

Bekehuft en Peilwater

Bekehuft en peilwater zijn belangrijke elementen in de waterhuishouding van een ecosysteem. De bekehuft zorgt voor de zuivering van het water, terwijl peilwater de waterstand reguleert. Dit proces is essentieel voor de gezondheid van rivieren en meren.



Waterhuishouding

Waterhuishouding is het proces waarbij water in de natuur wordt gebruikt en opnieuw wordt gecycled. Dit proces is essentieel voor het leven op aarde. Het omvat de afvoer van water naar de zee, de verdamping van water naar de atmosfeer en de neerslag van water op de grond.



Water en de mens

Water is essentieel voor het menselijk leven. Het wordt gebruikt voor drinken, koken, baden en voor de landbouw. Het is ook belangrijk voor de industrie en de elektriciteitsproductie. Het is daarom belangrijk om water te sparen en te beschermen.



Water en de natuur

Water speelt een belangrijke rol in de natuur. Het is nodig voor planten en dieren om te overleven. Het helpt ook bij het reguleren van de temperatuur en het klimaat. Het is daarom belangrijk om de natuur te beschermen en te herstellen.



Water en de economie

Water is een belangrijke hulpbron voor de economie. Het wordt gebruikt voor de landbouw, de industrie en de elektriciteitsproductie. Het is daarom belangrijk om water te sparen en te beschermen om de economie te ondersteunen.



Water en de toekomst


Water is een belangrijke hulpbron voor de toekomst. Het is nodig voor het leven op aarde en voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Het is daarom belangrijk om water te sparen en te beschermen om de toekomst te ondersteunen.



1999 • Water


Water en de natuur

Water speelt een belangrijke rol in de natuur. Het is nodig voor planten en dieren om te overleven. Het helpt ook bij het reguleren van de temperatuur en het klimaat. Het is daarom belangrijk om de natuur te beschermen en te herstellen.




Water en de economie

Water is een belangrijke hulpbron voor de economie. Het wordt gebruikt voor de landbouw, de industrie en de elektriciteitsproductie. Het is daarom belangrijk om water te sparen en te beschermen om de economie te ondersteunen.




Water en de toekomst

Water is een belangrijke hulpbron voor de toekomst. Het is nodig voor het leven op aarde en voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Het is daarom belangrijk om water te sparen en te beschermen om de toekomst te ondersteunen.




Water en de mens

Water is essentieel voor het menselijk leven. Het wordt gebruikt voor drinken, koken, baden en voor de landbouw. Het is ook belangrijk voor de industrie en de elektriciteitsproductie. Het is daarom belangrijk om water te sparen en te beschermen.




Waterhuishouding

Waterhuishouding is het proces waarbij water in de natuur wordt gebruikt en opnieuw wordt gecycled. Dit proces is essentieel voor het leven op aarde. Het omvat de afvoer van water naar de zee, de verdamping van water naar de atmosfeer en de neerslag van water op de grond.



Bekehuft en Peilwater

Bekehuft en peilwater zijn belangrijke elementen in de waterhuishouding van een ecosysteem. De bekehuft zorgt voor de zuivering van het water, terwijl peilwater de waterstand reguleert. Dit proces is essentieel voor de gezondheid van rivieren en meren.



Het is 1789. De Franse revolutie staat op het punt uit te breken, maar op het eiland Tahiti in de Stille Oceaan dat sinds 20 jaar Frans is, is daar niets van te merken. Daar vertrekt het Engelse schip Bounty na een maandenlang verblijf. De bemanning heeft een zeer aangename en losbandige tijd gehad op het eiland. Na het vertrek probeert kapitein William Bligh met harde hand de tucht aan boord te herstellen. Hij is een uitstekend zeeman, maar omgaan met mensen is niet z'n sterkste kant. Al snel bedenkt een groot deel van de bemanning dat het vrije leven op Tahiti toch veel prettiger was dan het werken onder de knoot van kapitein Bligh. Ze besluiten te muiten, en zetten Bligh met nog 18 mannen in een roeiboot. Ze moeten zich maar zien te redden met een beetje water, scheepsbesluit en jenever. De muiters gaan met de Bounty terug naar Tahiti.

Voor de 19 mensen in de roeiboot begint nu een barre tocht, waarop ze zullen leren hoe waardevol een druppel water is.

In de tropische hitte, midden in een oceaan van zout water, moeten ze overleven met een strikt rantsoen drinkwater. Op het eerste eiland dat ze aandoen, kunnen ze gelukkig een beetje drinkbaar water verzamelen. Water !! Maar al heel snel worden ze door de inwoners teruggejaagd, de zee weer op.

Bligh besluit om naar Timor te roeien, bijna 6000 kilometer weg, het dichtstbijzijnde eiland waar een Europees garnizoen is. Onderweg denken ze maar aan één onderwerp: water!! En alle vechtpartijen en ruzies aan boord gaan steeds over dat ene: water!! Met een provisorisch zeil proberen ze elk zuchtje wind te benutten. Voordat ze gek worden van dorst komt er gelukkig regen, zodat direct de zeilen worden vlak gelegd om zoveel mogelijk van het kostbare vocht te verzamelen. Water!!

Als door een wonder bereiken ze na

twee en halve maand hun doel. Op Timor kunnen ze water drinken. Water!! Gewoon water. Nou ja, gewoon....

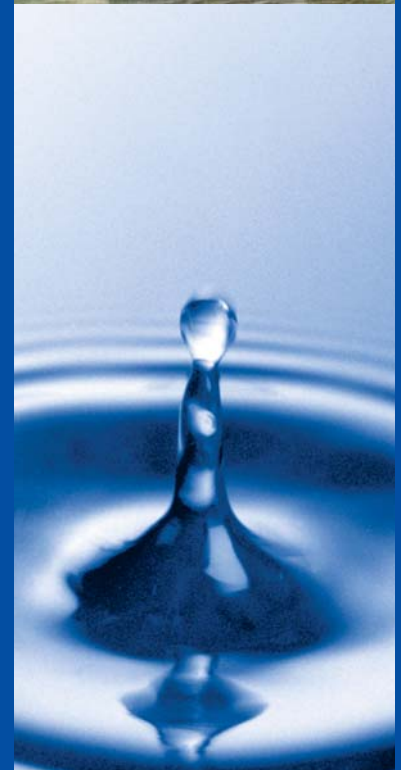
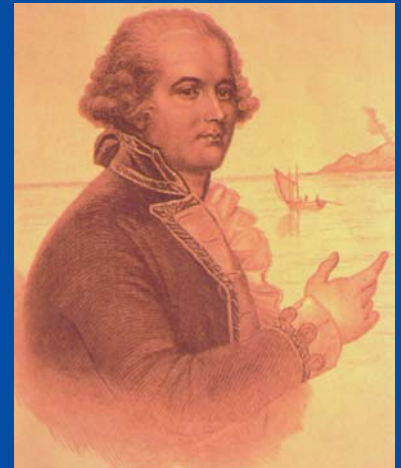
Dat water een van de belangrijkste stoffen op aarde is, weet de mensheid al vanaf het allereerste begin. De Grieken, die bedachten dat alles uit vier elementen is opgebouwd, kozen water natuurlijk als een van die vier elementen. Samen met aarde, lucht en vuur. Pas in de tijd van kapitein Bligh begint enige twijfel te ontstaan aan de status van water als element. In het jaar dat Bligh door een Nederlands koopvaardij-schip in Londen wordt afgeleverd en uit eigen ervaring kan vertellen hoe elementair water is, verschijnt in Parijs het scheikundeboek van Lavoisier waarin hij afrekent met water als element. Lavoisier had water ontleed in twee gassen, die hij zuurstof en waterstof noemde.

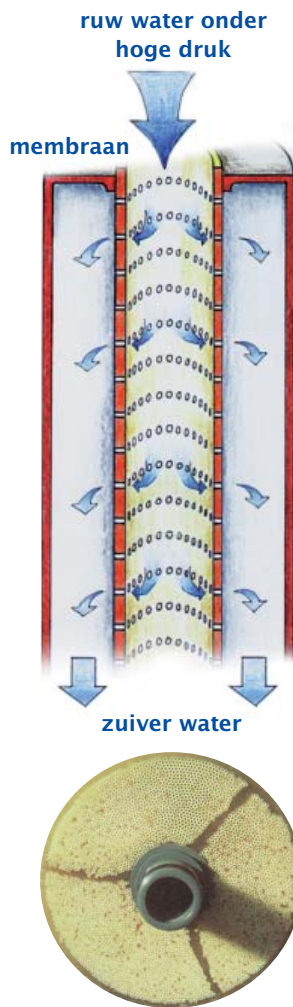
En, ook al is water geen element, het is voor de wetenschap, en met name voor de scheikunde, haast net zo belangrijk als voor de mens.

Uitgeperst water

Water is een geweldig oplosmiddel. In geen enkel andere vloeistof lossen zo veel verschillende stoffen op. Veel zouten lossen op en polaire moleculaire stoffen zoals suikers en een aantal eiwitten ook. Dat is van doorslaggevend belang voor het leven zoals we dat kennen: in het lichaam worden door het bloed allerlei stoffen aan- en afgevoerd.

Soms is dat geweldig oplossend karakter wel een probleem. De bemanning van de Bounty kon geen zeewater drinken doordat er teveel zout in was opgelost. Een van de weinige manieren om het water schoon te maken en al deze opgeloste stoffen er in een keer uit te halen, is destilleren. Meestal doet de natuur dat voor ons, in de vorm van regenwater. Dankzij dat natuurlijke destillatieproces konden de mensen van de Bounty hun verhaal navertellen.





Schoon water, schoon bloed

Je lichaam zelf heeft ook voortdurend de behoefte om het bloed schoon te maken. Afvalstoffen moeten verwijderd, maar alle noodzakelijke stoffen moeten erin blijven zitten. Chemisch een vrijwel onmogelijke combinatie. Vooral omdat juist onbekende stoffen met voor het lichaam onbekende eigenschappen eruit gehaald moeten worden.

Het lichaam heeft een geniale oplossing voor dit probleem: het water met alle gewenste en ongewenste opgeloste stoffen gaan door een ruwe zeef naar buiten. Alleen bloedlichaampjes, bloedplaatjes en dergelijk worden tegengehouden. En daarna wordt van elke stof die het lichaam nodig heeft, apart bekeken of die weer terug naar binnen mag. Onbekende stoffen worden niet herkend, en blijven automatisch buiten. Ongewenste stoffen zoals teveel zout, ureum en ander afval ook.

Het zijn de nieren die dit chemische kunststukje verzorgen.

Van zeewater droog je uit

Er zit wel een zwak punt in het proces. Dat is het zout. Als de urine erg zout wordt omdat er te veel zout weggewerkt moest worden, krijg je te maken met een proces dat osmose heet. Als je 'zuiver' en 'zout' water aan twee kanten van een waterdovallend vlies hebt, dan zal er meer water naar de 'zoute' kant gaan dan terug. Dat is alleen tegen te houden als je aan de zoute kant het water onder een hogere druk zet: de osmotische druk. In de nieren kan dat niet, dus trekt zoute urine veel water uit het bloed. Dat is de reden dat de opvarenden van de Bounty geen zeewater konden drinken: je droogt dan letterlijk uit, hoe meer zeewater je drinkt, hoe meer je uitdroogt.

De nieren zijn niet de enige plaatsen waar de osmose een rol speelt. Overal waar cellen en vloeistoffen bij elkaar komen, treedt osmose op.

Je kunt osmose ook nadoen, er zijn inmiddels folies die watermoleculen doorlaten maar ionen niet. Dus net als een natuurlijk membraan. Van dat folie maak je een hele bundel dunne buisjes en door die buisjes laat je zout water stromen. Tussen de buisjes is zuiver drinkwater. Direct wil dat water door de osmotische werking, naar binnen toe, naar het zoute water. Dat is natuurlijk niet de bedoeling, en om dat te voorkomen, moet het zoute water onder druk gezet worden: de osmotische druk. Maar als je het zoute water een nog hogere druk geeft dan de osmotische druk, keert het

proces om, en wordt het zoute water naar de zoete kant geperst. Het gaat om een druk die niet kinderachtig is: de osmotische druk tussen zeewater en zoet water is ongeveer 30 bar, en daar moet je dus nog ruim overheen. Vergelijk dat eens met de 2 bar van een autoband en de 5 bar van een racefietsbandje.

Voor kleine hoeveelheden, op zeeschepen, of waar geld geen rol speelt, zoals in luxe hotels op tropische eilanden, wordt dit proces (omgekeerde osmose genoemd) al enige tijd toegepast om drinkwater uit zeewater te maken.

Maar scheikundigen hebben niet stilgezeten. Steeds betere, sterkere en goedkopere folies worden gemaakt die goed te gebruiken zijn voor deze omgekeerde osmose. De scheikundigen hebben het dan meestal over hyperfiltratie, want er is geen echt verschil met gewoon filteren. De poriëngrootte is ongebruikelijk klein, en dat veroorzaakt dat je hevig last krijgt van osmose. Maar het is in feite helemaal geen osmose, zoals de term omgekeerde osmose wel een beetje suggereert, eigenlijk pers je het water onder hoge druk door een filter. Het Noord-Hollands waterleidingbedrijf heeft in Heemskerk een fabriek gebouwd die op dit principe werkt. Het proces is uitvoerbaar als het water eerst goed voorgezuiverd wordt, want de kleine poriën raken anders binnen een paar minuten verstopt. Het water dat uit deze waterfabriek komt bevat 'niets' meer, geen bacteriën, geen virussen, geen moleculen van welke verontreiniging dan ook, en zelfs geen ionen. Het heeft dus een hardheid van nul. Omdat dit soort water niet geschikt is om te drinken (veel te zacht water is ongezond) moet het worden gemengd met 'gewoon' gezuiverd water tot de hardheid 9 °DH is. Een groot deel van Noord-Holland drinkt nu geperst water.

Trainen is zilver, water is goud.

Iedereen die ooit op een warme dag iets aan sport gedaan heeft kent het verschijnsel: na afloop zweet je als een otter en je vergaat van de dorst. Het leveren van goede sportprestaties is niet mogelijk zonder water. Dat geldt voor alle sporten, maar vooral bij duursporten als hardlopen en fietsen. Sporters verliezen door zweten soms meer dan twee liter vocht per uur. Als dit vochtverlies niet wordt aangevuld door drinken, kan de sporter uitdrogen, oververhit raken en op de lange duur zelfs sterven. Gelukkig zijn de meeste sporters maar korte



tijd achtereen bezig, en hebben daarna voldoende pauze om te drinken. Duursporters, die lange tijd achtereen moeten presteren, hebben dat niet. Die moeten hun vochtreserve aanvullen tijdens het sporten. Het vervelende is alleen, dat je dan nog geen dorst hebt. Je zweet alleen minder en je hebt het warm, maar je wil nog even doorzetten...

En voor je het weet, heb je in plaats van de finish het ziekenhuis bereikt. Misschien wel de beroemdste sporter die dit overkwam was de Italiaanse marathonloper Pietri bij de Olympische Spelen van Londen in 1908. De 24ste juli was een warme dag, en Pietri had het parcours van Windsor Castle tot het Olympisch Stadion in een vlot tempo afgelegd, zonder veel tijd te besteden aan drinken onderweg. Als eerste kwam hij het stadion binnen, maar zakte toen in elkaar. Hij kwam weer overeind, liep enkele meters en viel weer, en dit herhaalde zich tot twee officials hem ondersteunden. Vlak voor de finish gediskwalificeerd moest hij toezien hoe de Amerikaan John Hayes, die onderweg wel voldoende water had gedronken, het goud voor zijn neus wegkaapte.

Tegenwoordig drinken sporters liever geen gewoon water maar speciale sportdranken met een beetje zouten en suikers, en een ruime hoeveelheid suggestie. De samenstelling is meestal simpel, maar de zoektocht naar dat simpele recept is heel merkwaardig geweest, en liep via uitgedroogde baby's en cholera.

Cholera: een gevreesde epidemie

Cholera wordt veroorzaakt door de bacterie *Vibrio cholerae*, een bacterie die in zoet en zout water kan leven. De bacterie nestelt zich in de slijmvliezen van de dunne darm en veroorzaakt daar overmatige uitscheiding van vocht en elektrolyten. Een normaal lichaam scheidt ongeveer 1,4 liter vocht per dag uit, bij een cholera-patiënt kan dit oplopen tot 10 liter per dag. Als het slachtoffer niet snel en genoeg water kan opnemen, volgt binnen enkele dagen de dood door uitdroging.

Uitgedroogde baby's

Net als Cholera-patienten lopen ook baby's die niet veel drinken op warme zomerdagen gevaar van uitdroging. Vooral als ze een beetje ziek zijn, spugen en/of diarree hebben. Liever dan water, krijgen ze dan een isotone zoutoplossing te drinken. Isotoon wil zeggen, dat de osmotische waarde van de oplossing gelijk is aan die van het bloed. Dat geldt bij een natrium-

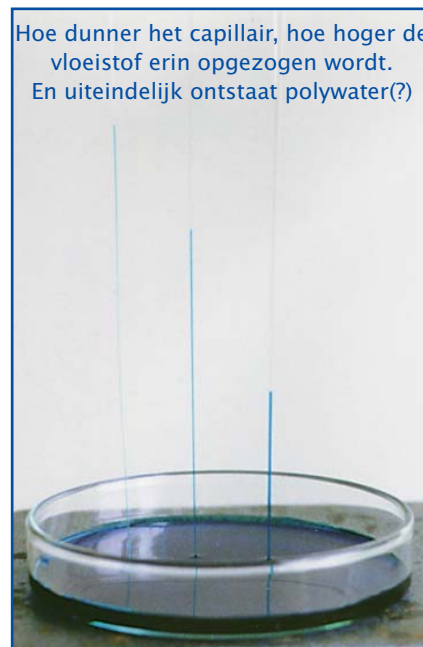
chloride-oplossing van ongeveer 0,9%. Maar veel baby's met uitdrogingsverschijnselen willen dat brakke water niet. Een kinderarts in de tropen probeerde daarom de vervelende smaak te verdoezelen. Hij voegde een beetje suiker toe en merkte, dat deze oplossing niet alleen beter gedronken werd, maar op raadselachtige wijze ook nog veel beter werkte. Hij gaf de aanzet tot wat nu heet ORS, Oral Rehydration Salt, een mengsel van zouten en glucose dat niet alleen veel baby's gered heeft maar ook vele duizenden cholera-patiënten.

Buckyballs en polywater

Enkele jaren geleden werden buckyballs ontdekt. Moleculaire bollen van 60 koolstofatomen, met heel andere eigenschappen dan de andere vormen van zuivere koolstof zoals grafiet en diamant. Niet iedereen geloofde het verhaal van deze nieuwe vorm van koolstof direct. Veel wetenschappers konden zich nog goed het leerzame verhaal herinneren van polywater.

De merkwaardige geschiedenis van polywater begint in Moskou. In 1966 onderzoekt Fedyakin daar het gedrag van water in kleine capillairtjes. Dat zijn heel dunne glazen buisjes, die je gemakkelijk zelf kunt maken door een buisje van zacht glas (zoals een pipetje bijvoorbeeld) in de vlam heet te maken en uit te trekken tot de dikte van een draad. Die draad blijft daarbij hol: een capillairtje. Fedyakin wist dat op alle oppervlakken van voorwerpen een dun laagje water zit. Dus ook op de binnenwand van dunne capillairtjes. Hij vroeg zich af welke eigenschappen zo'n dun laagje water heeft. Water dat op een gewoon oppervlak zit, heeft geen bijzondere eigenschap-

Hoe dunner het capillair, hoe hoger de vloeistof erin opgezogen wordt. En uiteindelijk ontstaat polywater(?)



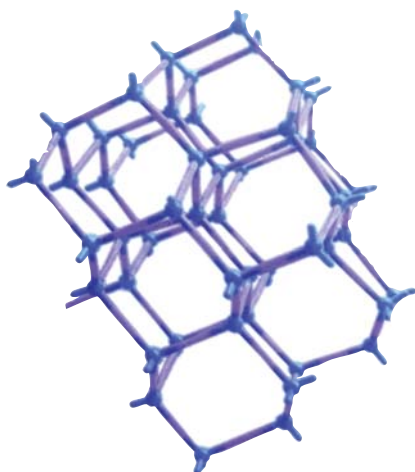
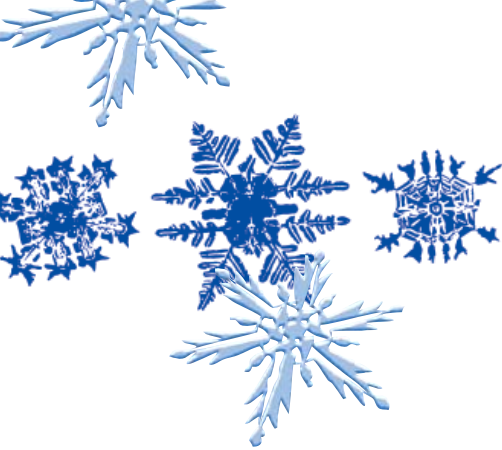
Waarom ORS werkt

De dunne darm bevat vingervormige uitsteeksels, villi, die natriumionen, chlorideionen en water uit het bloed naar de darm transporteren om bij de vertering te helpen. De villuscellen hebben twee biochemische kanalen om natriumionen en glucosemoleculen (en daarmee water en chloride-ionen) terug naar de bloedbaan te krijgen. De cholera-bacterie blokkeert het ene kanaal en vermindert heropname van water door het bloed.

Het tweede kanaal werkt alleen als er voor elk natriumion een glucosemolecuul aanwezig is - en dat is bij een verzwakt persoon die niet meer kan eten of drinken onwaarschijnlijk.

Een ORS-oplossing levert gelijke molariteiten natriumionen en glucose en stimuleert daardoor het tweede opnamekanaal. Met natrium en glucose worden ook water en chloride opnieuw opgenomen door de dunne darm en de uitgedroogde patiënt wordt gered.

Toen het effect van het zout/zoet water-mengsel bij baby's met uitdrogingsverschijnselen bekend werd, ging men deze vloeistof ook bij cholera-patiënten toepassen. En met opzienbarend succes! Na enig experimenteren ontstond de huidige samenstelling van ORS (Oral Rehydration Salt): een oplossing van 3,5 g NaCl per liter, 2,9 gram natriumcitraat per liter, 1,5 gram KCl per liter en 20,0 gram glucose per liter. Nog nooit was een zo ernstige ziekte met zo'n eenvoudig middel te genezen.



pen, maar water op de binnenwand van capillairtjes bleek opvallende andere eigenschappen te hebben. Een kookpunt van 150° bijvoorbeeld, een stolpunt ver onder nul, en net zo stroperig als motorolie. Polywater noemden ze het water met deze nieuwe eigenschappen.

Het leek wel of de waterstofbruggen heel andere eigenschappen hadden gekregen. Waterstofbruggen zijn de krachten die er voor zorgen dat watermoleculen onder nul graden onwrikbaar vast in een ijskristal bij elkaar gehouden worden. Waterstofbruggen houden boven nul graden de watermoleculen bij elkaar in een vloeistof. Maar volgens de Russische onderzoekers lijken de waterstofbruggen van het net ontdekte polywater veel sterker dan normaal.

De leider van een Russische delegatie, Derjaguin, vertelde op een congres in Engeland over deze ontdekking, maar de eerste reactie was nogal lacherig. Dat veranderde toen westerse onderzoekers wilden bewijzen dat het allemaal maar onzin was. Ook zij vonden tot hun verbazing veel sterkere bindingen dan normaal. Plotseling was de wetenschap in rep en roer. Als dit echt waar was, vielen er zeker Nobelprijzen te verdienen.

Uit berekeningen van theoretisch scheikundigen bleek polywater echt te kunnen bestaan. En in het belangrijke tijdschrift Nature werd een brief opgenomen van een onderzoeker die bezwoer om onder geen beding polywater te morsen in gewoon water. Als het water van de zeeën en oceanen ook de polywatereigenschappen krijgt, verdampt het nauwelijks meer, worden er geen wolken meer gevormd en regent het niet meer. De waterkringloop is verstoord, en de aarde zal binnen enkele weken onbewoonbaar zijn. Schrik alom. Vooral toen iemand opmerkte dat dit de verklaring kon zijn voor het gebrek aan water op andere planeten: het water was daar al gepolymeriseerd en leven onmogelijk geworden. De aarde stond aan de vooravond van dezelfde ramp. Journalisten schreven huiveringwekkende artikelen die gretig gelezen werden. Nader onderzoek met polywater was dringend noodzakelijk, maar werd gehinderd doordat het nog niet in grotere hoeveelheden te maken was.

Een watermolecuul kan in vier richtingen met zo'n waterstofbrug andere watermoleculen vasthouden (zie de tekening hierboven). Het lijkt dus eigenlijk op koolstof, die in precies dezelfde vier richtingen ook vier andere koolstofatomen kan vasthouden en dan diamant vormt. Net als in diamant zitten de watermoleculen in ijs in zeshoeken gerangschikt. Dat is mooi te zien in sneeuwkrystallen: prachtige vormen, maar altijd met zes punten.

Toch waren er veel kritische wetenschappers die niet meegingen in het medicircus dat inmiddels ontstaan was. Een van hen was de scheikundige Hildebrand. Hij rekende uit dat je precies dezelfde eigenschappen als van polywater kunt krijgen als je een heel geconcentreerde oplossing van de ionen maakt die ook in glas voorkomen: natrium, boor, chloride, sulfaat, kalium en calcium.

Heel 1971 werd hard gewerkt aan nieuwe methoden om polywater te onderzoeken, en toen die er eenmaal waren, bleek Hildebrand gelijk te hebben. Ook in de Sovjet Unie werden deze nieuwe onderzoeksmethoden ingevoerd, en moesten de onderzoekers in 1973 uiteindelijk toegeven dat polywater niet bestond.

Het is een leerzame les geweest. Onderzoekers die subsidiegeld ruiken en Nobelprijzen zien opdoemen, en journalisten die lees- en kijkcijfers zien groeien. Samen een beproefd recept voor gebakken lucht, zoals dat zo mooi wordt genoemd.

Achteraf is het gemakkelijk aan te wijzen, welke fouten zijn gemaakt. Toen enkel jaren later de koude kernfusie werd uitgevonden, begon hetzelfde circus weer opnieuw. Met dezelfde uitkomst.

Maar toen de buckyballs werden ontdekt.... toen bleek het wel juist te zijn.

Stralend water

Water is een zuivere stof. Dat betekent dat alle watermoleculen gelijk zijn. Staat in de scheikundeboeken. Maar als je op de isotopen let, is die uitspraak eigenlijk niet waar. Er zijn allerlei verschillende watermoleculen, die normale mensen zonder verder nadenken met bekers tegelijk opdrinken. Dat komt omdat er alleen al van waterstof drie isotopen bestaan: het normale H-1, daarnaast deuterium, H-2 en tenslotte het radioactieve tritium: H-3.

Jaren geleden werd in de scheikunde nauwelijks aandacht geschonken aan verschillende isotoopsamenstellingen in een stof: alle isotopen reageren gelijk. Maar nu de isotoopsamenstelling heel nauwkeurig kan worden bepaald, blijkt ook dat niet helemaal waar te zijn. Bij allerlei reacties en processen in de natuur blijkt het wel degelijk uit te maken welk isotoop van waterstof, zuurstof of koolstof er bij betrokken is. Neem bijvoorbeeld zwaar water, dat heeft duidelijk afwijkende eigenschappen. Zwaar water, ook bekend als D_2O , bestaat uit watermoleculen met twee deuteriumatomen in plaats van de normale waterstof, en is dus meteen ruim tien procent zwaarder: een molmassa van 20 in plaats van 18. En dat

betekent een hoger kookpunt: 101,4 en een smeltpunt van 3,4°. Het wordt veel gebruikt in sommige kernreactoren om neutronen te remmen.

Een ander soort water, toevallig ook even zwaar als zwaar water, is water met een tritium-atoom erin. HTO zogezegd. Dat tritiumatoom dat erin zit, is radioactief. Het wordt in de atmosfeer gemaakt door kosmische straling, en het valt vrij snel weer uit elkaar. In twaalf jaar is de helft nog over. HTO is dus vooral te vinden in regenwater (en ook in oppervlakkig grondwater). Tritium-atomen die in het lichaam ontleden (er wordt dan bètastraling uitgezonden) zijn schadelijk, dus fanaten die vinden dat regenwater ab-so-luut veilig is, hebben het mis (bronwater-fanaten trouwens ook, want in bronwater zit radioactief kalium). Het bepalen van de hoeveelheid tritium in water geeft dus de mogelijkheid om te zien of bronwater echt uit een diepe bron komt, of gewoon van leidingwater is gemaakt. En het lukt met deze bepaling ook om te onderzoeken of wijn echt zo oud is als op het etiket beweerd wordt. Druiven bevatten grotendeels vers regen- en grondwater, maar eenmaal in de fles loopt het tritiumgehalte langzaam terug. En dat tempo kan geen fraudeur versnellen.

Lichte regen in Nederland

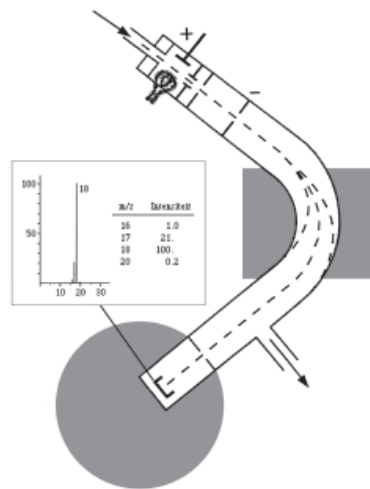
Regen die in Nederland valt, bestaat uit water met een lagere molecuulmassa dan regenwater uit de tropen. Deze opmerkelijke uitspraak is van dr. Kay Beets. Hij is onderzoeker bij het isotopenlab van de afdeling geologie van de VU en houdt zich veel bezig met isotopenchemie. Hij maakt bij zijn onderzoek vaak gebruik van het feit dat de verhouding van isotopen van een bepaald element niet overal precies gelijk is.

Kay vertelt: "Iedereen kent wel die plaatjes in leerboeken over de waterkringloop op aarde: water verdampt uit de oceaan, regent op het land, enzovoort. Uit die plaatjes wordt altijd iets weggelaten. Het meeste (oceaan)water verdampt in de tropen, en voordat het als regen terugvalt, daar of ergens anders, is het meestal tientallen keren gecondenseerd tot wolken waterdruppeltjes en weer verdampt tot waterdamp zonder de aarde te bereiken. Dat proces wordt weggelaten, want het is overbodig om de waterkringloop te begrijpen. Maar voor isotopenchemici is het de sleutel voor het begrijpen van de verschillen in molecuulmassa van regenwater.

Het proces lijkt heel sterk op wat scheikundigen noemen 'gefractioneerde destillatie', zoals dat bijvoorbeeld bij

olieraffinaderijen wordt gedaan om de bestanddelen uit aardolie te scheiden. Zware moleculen condenseren gemakkelijk en komen laag in de destillatiekolom terecht, lichte moleculen verdampen gemakkelijk en komen hoog in de kolom. De atmosfeer is eigenlijk één grote destillatiekolom. Zware watermoleculen condenseren gemakkelijk als regen in de tropen, en lichte watermoleculen blijven langer zweven en worden pas regen in noordelijker streken zoals Nederland. Als je de molecuulmassa van regenwater nauwkeurig meet, kun je dus zeggen op welke breedtegraad de regen is gevallen. Niet alleen het regenwater, maar eigenlijk al het (zoete) water van meren en rivieren verradt zo de herkomst."

De zware watermoleculen die in de tropen al weer uitregenen zijn vaak andere dan de D_2O en HTO moleculen die hierboven werden genoemd. Er is namelijk nog een derde soort 'zwaar water', en die komt nog veel meer voor dan D_2O en HTO: namelijk water met een O-18 atoom erin. Dat O-18 atoom is niet radioactief, en valt dus niet op, behalve in de massaspectrograaf van de isotopenchemicus.



De massaspectrometer is erg geschikt om massa's van moleculen te meten. Als je de massa van de verschillende watermoleculen in zuiver water wilt meten, doe je dat in een ruimte waar het verdampt en waar de damp beschoten wordt met snelle elektronen. Elektronen uit de schil worden eraf geschoten, in het geval van water krijg je dan H_2O^+ ionen. Daarna worden deze ionen sterk versneld, en met die snelheid afgebogen in een magnetisch veld. Bij het afbuigen krijg je het effect waarom je dat allemaal doet: zware water-ionen buigen niet zo gemakkelijk af als lichte water-ionen. Na het afbuigen meet je nauwkeurig, waar alle ionen terecht zijn gekomen (dus hoever de ionen zijn afgebogen), en hoeveel er van elk zijn. Het plaatje dat je bij die meting krijgt heet een massaspectrogram: op de ene as staat de massa van de gemeten ionen en op de andere de hoeveelheid van de die ionen. De meeste waterionen (en dus ook moleculen) zullen een massa 18 hebben, maar er zijn ook watermoleculen die een massa van 19, 20 of 21 hebben. De massaspectrometer wordt veel gebruikt voor het bepalen van de structuur van onbekende koolstofverbindingen. Ingewikkelder moleculen dan water worden niet alleen geïoniseerd, maar bovendien aan flarden geschoten. Die brokstukken worden gesorteerd naar massa, en weer 'aan elkaar gepuzzeld' tot een molecuul.

