



# ALLEDAAGSE MOLECULEN

BOUWSTENEN VAN ONZE WERELD

BEN FERINGA &  
ANOUK LUBBE

NOORDBOEK

# INHOUD

Voorwoord 7

Fruit 10

Tanden 18

Koffie en thee 26

Frisdrank 34

Auto's 44

Insecten 54

Licht 62

Lippenstift 68

Sport 76

Smartphone 84

Akkerbouw 92

Textiel 100

Suiker 110

Water 118

E-nummers 124

Geneesmiddelen 132

Het lichaam 142

Koken 152

Sigaretten 160

De borrel 168

Chemische wapens 178

Chemische verdediging in de natuur 188

Geur 198

Schoon 208

Onze moleculaire wereld 216

Een klein beetje achtergrond 227

Dankwoord 239

© 2022 Ben Feringa en Anouk Lubbe | uitgeverij Noordboek

Omslag en boekverzorging: Barbara Jonkers

Illustraties: Qian Wang, 王潜

Molecuulmodellen: Erick Vermeulen

Auteursfoto: Sjoerd Weber

ISBN 978 90 5615 977 1

NUR 910 | 913

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van uitgeverij Noordboek, Postbus 234, 8400 AE Gorredijk, Nederland – [info@noordboek.nl](mailto:info@noordboek.nl)

Noordboek is onderdeel van  
20 leafdesdichten en in liet fan wanhoop bv

[www.noordboek.nl](http://www.noordboek.nl)



## VOORWOORD

Het prachtige palet aan kleuren van de lentebloemen in onze tuin en de geur van de verse koffie zorgt ervoor dat deze ochtend het aantal dopamine- en serotoninemoleculen in mijn hersenen een flinke boost krijgt. Met een gelukkig gevoel geniet ik volop van het begin van deze zonnige dag. Heb je je weleens afgevraagd hoe het de zon toch elk voorjaar weer lukt om uit dat piepkleine zwarte zaadje al die moleculaire bouwstenen te maken om die schitterende klaproos tevoorschijn te toveren? En wat maakt het kleine molecuul  $C_8H_{10}N_4O_2$ , oftewel cafeïne, nou eigenlijk zo'n speciale psychoactieve stof? Ik word er in elk geval door gestimuleerd om toch maar even het berichtje te beantwoorden dat net op mijn smartphone binnenkomt. Bij het zien van de letters op de display dwalen mijn gedachten af naar 1888. In dat jaar ontdekte de Oostenrijkse botanicus en chemicus Friedrich Reinitzer bij toeval vloeibare kristallen. Wie had er toen ook maar kunnen bedenken dat dit nieuwe type molecuul, met eigenschappen tussen een vaste en vloeibare stof in, honderd jaar later de basis zou zijn voor onze tv-schermen en mobiele telefoons?

Van de bouwstenen van mijn eigen lichaam en de krant die voor me ligt tot de kleding die ik draag en de geur van de shampoo die ik opsnuif. Het lijkt allemaal zoiets vanzelfsprekends waar we niet bij stilstaan, maar bijna alles om ons heen bestaat uit moleculen. De chemische verbindingen, de moleculen, materialen of stoffen die ervoor zorgen dat we auto's hebben, plastic, voedsel en verf, dat we kunnen ademen, blozen en zien, of iets lekker ruikt of juist stinkt.

In *Alledaagse moleculen* nemen we je mee in de wereld om ons heen en vertellen we over de fascinerende bouwstenen waaruit deze bestaat. We hebben de hoofdstukken opgebouwd rondom alledaagse fenomenen, zoals de tandpasta die je tweemaal daags gebruikt, de auto waarmee je naar het werk rijdt, en de chemische wapens uit het achtuurjournaal.

De structuur van de moleculen en de samenstelling van de materialen die hierop zijn gebaseerd bepalen of iets giftig is of juist gezond, of iets hard of zacht aanvoelt, of iets in de natuur voorkomt of door wetenschappers en industrie kunstmatig is ontworpen. Neem  $H_2O$ , oftewel water, waar meer dan de helft van je lichaam uit bestaat. Het lijkt bijna magie, maar het vervangen van het enkele zuurstofatoom (O) in het watermolecuul door een zwavelatoom (S) geeft  $H_2S$ , een giftig gas. Gelukkig waarschuwt die sterke geur, die we allemaal kennen van rotte eieren, je voor het gevaar van bedorven voedsel of de rand van een vulkaan.

Je hebt waarschijnlijk ook nog nooit beseft dat etheen, het molecuul  $C_2H_4$ , een natuurlijk hormoon is dat zorgt voor de rijping van een banaan. Maar dat er tegelijkertijd jaarlijks wereldwijd 160 miljoen ton van datzelfde molecuul etheen in de chemische industrie geproduceerd wordt om onder meer het plastic zakje te maken om de banaan in te verpakken en te vervoeren. En denk je bij het eten van een banaan weleens aan een van de grootste uitdagingen voor de wetenschap, industrie en maatschappij? Al deze kunststoffen moeten in de toekomst duurzaam worden geproduceerd en het plastic gerecycled. Bij de recente covid-pandemie werden we meer dan ooit geconfronteerd met al deze synthetische moleculen en materialen, van vaccins en injectienaalden tot mondkapjes en beschermende kleding.

De moleculaire wereld heeft een mysterieuze schoonheid. Een relatief beperkt aantal elementen stelt ons in staat een bijna oneindige variëteit aan moleculen te bouwen. Daarvan zijn alle materialen die we dagelijks tegenkomen afgeleid. Fascinerend!

In dit boek kunnen we slechts een selectie bespreken van dit prachtige palet aan alledaagse moleculen. De chemische structuur van moleculen die hier geïllustreerd wordt, is de basis voor de taal die wetenschappers en studenten over de hele wereld verbindt, en voor jou als lezer een eerste kennismaking met de moleculaire wereld.

Met dit boek willen we jou ook de verwondering over de alledaagse moleculen laten ervaren. Bovendien willen we je laten beseffen hoe de verbeelding van deze moleculaire wereld wetenschappers heeft geïnspireerd om cruciale innovaties te ontwikkelen, van nieuwe geneesmiddelen tot de energiedragers van de toekomst. We hebben nog maar een tipje van de sluier opgelicht van de fascinerende wereld van het molecuul. Geniet van de magie en schoonheid op deze reis langs de moleculaire bouwstenen van de wereld om ons heen en aarzel niet je favoriete molecuul te kiezen.

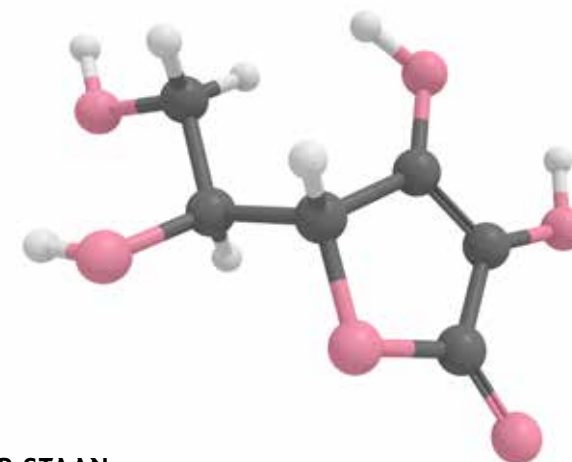
Ben Feringa & Anouk Lubbe

## FRUIT

Zin in een lekkere snack vol hexanol, methylbutanoaat, methaanthiol en choline? Deze stofjes klinken misschien niet per se heel appetijtelijk, maar ze zijn niet bepaald misselijkmakend. Al deze moleculen zijn namelijk puur natuurlijke bestanddelen van een aardbei. Vitaminen, suikers, voedingsvezels, geur-, kleur- en smaakstoffen: het zijn allemaal doodgewone moleculen, die je in een doodgewoon stukje fruit tegenkomt.

Fruit was een grondstof voor sommige van de allereerste chemische experimenten, in een tijd dat scheikundigen niet veel anders konden dan de dingen om hen heen stuk malen en kijken welke stoffen ze daaruit zuiver in handen konden krijgen. Citroenzuur, wijnsteenzuur en appelzuur zijn sommige van de eerste stoffen die scheikundigen konden isoleren. Maar we zijn nog lang niet uitgeleerd over fruit – in 2020 ontdekten onderzoekers nog dat een eiwit uit banaan mogelijk werkt tegen griep! In dit hoofdstuk kijken we naar een aantal moleculen en reacties uit de fruitschaal.

Vitamine C (ascorbinezuur)  
is de bekendste vitamine.



## Vitamine C

### LAAT DE SINAASAPPEL MAAR STAAN

Een vitamine is een stof die niet door het lichaam zelf gemaakt kan worden, maar die je wel nodig hebt. Een vitamine moet je dus op een andere manier binnenkrijgen, zoals uit je dieet. Fruit bevat voornamelijk de vitaminen A, C en E. Vitamine C staat bekend als een soort wondermiddel, en zou in hoge doses helpen tegen tientallen aandoeningen, van verkoudheid tot kanker. Wetenschappelijk bewijs ontbreekt echter, en alles wat je te veel binnenkrijgt plas je gewoon uit. Dat is overigens niet voor alle vitaminen het geval. Vitamine A bijvoorbeeld, lost op in vet in plaats van in water en blijft daarom in de lever hangen. Een grote hoeveelheid is daarom enorm giftig. Gelukkig hoeft je je geen zorgen te maken dat je gauw een vitamine A-overdosis binnenkrijgt, tenzij je per ongeluk in de winter op Nova Zembla strandt, uit nood een ijsbeer schiet en dan de lever verorbert.

Het lichaam heeft vitamine C nodig voor de productie van collageen. Collageen is het meest voorkomende eiwit in je lichaam, en is het belangrijkste bestanddeel van bindweefsel. Je huid en botten bestaan voor een groot deel uit collageen. Bij een vitamine C-tekort staakt de collageenproductie, een ziekte die ook wel scheurbuik heet. Iedereen kent wel de verhalen van school van de zeevaarders die het vroeger maanden zonder fruit of vers voedsel moesten stellen. Scheurbuik komt in de Westerse wereld nauwelijks meer voor. Mocht je toch last krijgen van pijnlijke gewrichten, bloedend tandvlees en inwendige bloedingen, dan is het niet het meest effectief om een paar sinaasappels en citroenen te eten. Veel meer vitamine C kun je namelijk vinden in rode paprika's, broccoli en zwarte bessen. Als je hem kunt vinden, ga dan voor de Australische Kakadupruim, die zelfs voor 3 procent uit vitamine C bestaat.

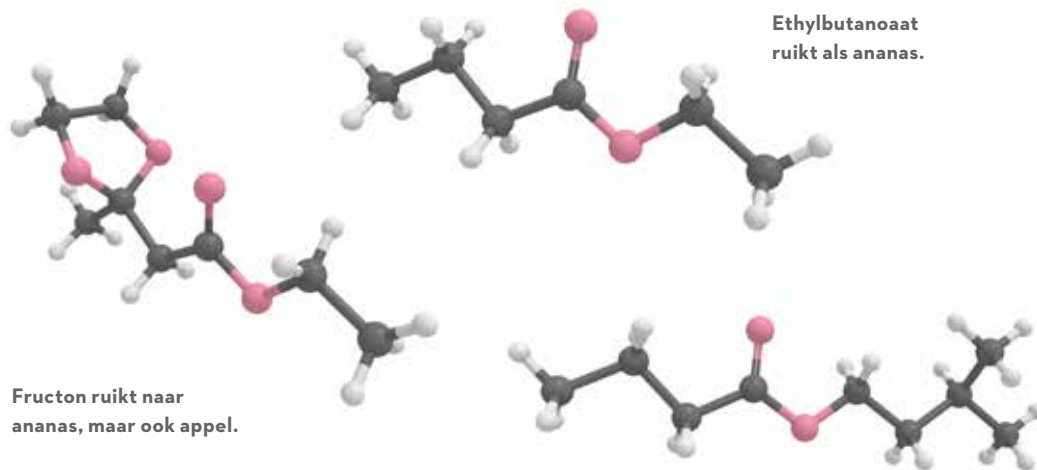
## Esters

### HET PARFUM VAN MOEDER NATUUR



De oude Egyptenaren wreven al vruchten over hun huid om de geur over te nemen. Tegenwoordig kijken mensen je daar misschien wat raar om aan, maar fruitgeuren zijn nog steeds belangrijke onderdelen van veel soorten parfum en zeep.

Die lekkere geuren zijn voor een groot deel te danken aan een bepaald type molecuul. Je ziet hieronder een aantal van de meest bekende geurmoleculen. Deze zogenaamde esters hebben allemaal dezelfde kernstructuur. Die voorspelbaarheid is gemakkelijk als je het niet bij bekende fruitgeuren wilt houden. Door de lengte van de staart in een laboratorium te veranderen, kunnen onderzoekers experimenteren om nieuwe geuren te ontdekken. Hoe langer de staart van een ester, hoe minder gemakkelijk de stof vervliegt. Parfumeurs houden daarmee rekening bij het samenstellen van een nieuwe geur. De kleinste moleculen vervliegen het snelst. Deze moleculen ruiken daarom het sterkst maar verdwijnen na een redelijk korte tijd. Je noemt deze geuren topnoten,



Fructon ruikt naar ananas, maar ook appel.

Ethylbutanoaat ruikt als ananas.

Isoamylbutanoaat ruikt naar banaan, meloen en peer.

en ze ruiken vaak naar citrus en ander fruit. De grotere moleculen vervliegen over een langere termijn en zijn na een langere tijd nog steeds te ruiken. Deze zogenaamde harttonen zijn vaak bloemengeuren. De grootste moleculen noem je basistonen – deze hebben vaak aardse geuren zoals hout en chocola, en ruik je uren later nog steeds.

## Proteasen

### DE CARNIVOREN IN JE FRUITSCHAAL

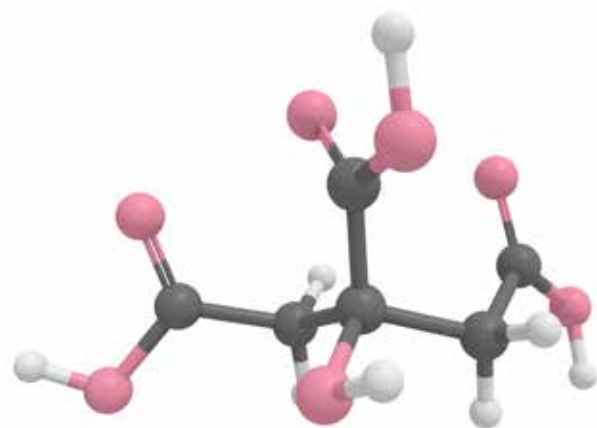
Je kent het wel: heb je net een lekkere kiwi gegeten, voel je een brandend gevoel in je mond. Papaja en ananas hebben hetzelfde effect. Dat gevoel is geen resultaat van een allergie, of van het zuur in het fruit, maar van een type eiwitten dat al deze fruitsoorten bevatten.

Bromelaïne, papaïne en actinidine zijn allemaal proteasen, een soort enzymen. Proteasen breken andere eiwitten af. In het menselijk lichaam zijn ze ook veel te vinden en ze spelen een belangrijke rol in stofwisselingsprocessen. Ze breken namelijk de eiwitten in je voedsel af tot kleinere stukjes, waar je energie uit kunt winnen. Proteasen zijn ook te vinden in wasmiddel, om voedselvlekken te verwijderen.

Bij het eten van ananas, kiwi of papaja breken de proteasen de bouwstenen van de tong af: ze verteren de mond dus een beetje vanbinnen. In Zuid-Amerika wordt taai vlees al duizenden jaren malser gemaakt door het een paar uur in kiwi- of papajapul te laten marinieren. Tegenwoordig zijn bromelaïne en papaïne zelfs in poedervorm te krijgen voor culinair gebruik. Een nieuw geneesmiddel voor ernstige brandwonden bevat bromelaïne en andere proteasen, die het dode weefsel in de wond verwijderen. Zo'n vleesetend stuk fruit is dus behoorlijk handig. Ananas voortaan laten staan is niet nodig; je tong heeft de schade binnen de kortste keren weer hersteld.



Citroenzuur is een manasje van alles.



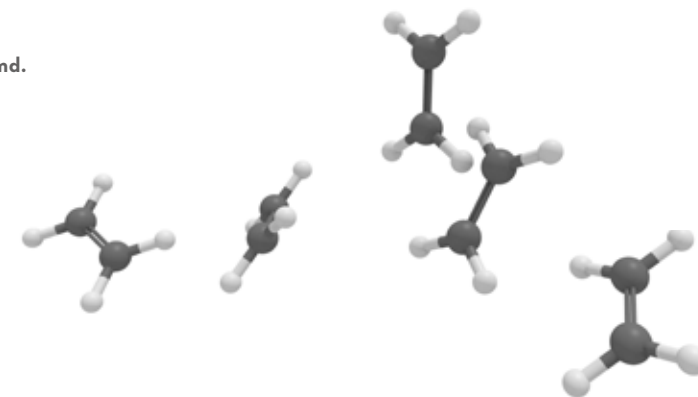
## Citroenzuur

### HULPMIDDEL VAN SPIONNEN

Citroenzuur is een zwak zuur dat in veel fruitsoorten voorkomt, met name citrusvruchten. Het een belangrijke smaakstof in voedsel, zoals in frisdranken. Je zou het Empire State Building bijna helemaal kunnen vullen met de 1,4 megaton citroenzuur die de industrie jaarlijks produceert. Omdat het metaalionen kan binden, is het vaak te vinden in wasmiddel, waar het ervoor zorgt dat de zeep ook goed werkt in hard (kalkrijk) water (zie: EDTA).

Misschien spannender om te weten: citroenzuur is ook te gebruiken als onzichtbare inkt. Een bericht dat geschreven is in citroensap is onzichtbaar, maar wordt bruin bij verhitting. Die verkleuring is het resultaat van een complex proces dat lijkt op karamellisatie. We begrijpen het nog niet helemaal, maar het begint in ieder geval met een reactie tussen het zuur en de cellulose waar het papier van is gemaakt. De bruine verkleuring ontstaat na langere tijd ook bij kamertemperatuur, en daarnaast is een bericht geschreven met citroensap ook leesbaar onder een ultraviolette lamp of na bespuiten met een joodoplossing. Voor het bewaren van staatsgeheimen is een andere methode dus handiger.

Etheen, ook wel ethyleen genoemd.



## Etheen

### JE EIGEN LAB IN EEN PLASTIC ZAK

Als je een appel koel en droog bewaart, is deze maanden houdbaar. Maar ligt er maar één rotte appel tussen, dan kun je de rest een week later weggooien. Die kettingreactie van rijping en rotting komt door een heel klein molecuul: ethyleen.

Etheen is een bouwsteen die je tegenkomt in oneindig veel chemische processen en is daarom met afstand de meest geproduceerde chemische stof van de wereld. Als moleculen Lego zijn, is etheen een 2x4-blokje. Het is bijvoorbeeld de bouwsteen voor boterhamzakjesplastic (zie: Polyetheen). Zoals heel veel chemicaliën komt dit molecuul ook gewoon voor in de natuur en wordt dan nog vaak met de oudere naam ethyleen aangeduid. Etheen is een gas dat een plant in bijna elk onderdeel produceert. Meer ethyleen betekent een rijpere vrucht. Deze etheenproductie vormt een vicieuze cirkel met het fruit, want etheen stimuleert rijping. Hoe rijper een vrucht, hoe meer etheen deze produceert, wat dan weer de rijping versnelt.

Bepaalde soorten fruit, zoals bessen en citrusfruit, kunnen alleen aan de plant rijpen. De pluk moet daarom gebeuren als ze op hun rijpste zijn, en daarna moeten ze onmiddellijk naar het bord van de consument. Andere soorten, zoals bananen, avocado's, peren en appels, kunnen narijpen. Deze kun je vroeg plukken, en zonder problemen lang opslaan. Vlak voor ze naar de supermarkt gaan, worden ze een dag behandeld met hoge concentraties etheen zodat ze rijp zijn om te eten.

Die supersnelle rijping is thuis ook gemakkelijk te doen en daar is echt geen chemische installatie of een hogedrukcilinder met gas voor nodig. Een rijpe banaan in een plastic zak doet precies hetzelfde, en maakt een harde avocado binnen een dag eetbaar.