

DE STRAALSTROOM: ONTSTAAN EN BELANG VOOR ONS WEER

Niels Souverijns¹

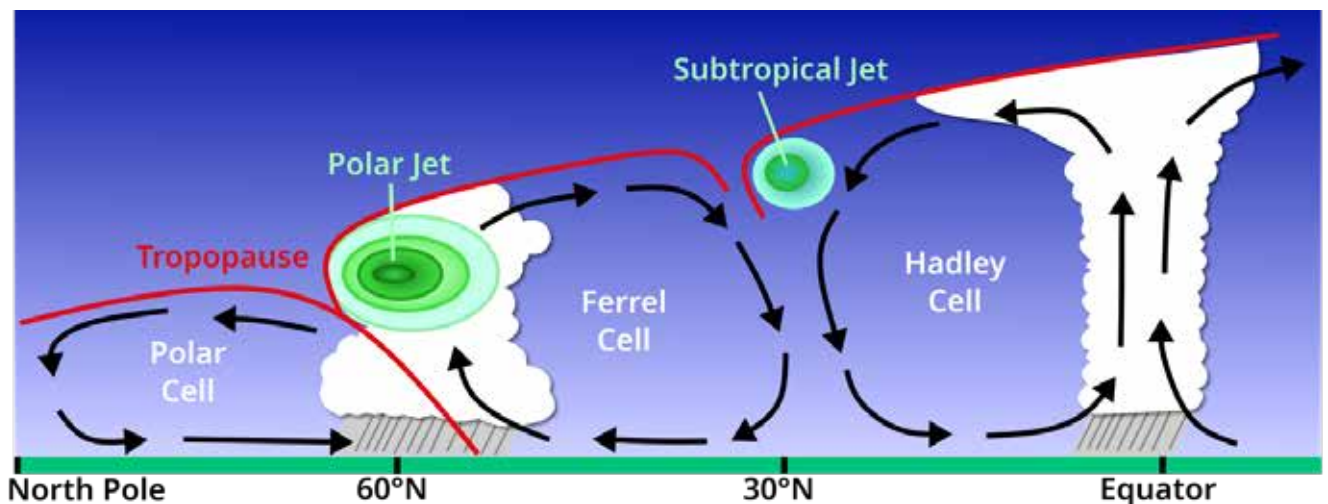
Met medewerking van Dirk Vanderhallen

¹VITO, Mol.

1. Inleiding

In 2018 werd een opmerkelijk record verbroken. De snelste vlucht tussen New York en Londen werd aangescherpt tot een tijd van net geen 5 uur. Er werden snelheden gehaald die ruim 200 km/u hoger lagen dan de gemiddelde snelheid van gelijkaardige vluchten, tot 1300 km/u. De reden hierachter was een sterke wind in de rug, die snelheden haalde tot wel 300 km/u rond de kruishoogte van het vliegtuig. Hoge windsnelheden aan de top van de tropopauze van west naar oost zijn een typisch fenomeen rond onze breedtegraden. Een band van enkele honderden kilometers in breedte met deze hoge windsnelheden vormt daar namelijk de grens tussen de Ferrel en de polaire cel en wordt ook wel de polaire straalstroom genoemd (Figuur 1). Tussen de Hadley en de Ferrel cel bevindt zich een gelijkaardige band (met lagere windsnelheden), deze noemen we de subtropische straalstroom.

De polaire straalstroom is niet enkel een belangrijke grens tussen de polaire en Ferrel cel, maar heeft, ondanks zijn ligging aan de top van de troposfeer, een zeer belangrijke impact op het weer op onze breedtegraden. Tegenwoordig wordt de straalstroom niet meer besproken in het weerbericht, maar de mature lezer zal zich nog de weerberichten van Armand Pien op de toenmalige BRT herinneren. Hij maakte er een punt van om de locatie van de straalstroom steeds aan te duiden op de weerkaarten. Zoals uit dit artikel zal blijken, kan de locatie van de straalstroom ons heel veel bijleren over het (te verwachten) weer in onze contreien. In dit artikel bespreken we achtereenvolgens de mechanismen die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van de straalstroom. Waarom zijn de windsnelheden zo hoog? Waarom ligt deze juist rond onze breedtegraden? En wat bepaalt zijn ligging? Vervolgens kijken we wat de impact is op ons weer. De invloed op temperatuurvariaties en het ontstaan van lage- en hogedrukgebieden komen aan bod.



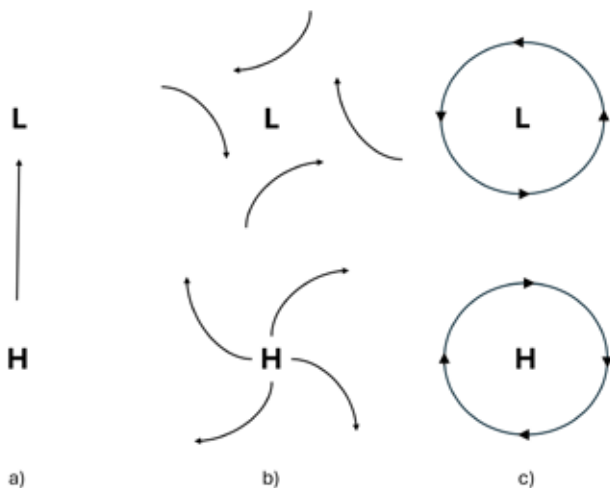
Figuur 1: Doorsnede van de grootschalige luchtbewegingen in de troposfeer in het noordelijk halfrond met de drie circulatiecellen (van evenaar naar polen respectievelijk de Hadley, Ferrel en polaire cel) en de bijhorende straalstromen (jets) op de grens van deze cellen aan de top van de tropopauze (Bron: Atkinson, B.W., 1981: Dynamical meteorology: an introductory selection).

Ten slotte bespreken we hoe de straalstroom beïnvloed wordt door de klimaatverandering en hoe dit het weer in onze regio's zou kunnen doen veranderen.

2. Hoe ontstaat de straalstroom?

Om te begrijpen waarom deze band met hoge windsnelheden zich rond onze breedtegraden bevindt, moeten we terug naar de basis. Hoe ontstaat wind? De initiële kracht achter de verplaatsing van lucht van de ene plaats naar de andere ligt in het verschil in luchtdruk tussen twee plaatsen. Deze kracht wordt de drukgradiëntkracht genoemd. Wanneer andere krachten verwaarloosd worden, verplaatst lucht zich van plaatsen met hoge luchtdruk naar plaatsen met lage luchtdruk (Figuur 2a). Echter, vanuit observaties en uit onze handboeken weten we dat lucht niet rechtstreeks van een hoge- naar een lagedrukgebied stroomt, maar dat er cirkelvormige bewegingen zijn. Op het noordelijk halfrond stroomt de lucht rond een hogedrukgebied met de wijzers van de klok mee, terwijl rond een lagedrukgebied dit tegen de wijzers van de klok is (Figuur 2c). De kracht die voor deze afbuiging van de luchtbewegingen zorgt is de corioliskracht.

Deze kracht wordt veroorzaakt door de rotatie van de aarde en zorgt ervoor dat de luchtbewegingen van hoge druk naar lage druk afwijken naar rechts op het noordelijk halfrond, terwijl dit naar links is op het zuidelijk halfrond (Figuur 2b). De Nederlander Buys-Ballot beschreef deze grootschalige rotatiebewegingen van luchtmassa's onder invloed van de drukgradiënt- en corioliskracht als eerste, al in het midden van de 19e eeuw.

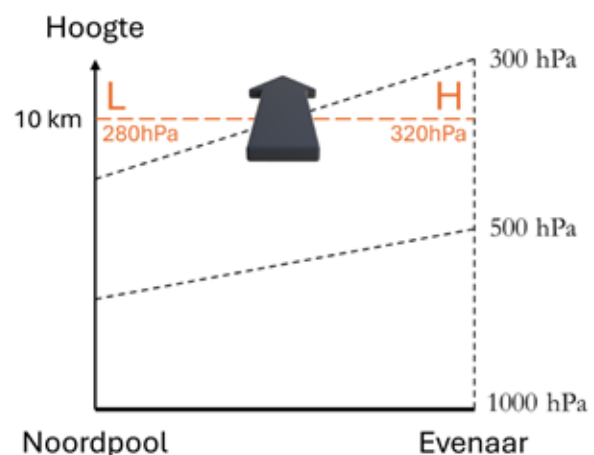


Figuur 2: Luchtbewegingen a) enkel rekening houdend met de drukgradiëntkracht b) rekening houdend met zowel de drukgradiëntkracht als de corioliskracht geïnitieerd door de aardrotatie c) conceptuele voorstelling in het noordelijk halfrond.

De wet van Buys-Ballot is een goede benadering van de beweging van grootschalige systemen hoog in de troposfeer (andere krachten zoals wrijving met het landoppervlak zijn hier van minder belang). Laat ons de principes die we hierboven beschreven hebben toepassen op de volledige

troposfeer in het noordelijk halfrond. Dit wordt conceptueel voorgesteld in Figuur 3, met de warme evenaar aan de rechterkant en de koude noordpool aan de linkerkant. We weten dat warme lucht meer plaats inneemt dan koude lucht. De lucht in onze troposfeer neemt dus meer plaats in aan de evenaar in vergelijking met de polen. Hoe hoger men zich in de troposfeer bevindt, des te groter het luchtdrukverschil zal zijn op die hoogte tussen de polen en de evenaar. Op de hoogte van de straalstroom (10 km) bevindt zich als het ware op die hoogte een hogedrukgebied aan de evenaar en een lagedrukgebied aan de polen (Figuur 3). Als enkel de drukgradiëntkracht een rol zou spelen zou er dus een luchtstroom zijn aan de top van de troposfeer van de evenaar richting de polen (en omgekeerd langs het aardoppervlak van de polen naar de evenaar) en hadden we één grote circulatiecel die het gehele noordelijke halfrond omvat.

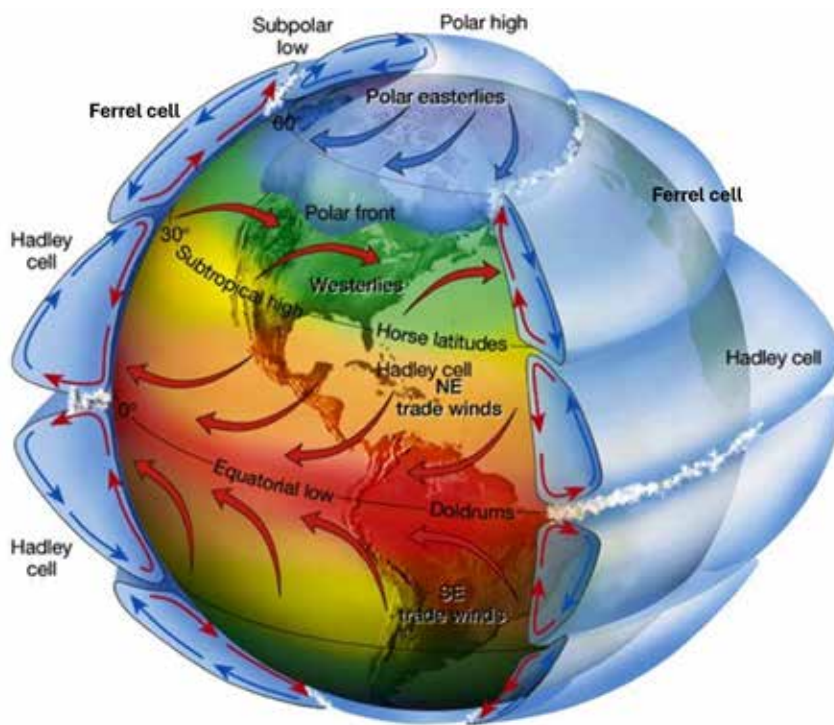
Door de rotatie van de aarde (en de bijhorende corioliskracht) zal de luchtstroom aan de top van de troposfeer van de evenaar naar de polen afbuigen naar rechts en krijgen we dus een wind die komt uit het westen doorheen de troposfeer (weergegeven met de pijl in Figuur 3).



Figuur 3: Conceptuele voorstelling van het noordelijk halfrond met de warme evenaar rechts en de koude noordpool links. De zwarte streepjeslijn geeft regio's met gelijke luchtdruk weer. Warme lucht neemt meer plaats in waardoor de luchtdruk met de hoogte trager afneemt in vergelijking met de noordpool. Het luchtdrukverschil ter hoogte van de straalstroom op 10 km boven het landoppervlak (de drukgradiëntkracht) in combinatie met de corioliskracht zorgt voor een beweging van de wind van west naar oost (weergegeven door de grijze pijl).

Dit heeft een belangrijk gevolg voor de circulatie in de troposfeer. De grote circulatiecel die aanwezig zou zijn zonder de rotatie van de aarde, wordt door de afbuiging van de lucht, opgesplitst in drie aparte cellen: de Hadley cel (van de evenaar tot 30°N), de Ferrel cel (van 30°N tot 60°N) en de polaire cel (van 60°N tot 90°N) (Figuur 4).

De bijhorende westenwinden aan de top van de troposfeer zijn het meest krachtig op de grens tussen de verschillende cellen. Waarom dit precies op deze plaats is kan verklaard worden door hetzelfde principe dat de oorzaak is voor hoge



Figuur 4: Circulatie in de troposfeer met de Hadley, Ferrel en polaire cel. De afbuiging van de wind naar rechts op het noordelijk halfrond is de belangrijkste reden voor de dominante oostelijke windstromen aan het landoppervlak aan de polen en de evenaar en de westelijke stromingen aan onze breedtegraden (Bron: Lutgens, et al., 2007. *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology*).

windsnelheden aan het landoppervlak. Wanneer we een weerkaart bekijken met daarop de hoge- en lagedrukgebieden getekend aan het oppervlak, weten we dat de hoogste windsnelheden teruggevonden worden waar de isobaren dicht bij elkaar liggen (= waar het drukverschil het grootst is). We weten ondertussen uit Figuur 3 dat het drukverschil op hoogte voornamelijk bepaald wordt door het temperatuurverschil in de onderliggende luchtkolom. Aan de hand van Figuur 4 kunnen we afleiden dat er op de grens tussen de Ferrel en de polaire cel een groot temperatuurverschil aanwezig is. De polaire cel transporteert koude lucht van de noordpool naar 60°N, terwijl de Ferrel cel warme lucht uit de subtropen naar deze locatie transporteert. Dit zorgt aan de tropopauze voor een enorm contrast in zowel temperatuur als luchtdruk, met warmere lucht en hogere luchtdruk in de Ferrel cel en koudere lucht en lagere luchtdruk in de polaire cel. In dit grensgebied hoog in de troposfeer zijn de condities dus ideaal om hoge windsnelheden te genereren van west naar oost. De straalstroom bevindt zich dus altijd op de grens tussen circulatiecellen en hogere windsnelheden duiden op een groter contrast in temperaturen tussen het noorden en het zuiden.

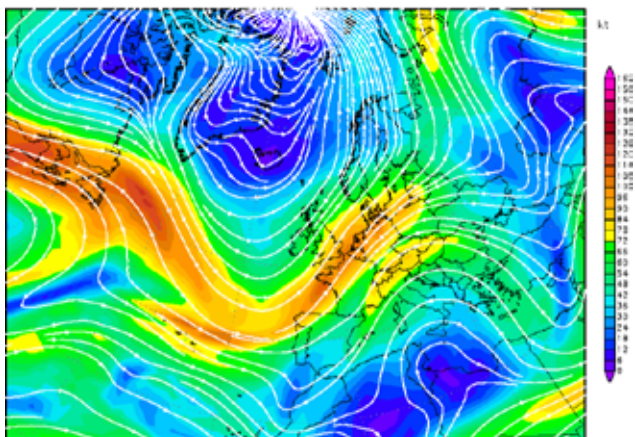
3. Belang straalstroom voor ons weer

De grens tussen de Ferrel en de polaire cel ligt niet altijd op exact 60°N zoals weergegeven in Figuur 4, maar varieert doorheen de tijd en locatie. Dit 'kronkelen' van de straalstroom zorgt ervoor dat deze zich op bepaalde plaatsen of tijdsperiodes ook zuidelijker of noordelijker bevindt (een voorbeeld is weergegeven in Figuur 5). Dit heeft als eerste een belangrijke impact op de temperatuur in lagere luchtlagen. Wanneer we ons ten zuiden van de straalstroom bevinden (en dus in de Ferrel cel), ervaren we over het

algemeen warmere temperaturen dan gemiddeld. Bevinden we ons ten noorden van de straalstroom, dan bevinden we ons in polaire lucht en zal de temperatuur lager zijn dan gemiddeld.

Naast zijn impact op temperatuur speelt de straalstroom ook een belangrijke rol in het ontstaan van hoge- en lagedrukgebieden aan het oppervlak. Dit heeft alles te maken met het feit dat de snelheid van de straalstroom varieert van plaats tot plaats, afhankelijk van het temperatuurverschil tussen het noorden en het zuiden. In Figuur 5 zien we bijvoorbeeld dat de windsnelheden in de straalstroom het hoogst zijn nabij de kust van Canada. In de zuidwaartse kronkel van de straalstroom ten westen van het Iberisch schiereiland liggen de windsnelheden relatief gezien lager en boven West-Europa versnelt de straalstroom opnieuw.

Dit heeft een grote impact op de luchtdruk op het landoppervlak. Figuur 6 illustreert wat er precies gebeurt. De pijl in de hogere luchtlagen geeft de straalstroom weer die van west naar oost stroomt (de rode kleur duidt hogere windsnelheden aan). Op plaatsen waar we overgaan van lage snelheden naar hoge snelheden ontstaat er een tekort aan lucht hoog in de troposfeer en treedt er divergentie (DIV) op in hogere luchtlagen (linkerkant van Figuur 6). Dit moet worden gecompenseerd door opstijgende luchtmassa's van het aardoppervlak. Hierdoor verlaagt de druk aan het aardoppervlak en kan er een cycloon of lagedrukgebied ontstaan. Wanneer we van een gebied van hoge snelheden in de straalstroom naar lage snelheden gaan, is er een overschot aan lucht. Dan treedt er convergentie op in de hoge luchtlagen (rechterkant van Figuur 6). Dit zorgt voor dalende luchtbewegingen en een toename van de oppervlaktedruk. Hier ontstaat dan een anticycloon of een hogedrukgebied.



Figuur 5: Illustratie van het windveld aan de top van de troposfeer (lijnen) en bijbehorende windsnelheden (kleur, in knopen) over de Atlantische Oceaan en Europa. De straalstroom kan geïdentificeerd worden aan de hand van de hogere windsnelheden (rode kleur) en bevindt zich onder andere pal boven België (Bron: wetterzentrale.de).

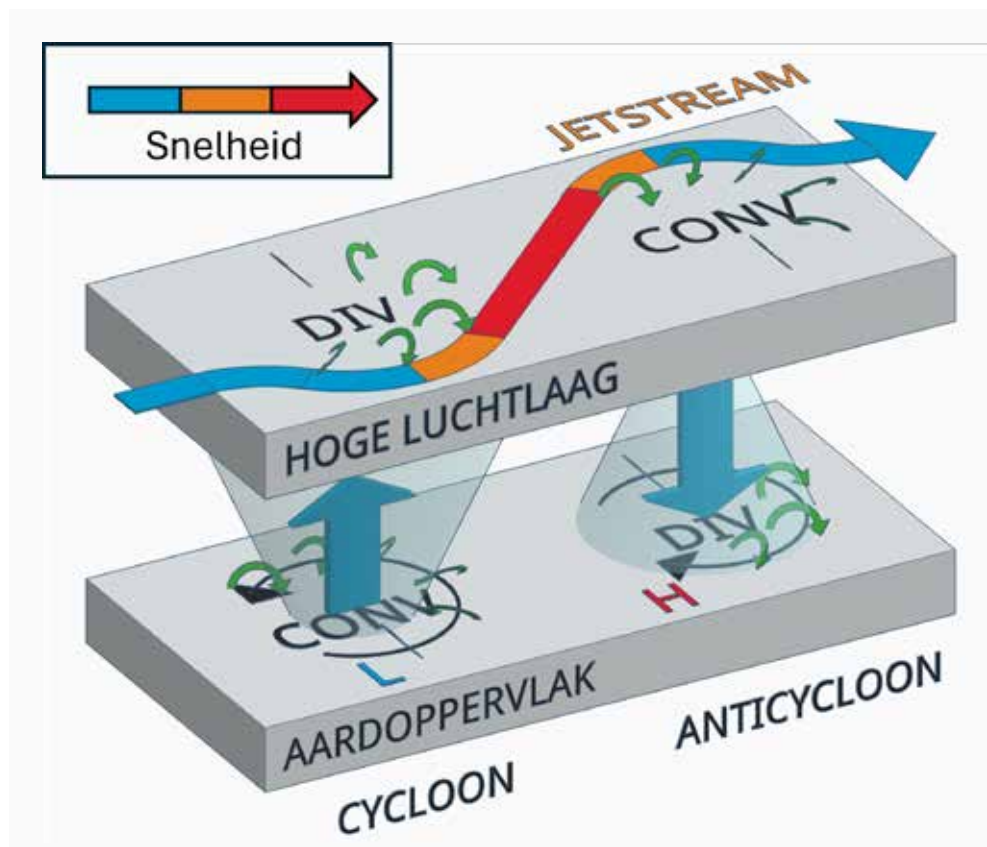
Lagedrukgebieden en de opstijgende bewegingen gaan vaak gepaard met wolken- en neerslagvorming. Echter wanneer deze ontstaan ter hoogte van de straalstroom, vormen er zich ook frontale systemen. Figuur 7 laat zien hoe dit in de praktijk werkt. De blauwe kleur duidt op de luchtmassa's ten noorden van de straalstroom die kouder zijn (en zich in de polaire cel bevinden), terwijl de oranje kleur de warme luchtmassa's zijn (en zich dus in de Ferrel cel bevinden). In stap 1 zien we een lagedrukgebied dat ontstaat aan het landoppervlak onder de straalstroom. Rond een lagedrukgebied draait de wind tegen de wijzers van de klok in, waar-

door er koude lucht van de polaire straalstroom naar het zuiden wordt verplaatst terwijl er warme lucht naar het noorden wordt verplaatst (stap 2). Dit worden respectievelijk het koude- en het warmtefront.

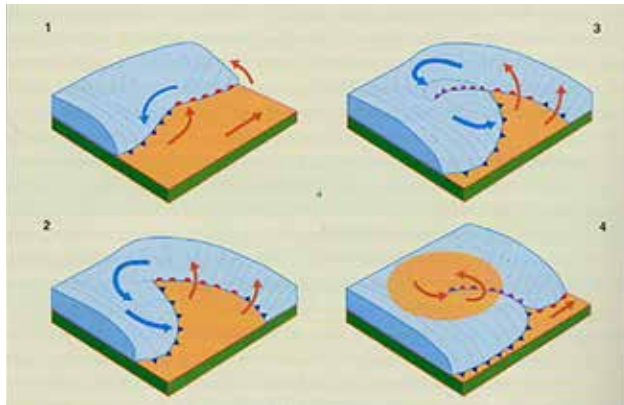
Dit toont aan dat je aan de hand van de straalstroom een hoop te weten kunt komen over het weer (en dat van de komende dagen) op onze breedtegraden. Niet enkel vormt het een belangrijke barrière tussen koude polaire lucht en warme subtropische lucht, maar de straalstroom is ook van enorm belang in het ontstaan van hoge- en lagedrukgebieden, fronten en depressies in onze breedtegraden.

4. Impact klimaatverandering

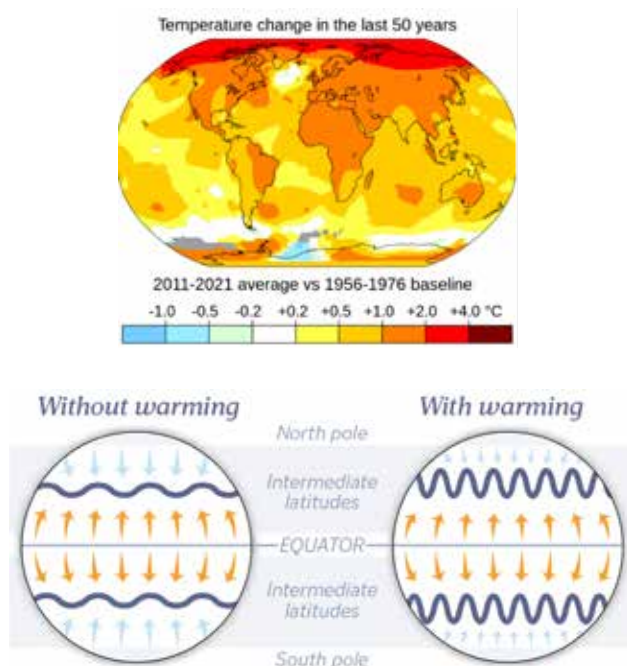
Zoals veel systemen op aarde is ook de straalstroom niet ongevoelig voor de klimaatverandering. Sinds de pre-industriële periode is de temperatuur op aarde gemiddeld reeds met 1.3°C gestegen. Belangrijk om hierbij te noteren is dat er grote spatiale verschillen zijn in de opwarming van de aarde. Ten eerste warmen landmassa's veel sneller op dan oceanen, ten tweede warmt de noordpool ongeveer dubbel zo snel op in vergelijking met de rest van de planeet (Figuur 8). Dit heeft alles te maken met een belangrijke positieve feedback die hier plaatsvindt. De stijgende temperatuur zorgt er namelijk voor dat een groot deel van de sneeuw en ijsmassa's smelt. De onderliggende oppervlaktes hebben een veel donkerdere kleur in vergelijking met het witte ijs, waardoor er extra straling van de zon wordt geabsorbeerd, wat zorgt voor nog hogere temperaturen (de zogenoemde albedo terugkoppeling).



Figuur 6: Voorstelling van verticale luchtbewegingen geïnitieerd door de straalstroom (weergegeven door de pijl in de hoge luchtlaag; rode kleur duidt een hogere snelheid aan). Bij een tekort aan lucht treedt divergentie op (DIV linksboven) en wordt dit gecompenseerd door stijgende luchtbewegingen en het ontstaan van een cycloon of lagedrukgebied aan het oppervlak. Waar er een overschot aan lucht is, spreken we van convergentie (CONV rechtsboven) en zal er een dalende luchtbeweging zijn en ontstaat er een anticycloon of hogedrukgebied aan het oppervlak. (layout: Bert Vanderhallen)



Figuur 7: Ontstaan en evolutie van frontale systemen in een lagedrukgebied. Deze lagedrukgebieden en fronten ontstaan op de grens van de Ferrel (met warme lucht weergegeven in oranje) en polaire cel (met koude lucht weergegeven in blauw), onder de straaltroom aan het oppervlak, wanneer er divergentie in hoge luchtlagen optreedt (zie Figuur 6) (Bron: Wallace and Hobbs, 2006. Atmospheric Science: An Introductory Survey)

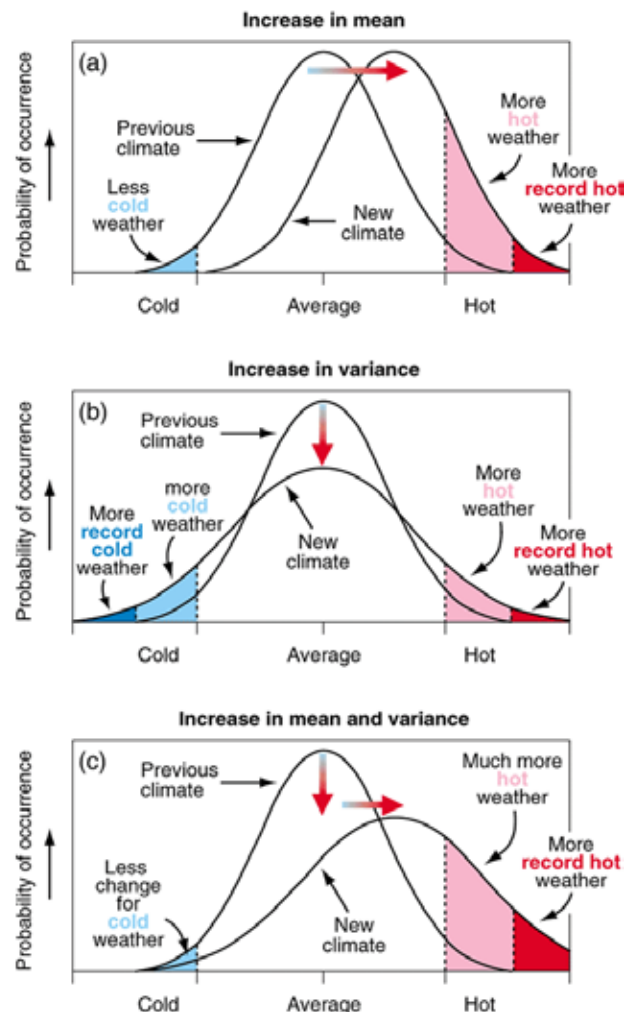


Figuur 8: Gemiddelde temperatuurstijging op aarde in de laatste 50 jaar (boven) en de impact op de straaltroom (onder) (Bron: NASA: GISS Surface Temperature Analysis (v4); Fonseca et al., 2022: A physical concept in the press: the case of the jet stream).

Een gevolg hiervan is dat het temperatuurverschil tussen de polen en de subtropen kleiner wordt, wat ervoor zorgt dat het drukverschil in Figuur 3, de motor achter de snelheid van de straaltroom kleiner wordt. De snelheid van de straaltroom neemt dus af en gaat hierdoor ook meer kronkelen (Figuur 8).

Lagere snelheden en meer kronkels zorgen ervoor dat polaire en subtropische lucht veel verder kan doordringen naar respectievelijk zuidelijke en noordelijke gebieden. Dit zorgt enerzijds voor meer extreme temperaturen. Verder zien we dat een tragere straaltroom vaker vast komt te

liggen in bepaalde patronen. Wanneer dit verschillende weken (of maanden) aanhoudt, kan men op bepaalde plekken last krijgen van zeer lange periodes met hetzelfde weer. Dit soort blokkades hebben we de laatste jaren verschillende keren mogen meemaken, denk maar aan dit droge voorjaar van 2025 of de natte zomer van 2024. Ook de droge en hete zomer van 2022 (met recordtemperaturen tot 40°C) kan teruggebracht worden naar een geblokkeerde positie van de straaltroom ten noorden van ons, waardoor we voor een lange periode onder de invloed van hogedrukgebieden zaten.



Figuur 9: Illustratieve voorstelling van de impact van klimaatverandering op een bepaalde klimaatparameter (bijvoorbeeld temperatuur). De lineaire impact van klimaatverandering (een stijging in temperatuur) wordt weergegeven in het bovenste paneel. De veranderingen in componenten van het klimaatstelsel (zoals de straaltroom die meer gaat kronkelen) in het tweede paneel. Het onderste paneel geeft de werkelijke impact van klimaatverandering weer, rekening houdend met beide effecten (Bron: IPCC AR3 Working Group 1 Figure 2.32).

Dit laat zien dat de stijging in temperatuur die we momenteel observeren verder gaat dan enkel een verandering in gemiddelden, maar ook een impact heeft op de verschillende componenten van het systeem aarde. Dit wordt sterk gevisualiseerd in Figuur 9. De bovenste afbeelding laat de

impact zien van klimaatverandering op de temperaturen op aarde als we enkel deze temperatuurstijging in rekening nemen. De normaalverdeling die de verdeling van temperaturen weergeeft op een bepaalde locatie wordt als het ware volledig opgeschoven naar warmere temperaturen. In de realiteit heeft de temperatuurstijging ook een impact op verschillende componenten van het systeem aarde, zoals bijvoorbeeld de straalstroom. Zoals hierboven aangegeven zorgt dit voor meer extreme gebeurtenissen (weergegeven in de middelste afbeelding in Figuur 9). De werkelijke impact van klimaatverandering is dan de som van de temperatuurstijging en de veranderingen in grootschalige systemen van de aarde die hierdoor beïnvloed worden. Dit verklaart meteen de enorme toename die we zien in de frequentie van extreme gebeurtenissen en het breken van verschillende (temperatuur)records in de laatste jaren.

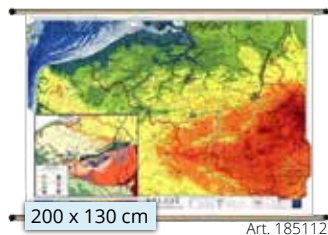
Literatuurlijst:

- › Fonseca, X., Miguez-Macho, G., Cortes-Vazquez, J. A., and Vaamonde, A.: A physical concept in the press: the case of the jet stream, *Geosci. Commun.*, 5, 177–188, <https://doi.org/10.5194/gc-5-177-2022>, 2022.
- › Stendel, M., Francis, J., White, R., Williams, P.D., and Woolings, T.: The jet stream and climate change, *Climate Change*, 327–357, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00015-3>, 2021.
- › Woolings, T: What is the jet stream? <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-jet-stream>
- › NOAA, What is the jet stream? <https://scijinks.gov/jet-stream/>
- › VRT: "Van de pot gerukt": straalstroom en klimaatverstoring zitten achter uitzonderlijke temperaturen tot 21 graden | VRT NWS: nieuws
- › KMI, Straalstroom. <https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/straalstroom>

Laat uw studenten de wereld ontdekken...

Vincent Leermiddelen is uw totaalleverancier van al het nodige materiaal.

VINCENT
LEERMIDDELEN
Scientific



**De ideale
referentiekaart,
ook voor andere
vaklokalen.**

- 120 x 85 cm
- Dubbelzijdig (fysisch en staatkundig)
- Stevig papier met matte plasticatie
€ 19,95 / stuk excl. btw
Kwantumkorting op aanvraag
Art. 185129

REUZEWERELDBOL OP METALEN ONDERSTEL

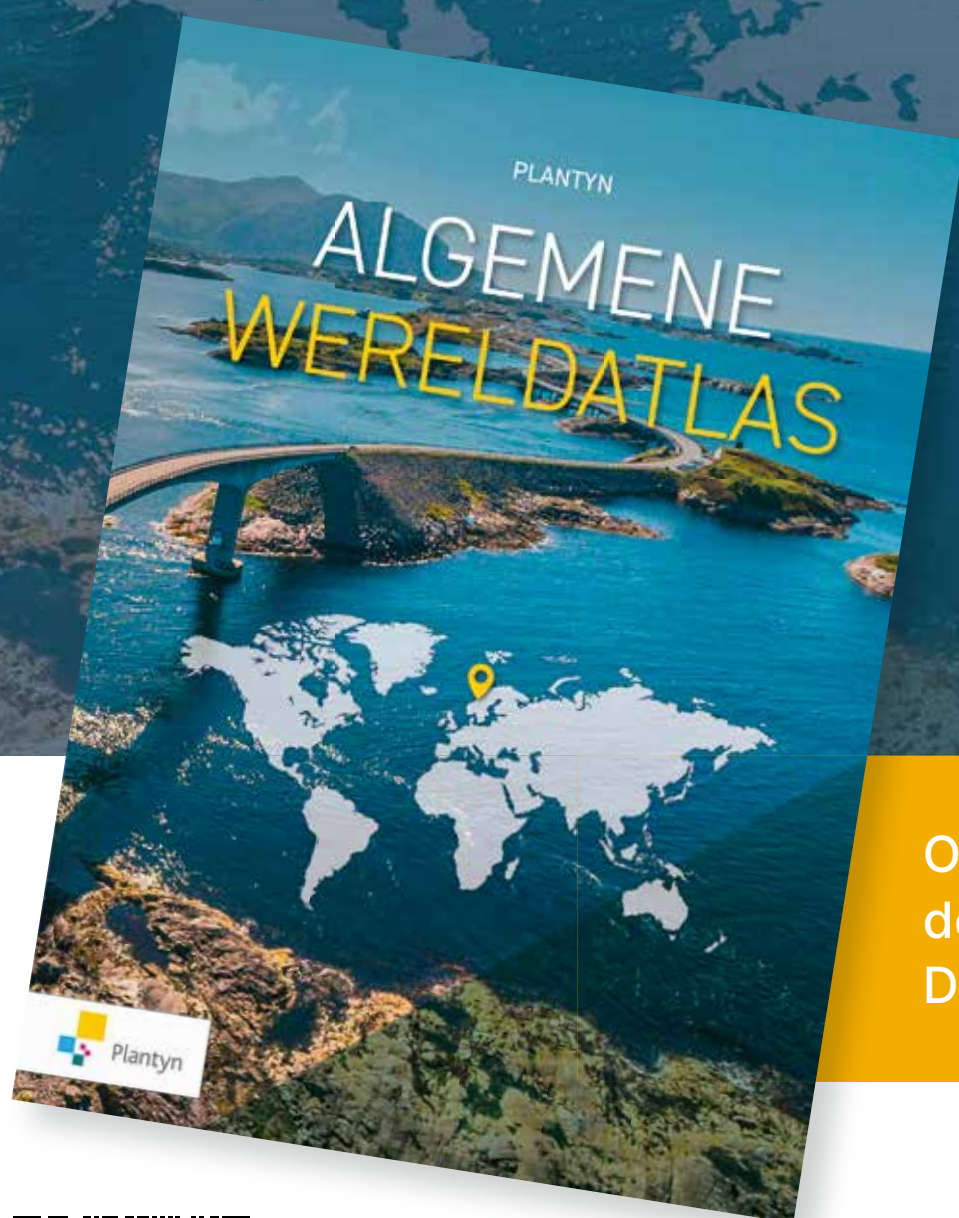
Extra grote bol van 50 cm diameter. Metalen onderstel op wielen, kantelbaar en zeer robuust. Met verlichting die voor een dubbel kaartbeeld zorgt: politiek / fysisch.

Art. 185310



alles en nog meer te vinden op
WWW.LEERMIDDELEN.BE

DE MEEST GEBRUIKTE ATLAS IN VLAANDEREN



Ontdek ook
de interactieve
Digitale Wereldatlas!



Meer info

www.plantyn.com/wereldatlas





Breidamerkurjökull-gletsjer IJsland

64°5'53" N, 16°14'50" W

Het firnbekken met de gletsjer Breidamerkurjökull en de glaciale lagune Jökulsárlón. Het smeltwater en de ijsschotsen zijn afkomstig van de zich terugtrekkende gletsjer.

Lode Van den Bussche