

# Magische ijsstructuren: RIJPBLOEMEN en VORSTBLOEMEN

Louis Beyens

De voorbije vorstperiode van 07 tot 14 februari 2021 heeft niet alleen sneeuw gebracht, maar tevens fenomenen die stilaan wegglijpen uit de alledaagse beleving van de winter. Meer bepaald verwijzen we naar structuren van ijs die illustratief zijn voor de faseovergang van waterdamp naar de vaste fase en die daarenboven een esthetische ver-wondering oproepen. In het artikel vermelden we kort de meer vertrouwde rijpbloemen die tijdens de voorbije vorst-periode te bewonderen waren, en bespreken we uitgebreider de minder gekende vorstbloemen die we aantreffen bij pas gevormd zee-ijs in de poolgebieden.

## RIJPBLOEMEN

Decennia geleden, in een tijd wanneer de winters lang koud konden zijn en huizen nog niet zo thermisch geïsoleerd, waren rijpstructuren op ramen een algemeen gekend verschijnsel. Voorwaarden hiervoor zijn een buitentemperatuur onder 0°C, een matige luchtvochtigheid binnenshuis en een dunne vensterruit die quasi geen warmte-isolerende werking heeft. De combinatie van vriesweer en een onverwarmde slaapkamer met gesloten raam creëert de juiste omstandigheden hiervoor. De warmere kamerlucht koelt af vlakbij de ruit waarbij in die grenslaag de relatieve vochtigheid 100% bereikt. De lucht is dan verzadigd en bij verdere afkoeling of toevoer van waterdamp zal de over-tollige waterdamp rechtstreeks in de vaste fase neerslaan als rijp. In werkelijkheid is het iets complexer: eerst bevriezen enkele microscopisch kleine waterdruppeltjes en vervolgens condenseert de waterdamp rechtstreeks als vensterrijp. Indien de luchtvochtigheid binnenskamers hoog is, zoals in een badkamer bijvoorbeeld, wordt daar eerst wel een dun waterlaagje gevormd dat vervolgens bevriest. De gekijkte term hier is vensterijs.



Fig. 1: Ijsbloemen op een autoruit. Broechem 14 februari 2021.  
Foto Louis Beyens

Dit fenomeen produceert doorgaans geen uniforme ijslaag, maar ingewikkelde structuren die enigszins boomvormig (dendritisch) vertakt zijn en aan planten doen denken, vandaar de benaming ijsbloemen. Waarom nu zulke dendritische structuren? Ijskristalvorming gaat sneller wanneer er groeikiemen aanwezig zijn. Op ruiten kunnen dat stofdeeltjes, oneffenheden, krasjes zijn waarop de ijskristalvorming kan beginnen. De ijskristallen gaan op hun beurt als groeikernen dienen voor nieuwe ijskristallen waar-door de dendritische structuur ontstaat.

## VORSTBLOEMEN

In de winter van 1986 stond ik in Spitsbergen aan de rand van het landvast ijs en het fjord-ijs. Een stuk open water was net bevroren en het donkere water schemert door de dunne ijslaag. Wat me opviel waren de bloemvormige ijsstructuren op dat verse zee-ijs: vorstbloemen. In tegenstelling met de hierboven besproken ijsbloemen is de verklaring van deze structuren minder éénduidig.

Onderzoeksgroep ECOBE, Dep. Biologie, Universiteit Antwerpen

Vorstbloemen op zee-ijs worden gedefinieerd als kort-levende clusters van zoute ijskristallen met een dendritische en vertakte structuur. Ze vormen het koppelvlak (interface) tussen een warmer ijsoppervlak en een koudere atmosfeer, en dit bij maximaal een zwakke oppervlaktewind.



Fig. 2 : Rechts het dikkere landvast ijs, links vers zee-ijs met een strook die wat wollig lijkt met vorstbloemen. Spitsbergen maart 1986. Foto Luc Beccu.

Hoe ontstaan ze? Een eerste theorie laat hen groeien uit een pekeloplossing die uit het zee-ijs geperst wordt. Een tweede theorie beroept zich op condensatie van waterdamp uit de bovenliggende luchtlaag.

Zee-ijs begint zich te vormen bij een zeewatertemperatuur van -1.8 °C. Het is een ingewikkeld proces dat vertrekt van in water zwevende ijskristallen en eventueel kan leiden tot meerjarig ijs dat verschillende meters dik is. Belangrijk voor het verhaal van de vorstbloemen is wel dat, wanneer zeewater bevriest, het de watermoleculen zijn die aaneen-klinken tot een ijskristal en dat daarin geen plaats is voor de in het zeewater opgeloste zouten. Deze zoutionen en -moleculen worden als het ware uit het bevroerende water geperst en komen daarbij terecht in gaten en kanaaltjes in het ijs, waar ze een pekeloplossing vormen. Stel je een gruyèrekaas voor met de kaas zelf als het ijs en de gaten erin gevuld met een pekeloplossing. De saliniteit van deze pekeloplossingen is behoorlijk hoog, waardoor deze ook niet zal bevriezen. Uiteindelijk zullen deze pekeloplossingen zich doorheen het ijs smelten en geholpen door de zwaartekracht sijpelen ze uit de bodem van het ijs het zeewater in. Dit is een uitermate belangrijk proces omdat zo erg zout en koud water in het oppervlaktewater terecht komt. Als gevolg hiervan wordt dit oppervlaktewater zwaarder en zinkt het. Door dit proces worden gassen als zuurstof en koolstofdioxide naar de diepere waterlagen getransporteerd. Via dit mechanisme onttrekken de poolzeeën CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer.

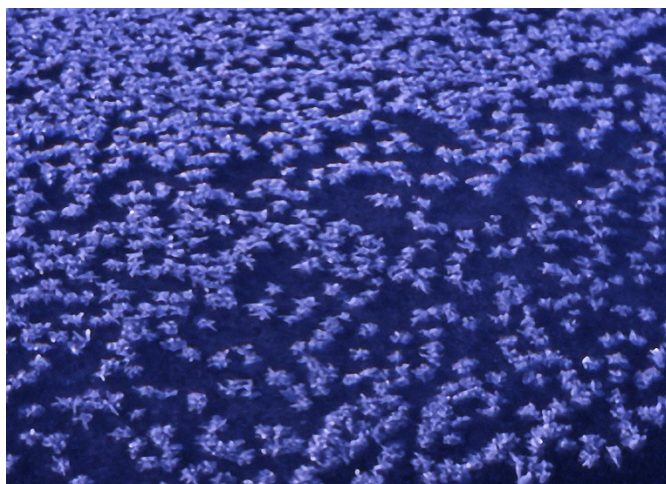


Fig.3: Vorstbloemen. Het verse zee-ijs is nog zo dun dat het donkere water er doorheen schemert. Spitzbergen maart 1986. Foto Louis Beyens

Wanneer het ijs groeit en dikker wordt oefent het een druk uit op sommige van deze pekelkanalen die hierdoor dunner worden. Pekel kan dan ook naar de oppervlakte van het ijs worden geperst waarop het een één à twee mm dunne kleverige pekeltromp vormt. Is de luchttemperatuur nu laag genoeg om een sterk temperatuurverloop te produceren tussen het oppervlak van het zee-ijs en de lucht, dan kunnen de vorstbloemen gevormd worden. Deze zijn 2 à 3 cm groot en bestaan aanvankelijk uit zuiver ijs, maar later worden ze geleidelijk bedekt door een pekellaagje en worden ze erg zout. Erg zout betekent hier rond de 120 psu (practical salinity unit, zoetwater heeft 0 psu, zeewater tot 33 psu). Zoals bij de ijsbloemen op een ruit, zijn ook hier groeikiemen vereist om de vorming van de vorstbloem te initiëren. Daarvoor moet er voldoende grotere ijskristallen aanwezig zijn. Deze kunnen uit de lucht dwarrelen in de vorm van fijne ijskristallen, de zogenaamde diamond dust. Deze benaming verwijst naar de flikkeringen van deze kristallen waardoor ze zichtbaar zijn. Een andere mogelijkheid zijn ijsplaatjes die voldoende hoog boven de millimeter dikke pekellaag uitsteken.

Essentieel voor de vorming van de vorstbloemen is een lokale oververzadiging aan waterdamp en een groot temperatuurverschil tussen het ijsoppervlak en de lucht. Hierover bestaat een consensus tussen de wetenschappers die dit fenomeen bestuderen. Over het mechanisme waarop de oververzadiging bereikt wordt bestaat evenwel nog geen overeenstemming. Deze kan op twee verschillende wijzen gerealiseerd worden: vanuit het ijs door verdamping en/of sublimatie van het warmere zee-ijs oppervlak naar de veel koudere lucht daarboven of vanuit de lucht zelf gevolgd door rechtstreekse condensatie (depositie). Voor dit alles is een rustige atmosfeer nodig, windsnelheden vanaf 5 km per uur mengen de luchtlagen teveel waardoor oververzadiging niet bereikt kan worden. Een argument voor de herkomst uit het zee-ijs is de overeenkomst in isotopensamenstelling van het zee-ijs en de vorstbloemen, meer bepaald de concentratie van het zuurstof-18 isotoop. Het doet denken aan een tekst van Marcel Minnaert over de vorming van dauw, waarin hij schrijft: "Komt de waterdamp die als dauw neerslaat uit de vochtige aarde of uit de lucht? Hierover is ontelbare malen geredetwist!" (Minnaert p 250).

Vorstbloemen zijn kortlevende verschijnselen. Hun groei stopt wanneer het ijs te dik wordt waardoor er minder of geen warmte meer van het onderliggende water doorheen de ijslaag doorgegeven wordt naar het ijsoppervlak. Het temperatuurverschil tussen het ijsoppervlak en de koude lucht neemt dan af omdat het ijsoppervlak meer kan afkoelen en zo meer de luchttemperatuur gaat benaderen. Ook hoge windsnelheden zijn nefast voor de vorstbloemen, ze worden gefragmenteerd en weggeblazen. Een interessant verschijnsel want éénmaal gefragmenteerd kunnen ze door de wind als aerosolen, beladen met zeezouten van de pekellaag, terecht komen in de hogere luchtlagen. Dat betekent dat deze aerosolen (afkomstig van vorstbloemen) mede een rol spelen in de wolkenvorming en zo in de stralingsbalans. Wolken kunnen immers de lange golfstraling die vanuit het aardoppervlak de hemel wordt ingestuurd, terugkaatsen naar het aardoppervlak en zo bijdragen tot het broeikas effect. Maar wolken kunnen tevens de binnenkomende zonnestraling reflecteren naar de ruimte en zo een afkoelend effect bewerkstelligen. Veel aandacht gaat tevens naar de chemische inhoud van deze aerosolen afkomstig van vorstbloemen. De getransporteerde stoffen gaan immers deelnemen aan de chemische reacties in de hogere luchtlagen. Een van deze stoffen is de broomverbinding brominemonoxide die de troposferische ozonlaag kan aantasten. Stratosferische ozon blokkeert de schadelijke UV-straling van de zon en beschermt zo het leven op aarde. De rol van ozon in de troposfeer is wat ingewikkelder. Ozon is namelijk een giftig gas voor levende organismen en het gedraagt zich daarenboven in de bovenste troposfeer als een broeikasgas. Langs de andere kant zou het betrokken zijn bij het neutraliseren van schadelijke stoffen in de troposfeer. Uigebreide studies, ondermeer via

satellietwaarnemingen, worden nu onder-nomen om de rol van vorstbloemen in de aantasting van deze ozonlaag beter te begrijpen.

De huidige evolutie van het zee-ijs in het opwarmende klimaat wordt nauwgezet gevolgd. Het is bekend dat het aandeel van meerjarig zee-ijs steeds geringer wordt, en dit van het éénjarige steeds groter. Dit betekent dat er meer open water is dat kan bevriezen waarbij er meer kans is op de vorming van vorstbloemen, en daarmee een toename in het voorkomen van de broomverbindingen. Anderzijds nemen de watertemperaturen toe, en dat zou net de kans op de vorming van vorstbloemen kunnen verminderen indien ook de vorming van vers zee-ijs hierdoor zou afnemen. Volledigheidshalve vermelden we nog even dat vorstbloemen in zeldzame gevallen ook op zoetwaterijs waargenomen worden. Voorwaarde is hier dat de luchttemperatuur zeer snel erg afkoelt (onder de -15°C) voordat het ijs te dik wordt en daardoor het temperatuurverschil tussen het ijs en de lucht afneemt.

Tenslotte richten we onze aandacht op het leven in de vorstbloemen. Micro-organismen zijn alom tegenwoordig op onze planeet en vorstbloemen vormen daarop geen uitzondering. Vorstbloemen zijn een bijzonder biotoop voor bacteriën die vanuit het zee-ijs in de oppervlakkige pekellaag en in de vorstbloemen terecht komen. Dit is uiteraard een zeer extreme omgeving om in te leven omwille van de zeer hoge zoutconcentraties en de zeer lage temperaturen. Deze organismen beschermen zich door de zogeheten cryoprotectanten (tegen het bevriezen) en osmoprotectanten (tegen dehydratatie) te produceren, stoffen waardoor ze in staat zijn in de vorstbloemen en in de pekellaag te overleven. Deze bacteriën kunnen trouwens opgenomen worden in de aerosolen en wie weet waar terechtkomen. Ook hier blijft nog veel te ontdekken over de rol van deze micro-organismen in de wisselwerking tussen oceaan, zee-ijs en atmosfeer.

Vorstbloemen betekenen meer dan een interessant verschijnsel bij de vorming van zee-ijs. Veel fysieke en fysische schoonheid ligt in hen verborgen, maar evenzeer vertegenwoordigen ze een wetenschappelijk boeiend fenomeen dat een kleine maar belangrijke rol speelt in groot-schalige atmosferische processen.

### Literatuur:

Barber D.G., Ehn J., Pućko M., Rysgaard S., Deming J. W., Bowman J. S., Papakyriakou T., Galley R. J., and Sjøgaard D. H. 2014. *Frost flowers on young Arctic sea ice: The climatic, chemical, and microbial significance of an emerging ice type*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 119: 11,593 - 11,612.

Beyens Louis, Van Meurs Rinie. 2019. *The Future Polar Bear-the impact of the vanishing sea ice on an arctic ecosystem*. Academic and Science Publ, Brussels.

Lund-Hansen Lars, Sjøgaard Dorte, Sorrell Brian, Gradinger Rolf, Meiners Klaus. 2020. *Arctic Sea Ice Ecology-seasonal dynamics in algal and bacterial production*. Springer Nature, Cham Switzerland.

Minnaert Marcel. 1975. *De natuurkunde van 't vrije veld 2. Geluid, warme, electriciteit*. Thieme & Cie, Zutphen. Eerste druk van dit driedelig werk dateert van 1937- 1942 !

Rankin A., Auld V., Wolff E. 2000. *Frost flowers as a source of fractionated sea salt aerosol in the polar regions*. Geophysical Research Letters 27: 3469 - 3472.

Style Robert, Worster Grae. 2009. *Frost flower formation on sea ice and lake ice*. Geophysical Research Letters 36: L11501. doi:10.1029/2009GL037304

Thomas David. 2004. *Frozen Oceans-the floating world of pack ice*. Natural History Museum, London.

### Websites:

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalTraveler>

<https://www.health.belgium.be/nl/ozon-beschermend-schadelijk>