 - 950 hPa: $m = 9694 \text{ kg m}^{-2}$; 1050 hPa: $m = 10714 \text{ kg m}^{-2}$
 $\Delta m = 10714 - 9694 = 1020 \text{ kg} \sim 10^3 \text{ kg m}^{-2}$
 - Verhouding tussen het verschil en de totale massa is $\Delta m/m = 10^3/10^4 = 0.1$, dus 10%. De luchtdrukextremen in de atmosfeer zijn voor ons een extreem, maar voor de atmosfeer is het slechts een kleine variatie. Het verschil is ten opzichte van het totaal bijna te verwaarlozen.
 - De zak chips is afgesloten en binnenin heerst dus de luchtdruk van Nederland (ca. 1013 hPa). Op 2500m hoogte is h kleiner en dus de luchtdruk lager (ca 800 hPa). Doordat de luchtdruk in de zak chips groter is (1000 vs 800 hPa) staat hij bol.
- Als de voorbeeldweerkartaart (figuur 200408) wordt genomen dan gelden onderstaande antwoorden.
 - De straal van het systeem (de grenzen zijn wat arbitrair) komt overeen met 11 graden in Noord-Zuid richting (de breedtegraden zijn om de 10 graden getekend op deze kaart). Een graad in Noord-Zuid richting komt overeen met $40000 \text{ km} / 360^\circ = 111.11 \text{ km}$. Daarmee is de straal van dit systeem dus ruim 1200 km (1222 km).
 - $v = 25 \text{ m s}^{-1} \rightarrow Ro = 25 / (10^{-4} \cdot 1,222 \cdot 10^6) = 0.20$. Dus het systeem is in geostrofisch evenwicht.
 - Zie figuur 200408 – antwoorden.
 - Frankrijk ligt vlakbij het centrum van het lagedrukgebied en dankzij Ekman transport zijn daar stijgende bewegingen. Dit zorgt voor veel wolken en neerslag. Met de harde wind rond het lagedrukgebied is het er dus erg slecht weer.
Extra uitleg: de rode, blauwe en paarse lijnen in de figuur geven respectievelijk warmte-, koude- en oclusiefronten aan, dit zijn grenzen tussen verschillende luchtsoorten en gaan vaak gepaard met regen.
Nederland ligt tussen een lage- en hogedrukgebied in en zit dus een beetje 'op de wip'. De wind is zuidoostelijk dus het zal aan de warme kant zijn.
- Voor een lagedrukgebied:



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

En voor een hogedrukgebied:



4. Op of rond de evenaar is de breedtegraad zo goed als nul, $\varphi \sim 0^\circ$. Hierdoor is de Coriolisparameter ook zo goed als nul, $f \sim 0$. Geostrofisch evenwicht is gebaseerd op het evenwicht tussen de drukgradiënt kracht en de Corioliskracht, maar rond de evenaar is de Corioliskracht ~ 0 , dus gaat het evenwicht niet op bij de evenaar.

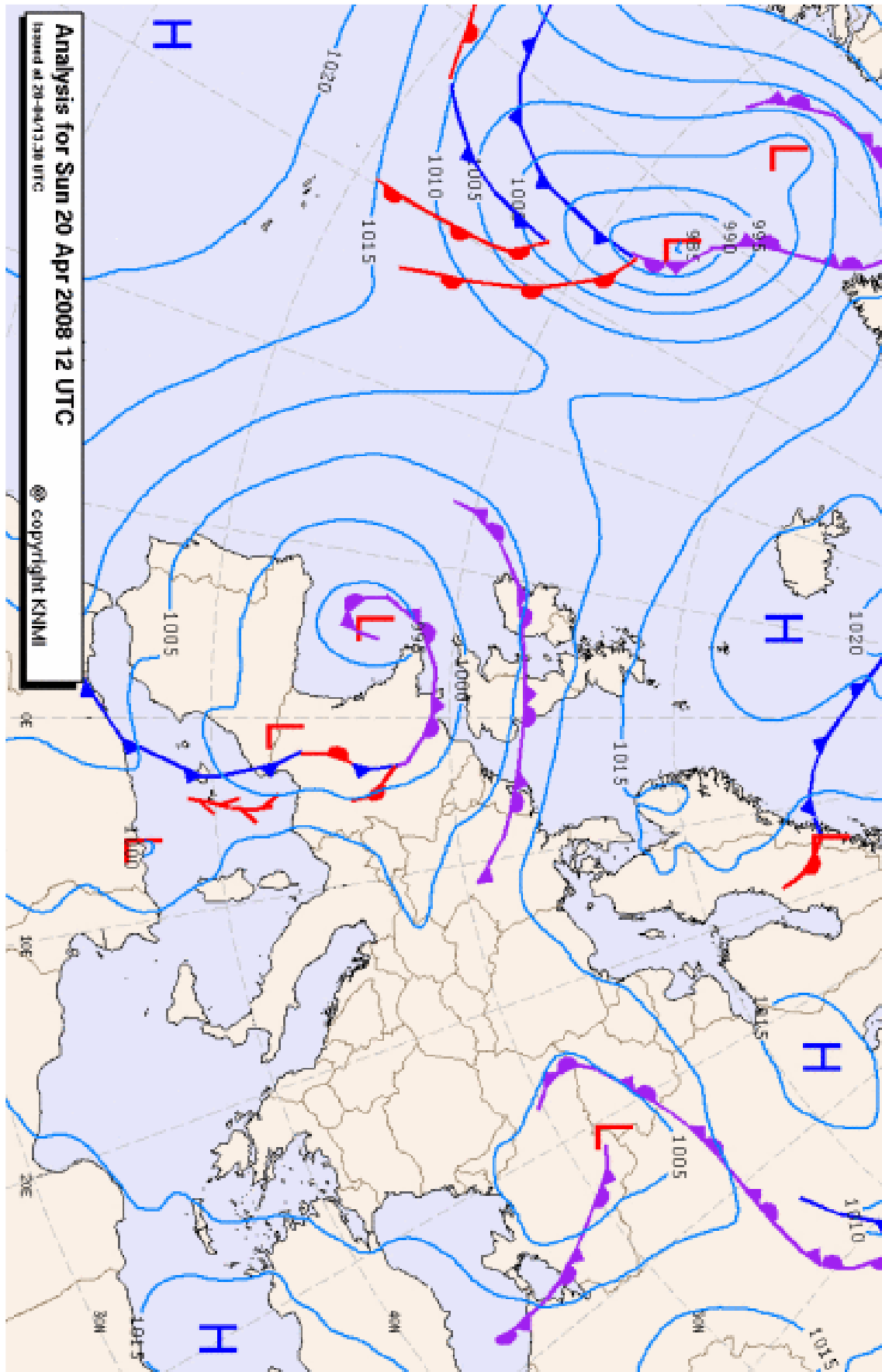
Extra vraag

- 5.
- De afstand tussen de 1005- en 1010-isobaar is ongeveer $1/5$ van de afstand 50°N - naar 60°N -breedte. Een graad in Noord-Zuid richting komt overeen met $40000 \text{ km} / 360^\circ = 111.11 \text{ km}$. Dus dan is de afstand tussen de isobaren: $2 \cdot 1,11 \cdot 10^5 = 2,22 \cdot 10^5 \text{ m} \sim 220 \text{ km}$. Hierdoor wordt $dp/dx \approx 500 / 2,22 \cdot 10^5 \text{ Pa/m}$.
De Coriolisparameter op 52°N is: $2 \cdot 7,292 \cdot 10^{-5} \cdot \sin(52^\circ) = 1,15 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. De geostrofische wind is dan: $v_g = (1 / (1,2 \cdot 1,15 \cdot 10^{-4})) \cdot (500 / 2,22 \cdot 10^5) = 16,3 \approx 16 \text{ m s}^{-1}$.
 - De wind op 2 meter hoogte schommelt rond de 4 m s^{-1} en de wind op 10m is gemiddeld rond de $5\text{-}6 \text{ m s}^{-1}$. De geostrofische wind is berekend in a) en is $\sim 16 \text{ m s}^{-1}$, dit is dus een bijna 3 keer zo hoog als aan de grond. Er heerst dus duidelijk geen geostrofisch evenwicht. Ook de windstoten halen bij lange na niet het niveau van de geostrofische wind, dit komt doordat het op deze zondag relatief mooi weer was en er dus weinig verticale uitwisseling was in de atmosfeer. Alleen in hevige regenbuien of met harde storm komen de windstoten in de buurt van de geostrofische wind.

Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

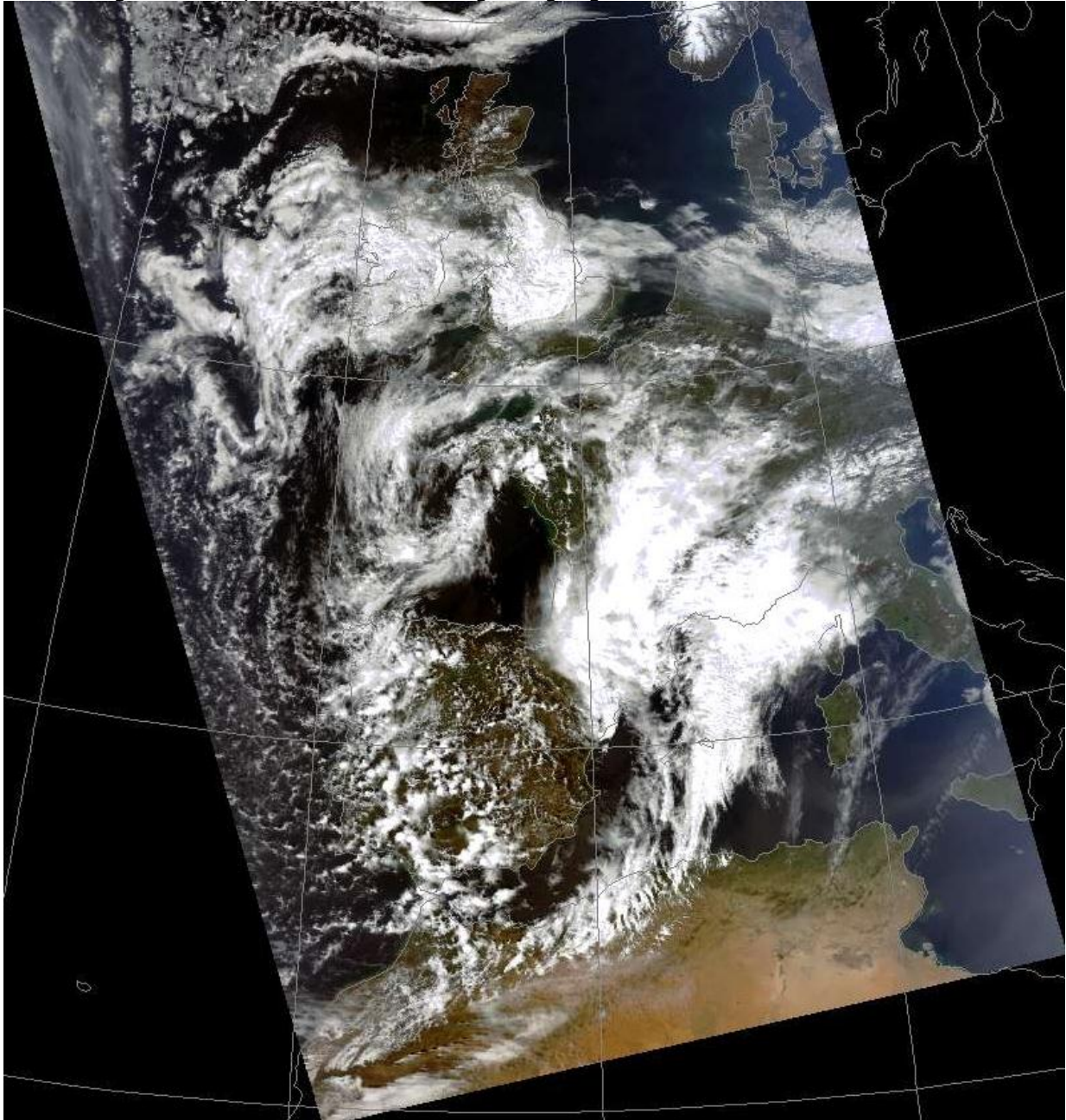
Weerkaart voor 20-04-2008



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

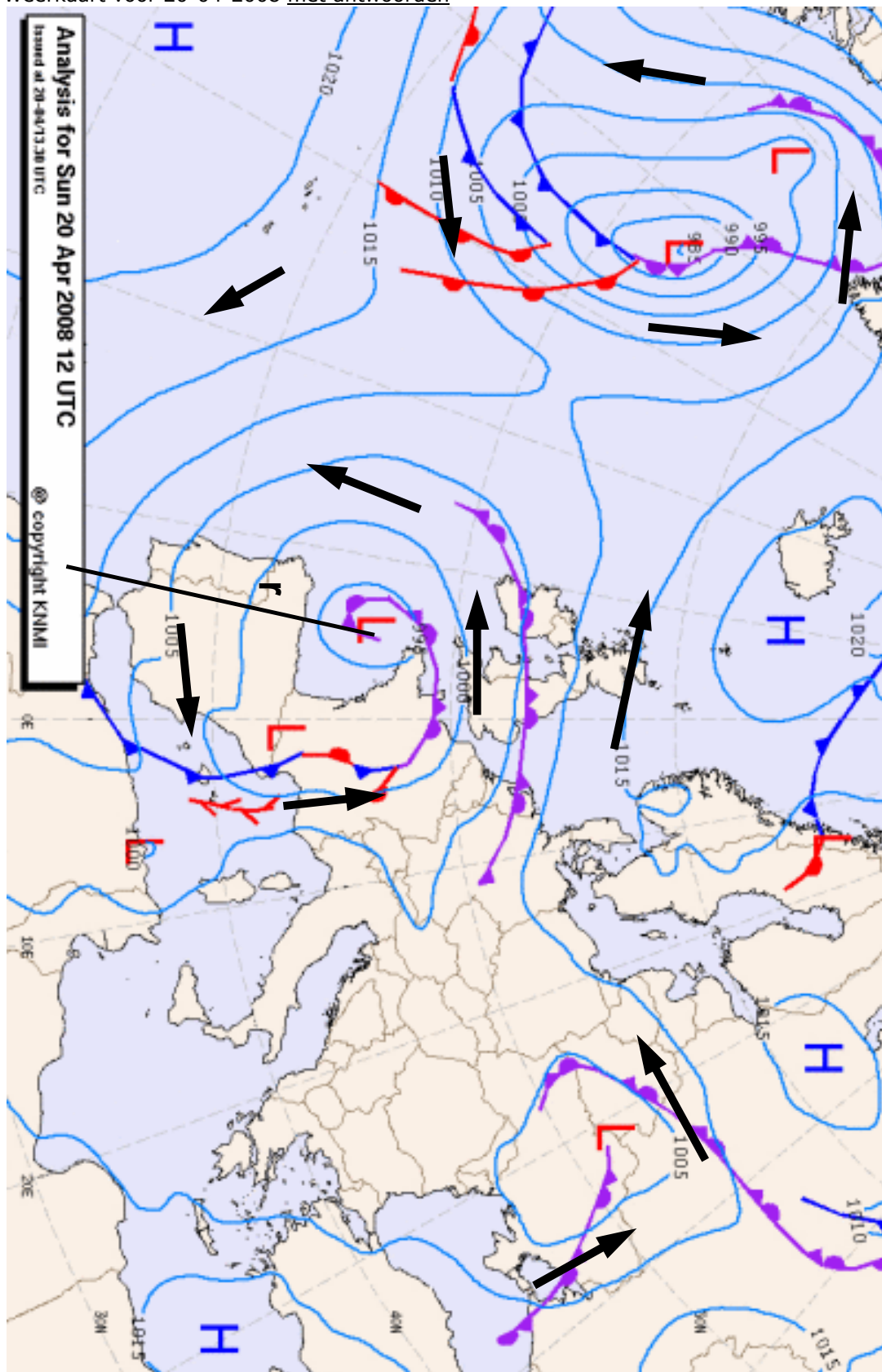
Satellietbeeld West Europa, op 20 april 2008, 13.09 GMT. Afkomstig van MODIS satelliet; samengesteld uit opnames in een aantal golflengte-gebieden.



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Weerkaart voor 20-04-2008 met antwoorden



Twisters: linksom of rechtsom?

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Voor de vraagbaakmedewerker

Auteurs

Stefan Ligtenberg (student Meteorologie)

Arnold Moene (medewerker Isg Meteorologie en Luchtkwaliteit)

Mei 2008

