

■ TEKST GERT-JAN VAN HEUGTEN

DE COMPLEXITEIT
VAN EEN IJSKRISTAL

GLIJDEN OVER JUWELLEN

De dagen worden korter, de nachten langer, de temperatuur daalt. De winter staat voor de deur. Nederland zit weer bij de kachel, te hopen op een Elfstedentocht. Voor het zover is moet het eerst gaan vriezen. **En als je dan naar buiten gaat kun je er niet omheen: overal zie je ijskristallen.** Hoe ontstaan ze?



GEEN TWEE SNEEUWVLOKKEN ZIJN HETZELFDE – HOE KAN DAT?

Water kan grofweg op twee manieren bevroren. De eerste is wanneer vloeibaar water bevroren is en een mooi glad oppervlak vormt. De tweede is dat waterdamp vanuit de lucht bevroren is en er ijskristallen worden gevormd. Dit kan hoog in de atmosfeer gebeuren en dan ontstaat er sneeuw, waarbij ijskristallen aan elkaar plakken tot een vlok.

BLOEMEN

Bijzonder aan de bevroering van water vanuit de lucht is dat de kristallen altijd zeshoekige vormen hebben (hoe dit komt wordt uitgelegd in het bovenste kader op pagina 23). Maar ook vlak bij de

grond kan waterdamp vanuit de lucht kristallen vormen. Dit noem je 'rijp' en levert eveneens hele mooie

structuren op.

Neem de eerste tien letters van het alfabet. Op hoeveel verschillende volgorde kun je deze tien letters zetten?

Op de eerste plek kunnen 10 verschillende letters staan. Voor de tweede plek zijn er nog maar 9 verschillende over. Voor de derde 8, en zo verder tot alle letters zijn opgeschreven. Het is mogelijk te berekenen hoeveel mogelijkheden er zijn om de letters op te schrijven. Dit doe je door de mogelijkheden per positie met elkaar te vermenigvuldigen. Je hebt dan:

$$10 \times 9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 =$$

3.628.800 verschillende mogelijkheden om de letters op te schrijven.

Bij sneeuwvlokken zijn er meer dan 100 verschillende manieren mogelijk waarop de kristallen kunnen groeien. Dit leidt tot 10^{158} (een 1 met 158 nullen erachter) mogelijkheden.

Ter vergelijking, er zijn 'slechts' 10^{88} atomen in het heelal. Er zijn dus 10^{70} keer meer mogelijkheden om ijskristallen verschillend te maken dan dat er atomen in het universum zijn. Omdat er zoveel verschillende mogelijkheden zijn, kan men dus stellen dat geen twee sneeuwvlokken er hetzelfde uitzien.

Denk maar aan de ijsbloemen op het raam. Die ontstaan als het heel koud is buiten en er in de kamer geen verwarming aanstaat.

SCHATKAMERS

Een veelgehoor-

de uitspraak is dat geen twee sneeuwvlokjes er hetzelfde uit zien. Nu is het natuurlijk onmogelijk om alle sneeuwvlokken die ooit gevallen zijn met elkaar te vergelijken, maar je kunt dit wel met wat rekenwerk aannemelijk maken (zie kader hierboven).

Voor wie de wiskunde te ver gaat: er zijn enorm veel verschillende mogelijkheden waarop sneeuwvlokken kunnen vertakken. Daardoor is de kans dat er twee exact hetzelfde zijn, astronomisch klein. Elke sneeuwvlok heeft zijn eigen vorm en elke sneeuwvlok ziet er van dichtbij uit als een juweel. Zou het daarom zijn dat de Bijbel spreekt over de 'schatkamers der sneeuw' (Job 38:22)?

ELK KRISTAL IS AFKOMSTIG UIT DE SCHATKAMERS VAN DE SNEEUW

ZO ONTSTAAN IJSBLOEMEN

In de lucht om je heen zit vooral zuurstof (20%) en stikstof (bijna 80%), maar ook een aantal andere gassen in mindere mate, waaronder waterdamp.

Omdat al deze moleculen voortdurend in beweging zijn, botsen ze tegen elkaar en tegen alles wat met de lucht in contact staat. Hoe snel de moleculen bewegen, hangt af van de temperatuur – hoe hoger de temperatuur, hoe sneller ze bewegen.

Meestal stuiteren de watermoleculen terug als ze ergens tegenaan

komen, net als een voetbal tegen de muur. Maar soms blijft het water 'plakken', alsof de voetbal met lijm is ingesmeerd.

In de zomer ontstaan op die manier waterdruppeltjes tegen bijvoorbeeld een glas met frisdrank. Omdat het glas koud is (van de frisdrank), zal water vanuit de warme lucht – waar het

snel beweegt – afrempelen wanneer het in de buurt van de koele lucht van de frisdrank komt. Hierdoor ontstaan druppeltjes op het glas: condens.

In de winter gebeurt in principe

hetzelfde. Het verschil is alleen dat dan het water bevroren is als rijp. Dit heeft dezelfde zeshoekige basisvorm als de sneeuwvlokken, maar in plaats van mooie stervormige structuren, krijg je kristallen.

Kunstwerk op het raam.



STABIELE VORM

De ene sneeuwvlok ziet er nog ingewikkelder uit

WAAROM ZIJN SNEEUWVLOKKEN ZESHOEKIG?

▶ Een **watermolecuul** (H_2O) bestaat uit twee **waterstofatomen** (H, wit in de figuur) en één **zuurstofatoom** (O, rood in de figuur).

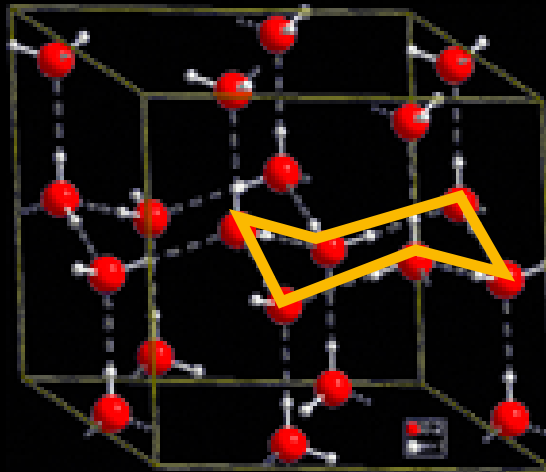
▶ Van zichzelf zijn deze atomen elektrisch geladen. Waterstof is **positief** ($1+$), zuurstof is twee keer zo sterk **negatief** geladen ($2-$). Omdat het watermolecuul een gebogen vorm heeft – de waterstofatomen zitten niet recht tegenover elkaar – is deze lading niet gelijk over het molecuul verdeeld. De kant met de zuurstof is lichtelijk **negatief geladen**, de kant met waterstof is **positief**.

▶ Zoals altijd trekken verschillende ladingen elkaar aan. In water, of in dit geval ijs, zullen de waterstofatomen

daarom bijna altijd **richting de zuurstofatomen** van naburige moleculen staan. In de scheikunde heet dit een '**waterstofbrug**'. Deze waterstofbruggen vormen ringen die **zeshoekig** zijn en per laag boven elkaar liggen (zie figuur).

▶ Als een sneeuwvlok groeit, hebben

de watermoleculen op de hoeken van de ring minder waterstofbruggen dan binnenin. Hier kan water uit de lucht makkelijk aanhechten, waardoor de karakteristieke **zespuntige ster** ontstaat.



In de figuur hiernaast is de zeshoekstructuur goed te zien (geel). Deze structuur herhaalt zich steeds in het vlak (links achter de gele ring ligt er nog een). De stippelijntjes geven de waterstofbruggen aan. Naar boven toe zijn drie waterstofbruggen die de volgende laag verbinden. Deze drie watermoleculen vormen de lagergelegen hoeken van de volgende zeshoek. Je kijkt nu als het ware vanaf de zijkant op een ijskristal, in hetzelfde vlak als de punten liggen.

dan de ander. Dit wordt vaak aangevoerd als een argument dat evolutie mogelijk is. Uit wanorde – de losse moleculen in de lucht – wordt zomaar een ordelijke structuur gevormd. Daarom, zo redeneert men, zou ook DNA zichzelf kunnen organiseren. Maar die vergelijking loopt mank. Hier speelt namelijk nog iets anders. In de natuur wordt altijd naar een zo laag mogelijk energieniveau gestreefd. Door de vorming van ijskristallen zijn de positieve en negatieve ladingen in het watermolecuul (zie het kader hierboven) netjes uitgebalanceerd. Min tegen plus, en plus tegen min. Dit heeft de laagste energie en is dus de meest stabiele vorm. Bij DNA moet je daarentegen juist energie toevoegen om de strengen te vormen. Zonder complexe reparatie-eiwitten en een precies uitgebalanceerde omgeving wil

DNA namelijk juist uit elkaar vallen, want dat geeft de laagste energie.

BEWONDERING

Ijskristallen zeggen dus niets over het mogelijk zijn van evolutie. Je kunt ijskris-

tallen dan ook beter bewonderen als een voorbeeld van de grote creativiteit die in de schepping is gelegd.

DOE-HET-ZELF WETENSCHAP

▶ Onderstaande foto's zijn gemaakt door Wilson Bentley (1865-1931). Hij had een voorliefde voor wetenschap en bekeek graag alles door zijn moeders microscoop. Vanaf zijn vroege jeugd was hij geïnteresseerd in sneeuwvlok-

ken. Bentley was de eerste persoon die, door simpelweg dingen te proberen erin slaagde om foto's door een microscoop te maken.

Net als Bentley kun je trouwens zelf ook heel gemakkelijk ijskristallen bestuderen. Hiervoor heb je niet veel nodig. Een vergrootglas is genoeg om de kristallen van rijp (bevroren



dauw) goed te kunnen zien. En zelfs als het geen koude winter wordt, kun je in de diepvries of het vriesvak van de koelkast vaak mooie rijpformaties zien.