

Bevoren aanpassen
 De meeste mensen denken bij het woord 'aanpassen' aan het aanpassen van een huis of een auto aan de omstandigheden. Maar in de wereld van de technologie is het aanpassen van een systeem of een proces een veel bredere term. Het gaat om het aanpassen van een systeem aan veranderende omstandigheden, zoals het aanpassen van een productieproces aan veranderende vraagstukken of het aanpassen van een softwaretoepassing aan veranderende gebruikersbehoeften. Dit proces wordt vaak geïllustreerd met de voorbeeld van een fabriek die haar productieproces aanpast aan veranderende vraagstukken.

Vanille Suiker
 Vanille suiker is een populaire smaakstof die wordt gebruikt in verschillende soorten gebak en snoep. Het wordt gemaakt van vanillepeper en suiker. Vanillepeper wordt gewonnen uit de vruchten van de vanilleplant (Vanilla planifolia). De vruchten worden gedroogd en vervolgens gemalen tot een poeder. Dit poeder wordt vervolgens gecombineerd met suiker om vanille suiker te maken. Vanille suiker wordt vaak gebruikt in gebak, snoep en drankjes. Het geeft een zachte, zoete smaak met een hint van vanille. Het is een populaire smaakstof die wordt gebruikt in verschillende soorten gebak en snoep.

Bevoren aanpassen
 Het is belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces niet altijd gemakkelijk is. Het vereist vaak een grondig begrip van het systeem en de omstandigheden waarin het moet functioneren. Het is ook belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces vaak een iteratief proces is. Het kan meerdere pogingen vereisen om het systeem of proces aan te passen aan de omstandigheden. Het is belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces vaak een iteratief proces is. Het kan meerdere pogingen vereisen om het systeem of proces aan te passen aan de omstandigheden.



speuren met geuren

De geur van een stof kan veel informatie geven over de stof zelf. Het is een belangrijk onderdeel van de analyse van een stof. Het is belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces vaak een iteratief proces is. Het kan meerdere pogingen vereisen om het systeem of proces aan te passen aan de omstandigheden.

1995 • Ruiken

chocolade
 Chocolade is een populaire snoepstof die wordt gemaakt van cacao. Het wordt gemaakt van cacaozaden die zijn geroosterd en gemalen tot een poeder. Dit poeder wordt vervolgens gecombineerd met suiker en boter om chocolade te maken. Chocolade wordt vaak gebruikt in snoep, gebak en drankjes. Het geeft een zachte, zoete smaak met een hint van cacao. Het is een populaire smaakstof die wordt gebruikt in verschillende soorten snoep, gebak en drankjes.

chocolade
 Het is belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces niet altijd gemakkelijk is. Het vereist vaak een grondig begrip van het systeem en de omstandigheden waarin het moet functioneren. Het is ook belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces vaak een iteratief proces is. Het kan meerdere pogingen vereisen om het systeem of proces aan te passen aan de omstandigheden.

Reinigers

De geur van een stof kan veel informatie geven over de stof zelf. Het is een belangrijk onderdeel van de analyse van een stof. Het is belangrijk om te begrijpen dat het aanpassen van een systeem of proces vaak een iteratief proces is. Het kan meerdere pogingen vereisen om het systeem of proces aan te passen aan de omstandigheden.

Van de zintuigen wordt het reukzintuig, onze neus, door veel mensen als het minst belangrijk gezien. Horen, zien, voelen en proeven vinden we belangrijker. Ruiken is dan ook niet de sterkste kant van mensen. Veel dieren doen dat duidelijk beter. Honden, katten, maar ook insecten kunnen sommige stoffen ruiken, lang voordat wij die met de meest verfijnde apparatuur kunnen aantonen. Tot in de vorige eeuw had je overigens helemaal niet zo'n goede neus nodig om volop te kunnen ruiken. In die tijd rook (en stonk) vrijwel alles. Mensen wasten zich nauwelijks, en in bad gaan was er al helemaal niet bij: dat was gevaarlijk, daar werd je ziek van. Veel mensen rook je dus al voordat je ze zag. Overal stonk het naar urine en naar bedorven vlees, vis, groente en fruit. Er was geen riolering en ook waren koelkasten en conserveermiddelen nog onbekend. Vooral in de grote steden moet er een onbeschrijflijke stank hebben geheerst. Zelfs in de kerk was je niet veilig: veel overledenen werden in de kerk begraven en vooral 's zomers was het er soms niet om te harden. Het gebruik van wierook was in die tijd niet alleen maar symbolisch: het was hard nodig om die penetrante lijklicht te verdringen. Wierook is al een van de oudste geuren. Al ver voor onze jaartelling werd het melksap uit de wierookstruik gewonnen en gebrand. Sinds die tijd worden stoffen die hun geur vooral bij verbranding afgeven, vaak bij religieuze rituelen zoals reuk- en geuroffers gebruikt. Ons woord parfum is daarvan afgeleid: 'per fumum' betekent 'door de rook'

Tegenwoordig is de samenleving sterk 'ontgeurd'. Je hoort jezelf en je medemensen niet meer te ruiken. We hebben geurvreters, luchtverfrissers en afzuigkappen om ongewenste geuren tegen te gaan. Zelfs de meeste rozen, vroeger het symbool van geurige bloemen, hebben hun geur bij het 'veredelen' verloren. In plaats daarvan ruik je nu nieuwe, vaak subtiele geuren, waarmee de samenleving ons voorzichtig probeert in te pakken. Een nieuwe auto met kunststof bekleding ruikt naar leer uit een spuitbus. Alles is te parfumeren, van kunstbloemen tot vlakgommetjes. Er zijn geurende vlakgommetjes te koop, die zo lekker naar banaan of aardbeien ruiken dat kinderen ze soms opeten. In tijdschriften komt de geuradvertentie steeds meer in zwang. Krabbel aan de bladzijde en je ruikt de whisky die geadverteerd staat. Omdat mensen met allergieën hiertegen protesteren, beperken sommige tijdschriften inmiddels het aantal bladzijden met dit soort advertenties. Soms worden geuren gebruikt om onze stemmingen en emoties te beïnvloeden. De geur van versgebakken brood stimuleert bijvoorbeeld het kopen. Vandaar dat in veel supermarkten inmiddels een oven op de broodafdeling aanwezig is. In de Parijse Metro wordt dennengeur verspreid om te passagiers te kalmeren. En in sommige Japanse kantoren blaast de airconditioning 's morgens een stimulerend geurtje het gebouw binnen, om de mensen actief aan het werk te krijgen. Een idee voor school?





Gevangen geuren

Al heel oud is de menselijke behoefte om de lekkere geuren uit de natuur te verzamelen. Maar hoe krijg je zoiets ongrijpbaars als de geur van een bloem in een potje?

De oudste en eenvoudigste methode is het uitpersen van de bloemen.

Misschien dat je het zelf wel eens geprobeerd hebt. Je ziet dan dat de opbrengst laag is en het resultaat vaak teleurstellend. Meestal ruikt het product nauwelijks en is het al na een paar dagen verschrompeld.

Toch werden zo geurstoffen gewonnen, en die werden vaak direct verwerkt in zalven, oliën en andere producten. In de Middeleeuwen ontdekten de Arabieren, dat alcohol de houdbaarheid van geurstoffen aanzienlijk verhoogt. Deze ontdekking maakte de weg vrij voor de bereiding van reukwaters en parfums.

Na de ontdekking van de destillatietechniek pasten de Arabieren deze techniek toe bij de winning van geurstoffen. Zo bereiden ze rozenolie en rozenwater door destillatie van rozenblaadjes. Nog steeds is (stoom)destillatie een veelgebruikte methode om natuurlijke geurstoffen te winnen. Maar veel geurstoffen kunnen niet tegen destillatie. Door de warmte ontleedt de stof, waardoor de geur verdwijnt of verandert.

Deze stoffen worden door extractie gewonnen. Vroeger werd voor bloemengeuren vaak 'enflourage' toegepast. Een bijzondere vorm van extraheren. Verse bloemen en plantendelen werden ondergeroerd in vloeibaar, gezuiverd vet, daarna werd het vet gezeefd en de procedure herhaald totdat het vel verzadigd was met de bloemengeur. Het vet met de bloemengeur, de pommade, leverde na extractie met alcohol een sterk geurextract op. Enflourage is echter erg arbeidsintensief. Daarom worden bij de extractie van geurstoffen tegenwoordig meestal organische oplosmiddelen gebruikt. Naast geurstoffen lossen hierin ook kleurstoffen en wassen op. De zachte, wasachtige substantie die ontstaat wordt concrete genoemd. Extractie van de concrete met alcohol levert weer een essence absolute. Door verdunning kunnen uit een

absolute reukwaters en parfums worden gemaakt.

Van de ongeveer 3000 bekende geurstoffen zijn er ongeveer 200 van commercieel belang. Sommige zijn heel duur. Zo kost een liter rozenextract ruim vijftienduizend euro. Daar zijn dan ook 600 kg met de hand geplukte rozenblaadjes voor nodig! In verband met de met de kosten en de beschikbaarheid grondstoffen worden bij de bereiding van parfum ook geurbasen gebruikt. Dat zijn geurcomposities die door parfumeurs zijn gemaakt en waarvan de geur overeenkomt met die van natuurlijke bloemen.

Een parfum bevat tussen de 20 en 30% geurextract, opgelost in alcohol. Dezelfde geur als het parfum is vaak ook verdund verkrijgbaar. Een eau-de-parfum, de op één na sterkste vorm, bevat tussen de 15 en 20% geurextract. En een eau-de-toilette nog maar 5 tot 10%. Alleen al door dit verschil is een parfum veel duurder dan een eau-de-toilette.

De geurstoffen uit parfum verdampen niet allemaal met dezelfde snelheid. Daarom ruikt een parfum na een half uur anders dan toen je het pas opbracht. Bij openen van het flesje en aanbrengen van het parfum, ruik je de meest vluchtige componenten. Deze geur wordt de 'top-noot' van het parfum genoemd. Pas tien tot twintig minuten na opbrengen van het parfum zijn ook wat minder vluchtige componenten verdampd en heeft de geur zich 'ontwikkeld'. Dan ruik je het 'hart', de 'body' van het parfum, een geur die uren kan aanhouden en pas langzaam minder wordt. Uiteindelijk blijft de 'nageur' of 'fond' nog lange tijd waarneembaar. Omdat de geuren alleen in dampvorm waarneembaar zijn, en het verdampen van geurstoffen van verschillende factoren afhangt, ruikt hetzelfde parfum in het flesje anders dan wanneer het opgebracht is op een papiertje, een zakdoekje of op de huid. De geur verschilt zelfs op verschillende delen van de huid en op de huid van verschillende personen. De zuurgraad van de huid en het aanwezige talg (huidvet) en zweet beïnvloeden de mate waarin geurstoffen uit het parfum



verdampen of worden vastgehouden en daarmee de waarneembare geur. Op plaatsen waar minder vet onder de huid zit (in de oksels, knieholtes, ellebogen, op de polsen, achter het oor), is de huid warmer en daardoor is het parfum daar beter te ruiken.

Om de geur lang te laten aanhouden bevatte een parfum vroeger vaak geurstoffen van dierlijke oorsprong. In hoge concentratie stinken deze stoffen, maar een kleine dosis maakt een parfum vaak aantrekkelijk. Beroemde voorbeelden zijn amber en muskus. Amber is een gezwel in de maag van de potvis, dat wordt uitgescheiden op zee en soms door vissers gevonden werd. Muskus is de geurstof waarmee het in de Himalaya levende muskushert zijn territorium afbakende. Tegenwoordig worden amber en muskus nauwelijks meer gebruikt. Niet alleen omdat ze door achteruitgang van de oorspronkelijke leveranciers onbetaalbaar zijn geworden, maar ook omdat de scheikunde voor goede vervangers heeft gezorgd. Door de ontdekking van muscon bijvoorbeeld hoeven voor een parfum als 'Musk' geen muskusherten meer gedood te worden.

Als erwtensoep naar chocolade ruikt

Ons reukcentrum werkt nauw samen met andere zintuigen. Heel direct is de samenwerking met het smaakzintuig, maar ook het gezichtsvermogen speelt een belangrijke rol. Als het even kan moet je ook zien wat je eet... De geur van een stukje chocolade wordt direct herkend, maar erwtensoep die naar chocolade ruikt, brengt het geurcentrum tot wanhoop: je ruikt een vreemd luchtje aan de soep, maar zonder hulp van je ogen kan het geurcentrum je niet vertellen of je vanille, schoensmeer of chocolade ruikt.

Proeven en ruiken

Mond en neus vormen samen een prachtig detectiesysteem. Het is een buitengewoon intelligent stukje analytische scheikunde waar een goed chemicus vaak, maar wel voorzichtig, gebruik van maakt. Als je een hap eten neemt, verrichten

allereerst vier detectoren (voor zout, zuur, zoet en bitter) in de mond een eerste test over de eetbaarheid. Dat er niet méér stoffen bepaald worden is te begrijpen. Voedsel bevat immers miljoenen verschillende stoffen, en het is ondoenlijk om van al deze stoffen direct iets zinvol te zeggen.

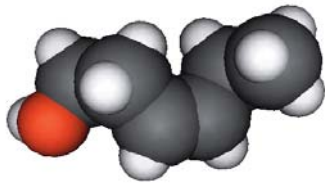
Neem vanille-ijs. Je proeft dat het zoet is, en je denkt dat het naar vanille smaakt. Dat is mis, je proeft vanille niet, je ruikt het.

Vanille is een vluchtige stof. Net als alle andere vluchtige stoffen komen de moleculen vanille via een doorgang achter in de mond in de neusholte. Daar zit het geurcentrum, dat een essentiële rol speelt bij het 'proeven' van voedsel. Het geurcentrum komt niet direct in contact met het voedsel. Daardoor hebben de geurdetectoren daar geen last van de enorme aantallen storende stoffen in het voedsel. Niet-vluchtige stoffen zoals ionogene stoffen (zouten), sterk polaire stoffen (zoals suikers) en macromoleculen (zetmeel, eiwitten, cellulose) komen niet in het geurcentrum en kunnen de bepalingen dus ook niet in de war sturen. Maar het geurcentrum zelf selecteert ook weer een groep moleculen. De zenuwuiteinden die de vluchtige moleculen moeten detecteren zitten in een vochtlaagje. Onoplosbare, apolaire stoffen worden daardoor niet of nauwelijks gemeten. Vandaar dat methaan (aardgas) en andere alkanen haast geen geur hebben.

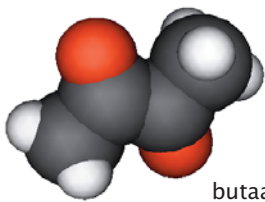
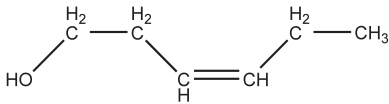
Geurmeesters (m/v)

Mensen die goed kunnen ruiken, hebben vooral in Nederland kans op een zonnige toekomst. Nederland levert namelijk een aanzienlijk deel van alle geur- en aromastoffen die wereldwijd gebruikt worden. De bedrijven die dit samen verzorgen hebben reukmeesters in dienst, mensen met een absoluut reukgevoel. Zij kunnen vele honderden verschillende geurstoffen blindelings herkennen. Zoals je op school scheikundeformules en Engelse woordjes leert, leren zij binnen een jaar zo'n duizend geuren uit het hoofd. En doen daar examen in.

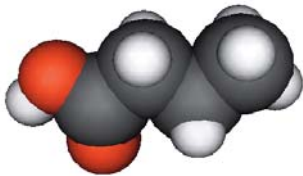
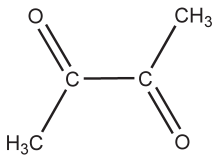




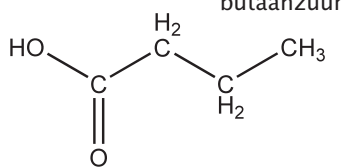
3-hexeen-1-ol



butaandion



butaanzuur



De geurtaal

Allereerst moeten ze een geurtaal aanleren. Onze taal heeft (net als de meeste andere talen) nauwelijks een mogelijkheid om geuren aan te geven. We komen niet verder dan een omschrijving: het ruikt naar sinaasappels, kaas, vis of iets dergelijks. Probeer iemand die niet weet wat kaas is, maar eens uit te leggen hoe kaas ruikt: dat gaat niet. De geurtaal bestaat uit woorden als: fris, muntig, citrus, fruitig, kruidig, dennenachtig, rokerig, gronderig, metalig, bloemig, groen, zoet, nootachtig, houtachtig, enzovoort. Deze taal is veel beter vastgelegd dan de taal waar wijnkenners zich van bedienen, de uitdrukkingen vol, soepel en rond zijn nogal rekbaar, en zeggen soms meer van de wijnproever dan van de wijn. De geurtaal is nauwkeurig en internationaal vastgelegd. Bij elke geur hoort een bepaalde zuivere stof of een standaardmengsel. De geur 'groen' ruikt overal ter wereld gelijk, namelijk naar 3-hexeen-1-ol.

Groen als gras

De 'groene' geur van 3-hexeen-1-ol doet aan die van pasgemaaid gras denken. Het is ook de geur van gesneden snijbonen. De geur komt pas vrij als plantencellen worden stukgemaakt, want gewoon gras ruikt vrijwel niet. Van gras zelf is geen mooie 'groene' standaard te maken want de geur van pasgemaaid gras is niet altijd hetzelfde. Vandaar dat als standaard voor de geur 'groen' een zuivere stof is gekozen: 3-hexeen-1-ol.

Een zoete geur

Op het lijstje geuren valt ons de aanduiding 'zoet' op. Een

Benzine ruikt in Frankrijk naar vanille PARIJS (AP)

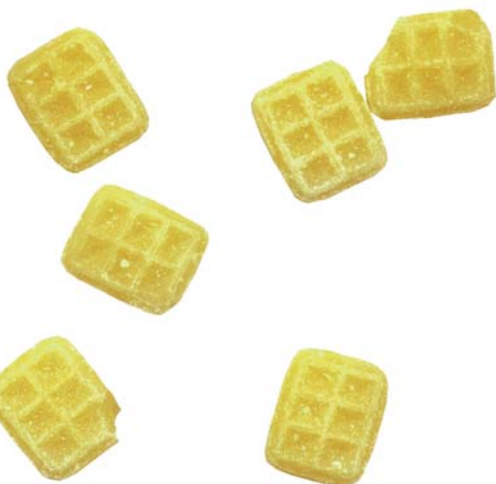
Citroen en vanille zijn niet het parfum waarmee vrouwen doorgaans rondlopen. Maar als toegevoegde geur aan benzine en dieselolie ruikt de omgeving er ook lekkerder door.

De nieuwste geuren uit Parijs werden gisteren voorgesteld door oliemaatschappij Total, nadat uit een enquête was gebleken dat 41 procent van de Franse mannen en 74 procent van de vrouwen vindt dat benzine stinkt.

merkwaardige geur, want de stof die wij als kenmerk van een zoete stof nemen, suiker, heeft helemaal geen geur. Probeer maar eens om een schep suiker te ruiken. Toch is er een geur die geurmeesters zoet noemen, namelijk vanilline. Het lijkt een beetje op vanille, maar is niet hetzelfde. In vanille, van echte vanillestokjes, zitten honderden verschillende stoffen: inmiddels zijn er 350 geteld. Vele daarvan dragen bij aan de vanillegeur, maar de stof vanilline is het belangrijkste. Vanillestokjes bevatten ongeveer 2% van deze zuivere stof vanilline. Voor een ongevoelend ijsjeseter is er weinig verschil tussen een vanille-ijsje met de zuivere stof vanilline of het natuurlijke vanillemengsel. En dat komt goed uit, want er is véél meer vraag naar vanille-geur en smaak dan er vanille is. Vooral als de Fransen bij hun plan blijven om alle benzine een vanillegeur te geven, zoals je ook in het krantenartikel links kunt lezen. Dus wordt er op grote schaal vanilline gemaakt. Deze kunstmatige vanilline wordt een natuuridentieke stof genoemd, omdat die gelijk is aan een stof die in de natuur voorkomt. Uit hout is tegenwoordig goedkoop en in grote hoeveelheden zeer zuivere vanilline te maken: een stof die het natuurlijke vanille heeft verdrongen als standaard voor 'een zoete geur'.

Boterig

Ook boterig is een geur uit het palet dat een geurmeester ter beschikking staat. En weer is er niet een echt pakje boter voor nodig: de stof butaandion is voldoende. Dit heeft volgens afspraak de botergeur. Al heel lang is bekend dat dit een van de bestanddelen van de typische botergeur is, zodat het veel gebruikt werd om margarine naar boter te laten ruiken. Boter is niet zelf de standaard omdat de geur van echte boter vrij snel verandert. Boter wordt dan ranzig doordat de aanwezige vetten gaan hydrolyseren. De meest karakteristieke geur die daarbij ontstaat is boterzuur (butaanzuur), een doordringende zweterige stank. Deze stof komt niet alleen voor in ranzige boter, het is ook de stof die zweetvoeten hun bekende geur geeft. Boterzuur is een mooi voorbeeld van een stof waarbij de geur



afhankelijk is van de dosis. In kleine hoeveelheden is het namelijk een aantrekkelijke geur die in veel parfums voorkomt.

Dit gedrag vertonen veel meer geurstoffen: in lage concentraties ruiken ze lekker, maar bij hoge concentraties afstotend. Dat komt vaak goed van pas, want als er erg veel van een geurstof in de neus komt, is er meestal iets aan de hand zoals een rottingsproces. Een geurstof wordt dan een alarmstof.

Een S voor stank

Er zijn veel meer stoffen die stinken. Een scheikundige zegt overigens niet zo gemakkelijk dat een stof stinkt, die merkt droog op dat de stof 'kwalijk riekt'. Jarenlang was dit de geijkte chemische uitdrukking voor stank.

Vaak gaat het bij stank om stoffen met één of meer zwavelatomen in het molecuul. De bekendste op school is waterstofsulfide, de stank van rotte eieren. Dimethylsulfide is een andere zwavelhoudende geurstof. Geurmeesters gebruiken deze stof als standaard en noemen de geur netjes 'zwavelig'. De meeste anderen zullen bij het ruiken van deze stof gewoon denken "wat een stank". Cavia's hebben daarentegen weer heel andere gedachten bij het ruiken van dimethylsulfide, het is namelijk het seksferomoon van cavia's. Als de koolstofketen van een zwavelhoudend molecuul nog wat langer wordt, is het ook voor een geurmeester moeilijk om netjes over een 'geur' te blijven spreken: de stof 3-methyl-1-butaanthiol is verantwoordelijk voor de doordringende stank van het stinkdier.

Ook de bekende kattenpislucht en de urinestank van vossen, wezels en veel andere dieren is te danken aan moleculen met een zwavelatoom erin. Soms is het toepassen van een sterke stank erg praktisch. Bij aardgas bijvoorbeeld. Aardgas zelf is een reukloos gas, maar als we het in de keuken laten stromen, ruiken we een duidelijke stank, weer een zwavelverbinding: tetrahydrothiofeen. De stof is er apart als waarschuwingstof aan toegevoegd. Toen ooit in Eindhoven deze geurstof door een ongelukje ontsnapte koste het veel moeite om de bewoners in de

omgeving ervan te overtuigen dat er niet ergens een enorm gaslek was. Het is moeilijk te geloven dat gaslucht (tetrahydrothiofeen) en gas niet hetzelfde zijn.

Chemische geurtjes

Wie op school de lessen scheikunde heeft gevolgd, is twee maal tegengekomen dat sommige stoffen iets met geur te maken hebben. De eerste keer is wanneer benzeenverbindingen ter sprake komen. Die heten ook wel aromaten, en dat komt oorspronkelijk van de geur van veel benzeenverbindingen. Benzeen zelf ruikt niet erg sterk. Pas als de benzeenring versierd wordt met allerlei zijgroepen zoals hydroxyl- en carboxylgroepen, begint het lekker te ruiken. Vanilline is een voorbeeld.

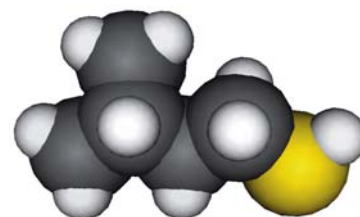
De andere groep stoffen die bekend staat om de geur, zijn de esters. Eén heeft het tot standaard geurstof gebracht: hexylbutanoaat, in de geurtaal kenmerkend voor een fruitige geur. Maar ook de geur van zuurtjes en heel goedkope limonade is te danken aan een ester: in veel gevallen pentylethanoaat (op het etiket heet het meestal amylacetaat). Het heeft een algemeen fruitige geur en smaak, pas de kleurstof geeft aan of je aardbei, banaan of perzik moet proeven.

Behalve deze twee groepen geurstoffen zijn er nog veel meer verbindingen die duidelijke te ruiken zijn. Eigenlijk hebben haast alle koolstofverbindingen met zuurstofatomen in het molecuul een eigen geur.

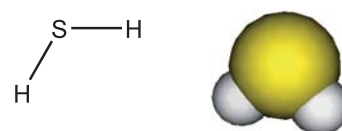
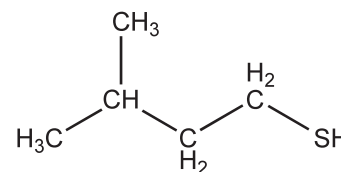
Metten aan geuren

Stel je hebt een onbekende geur, van een plant of uit een flesje reukwater, en je wilt weten welke stoffen die geur veroorzaken. Hoe doe je dat? Of je wilt het verschil aantonen tussen natuurlijke vanille en zuivere vanilline. Hoe gaat dat?

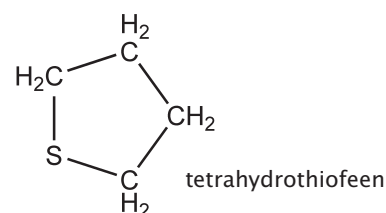
We hebben die vraag voorgelegd aan Ben van Baar, van de Faculteit Scheikunde van de Vrije Universiteit. In zijn werkkamer op de afdeling massaspectrometrie staan grote apparaten met computerschermen. Op de wand hangen grote tekeningen waarop uitgelegd wordt hoe de massaspectrometrie werkt. Hij legt met plezier uit waar hij mee bezig is.



3-methyl-1-butaanthiol



waterstofsulfide



tetrahydrothiofeen





Als we over vanille beginnen, geeft Ben van Baar toe dat hij nog nooit aan vanillestokjes heeft gemeten. “Maar dat is gemakkelijk te proberen. Geurstoffen zoals vanille zijn vluchtige stoffen, en die zijn met deze apparatuur uitstekend te meten.”

Hij laat zien hoe eenvoudig dat is: een paar vanillestokjes in stukjes breken, in een klein reageerbuisje met wat oplosmiddel schudden, en de vloeistof opzuigen in een injectiespuit. Van dichtbij is te zien dat het geen gewone spuit is: hiermee is één vijftigste druppel (een microliter) vloeistof toe te dienen. Deze microliter wordt ingespoten in een gaschromatograaf.

Het hart van een gaschromatograaf bestaat uit een lange, dunne buis, tot een spiraal opgerold en gevuld met een poeder. Er gaat een voortdurende gasstroom door de buis, meestal stikstof of helium (het dragergas), en de hele buis wordt lekker warm gemaakt. Het vanillemengsel wordt ingespoten in het begin van die lange buis. De stoffen verdampen aan het begin direct en gaan dan met de gasstroom mee. Onderweg blijven ze regelmatig plakken aan het poeder, en komen even regelmatig ook weer los. Eigenlijk is plakken aan het poeder niet helemaal het goede woord, het blijkt dat de geurstoffen oplossen in de vloeistof die als een heel dun laagje om de poederkorreltjes in de buis zit. Na het oplossen verdampen ze ook weer gemakkelijk uit dat vloeistof-laagje. Vandaar dat deze methode in het engels ‘GLC’ heet: Gas Liquid Chromatography.

Vluchtige stoffen gaan wat sneller door de buis dan minder vluchtige stoffen, en aan het einde van de buis komen alle verschillende stoffen er netjes na elkaar uit, gesorteerd op volgorde van hun vluchtigheid en oplosbaarheid in het vloeistof-laagje. Aan het eind van de buis zit een detector, want je wilt wel weten wanneer er een component van het geurmengsel uit komt. De mooiste detector is natuurlijk je eigen neus, want dan kun je direct zeggen waar elke component naar ruikt. Zo van “nu komt er een fris bloemig geurtje langs, dit is typisch vanille en dat is meer een groene geurstof.” In

uitzonderingsgevallen wordt het nog wel eens zo gedaan, maar normaal zit er een detector aan het einde van de buis die reageert op alle andere stoffen dan de dragergassen stikstof of helium. Van de detector gaat een elektrisch signaaltje naar een schrijver die een grafiek tekent zoals hieronder. Zo’n grafiek heet een gaschromatogram.

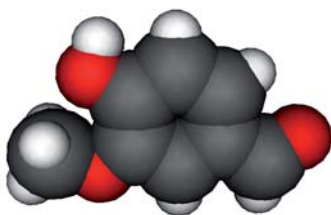
Op de x-as staat de tijd sinds het inspuiten van het mengsel, en op de y-as de hoeveelheid van elke gemeten stof.

Maar behalve de tijd die de stof nodig had om door de buis te komen, en de hoeveelheid van die stof, weet je nog niets van de stof. Niet eens of de stof wel een geurstof is.

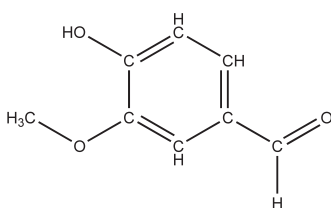
Daarom wordt een gaschromatograaf vaak gecombineerd met een massaspectrometer, een geniale detector die van veel stoffen die uit de gaschromatograaf komen, direct de formule kan bepalen, en daarmee de stof kan ‘herkennen’.

In deze massaspectrometer wordt een stof die uit de gaschromatograaf komt, met elektronen beschoten. Veel moleculen overleven die beschieting niet en vallen in brokstukken uit elkaar. De kleinste beschadiging die een molecuul kan oplopen is dat er een elektron uit het molecuul wordt gewipt. Het is dan een positief geladen ion geworden. En ook veel kleinere brokstukken zijn positief geladen na het bombardement. Ongeladen deeltjes en negatieve ionen worden weggevangen. De positieve ionen worden enorm versneld, tot zo’n 100 kilometer per seconde. Bij het versnellen vormen de positieve ionen een bundel. De binnenkant van de massaspectrometer wordt vacuüm gehouden met sterke pompen, en daardoor kan de bundel een afstand van enkele meters afleggen zonder te botsen met lucht moleculen. De bundel positieve ionen wordt tussen de polen van een heel sterke magneet geleid, en daar vindt een vreemd verschijnsel plaats. Wie goed heeft opgelet bij natuurkunde, weet dat bewegende lading, zoals een stroom ionen, niet aangetrokken wordt door de noord- of zuidpool van de magneet, maar naar de zijkant wordt afgebogen.

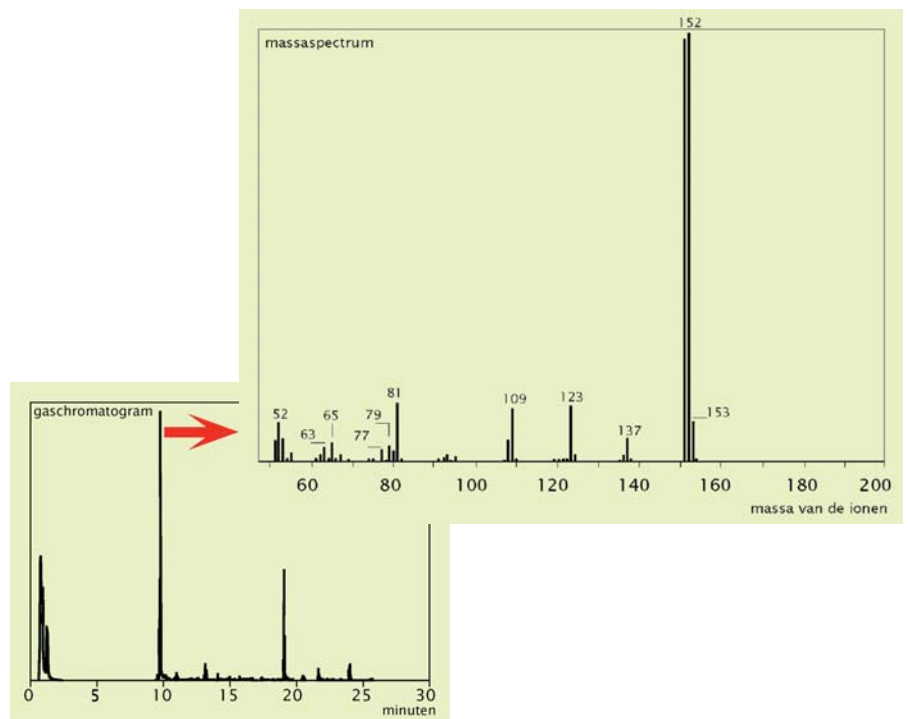
Lichte ionen worden daarbij veel sterker afgebogen dan zware ionen, en zo krijg je een overzicht,



vanilline



een spectrum, van de massa's van de brokstukken. Elke seconde maakt de massaspectrometer een momentopname van de massa's van de langskomende ionen, een zogenaamd massaspectrum. Al deze momentopnames worden in een computergeheugen opgeslagen, want het is veel te veel informatie om op papier uit te printen. In het geval van de vanillestokjes duurde het maken van het gaschromatogram 30 minuten, en heeft de massaspectrometer dus 1800 massaspectra opgenomen. Ben van Baar: "Het massaspectrum van een stof is bijna als een vingerafdruk van de stof. De computer kan helpen met het lezen van het massaspectrum. Van veel stoffen zijn de massaspectra opgeslagen in de computer zodat een snelle vergelijking kan plaatsvinden." Als voorbeeld vraagt Ben het massaspectrum op van de stof die na 9 minuten 43 seconden uit de gaschromatograaf kwam: de hoogste piek van het gaschromatogram. De computer herkent dit massaspectrum direct als dat van vanilline. Maar er zijn nog meer stoffen door het oplosmiddel uit de vanillestokjes geëxtraheerd. Ben stelt even scherp op een aantal van deze piekjes en vraagt het bijbehorende massaspectrum op om te zien of er nog interessante stoffen bij zijn. Het stofje op 14 minuten en 2 seconden blijkt linolzuur te zijn, het meervoudig onverzadigde vetzuur bekend van de hart en bloedvatenreclame. Het zit in veel mengsels van plantaardige oorsprong. Als hij de piek van 13 minuten 10 seconden opvraagt, roept hij verrast uit: "Kijk, daar heb je het plastic zakje waar de vanillestokjes in hebben gezeten." Het blijkt diethylfalaat te zijn (de di-ester van ethanol en 1,2-benzeendicarbonzuur), een stof die veel als weekmaker in plastic wordt gebruikt. Het is een bewijs hoe gevoelig deze combinatie van gaschromatograaf en massaspectrometer is: zelfs een hoeveelheid stof die met het oog al lang niet meer te zien is, kan de gaschromatograaf in een mengsel opsporen en de massaspectrometer herkennen.



Een belangrijk onderdeel van een massaspectrometer is een grote magneet, waarvan de sterkte heel snel te variëren is. Hierin worden de ionen afgebogen. Omdat de ionen door een dunne, gebogen buis gaan, worden alleen positieve ionen met één bepaalde massa doorgelaten. Alle andere ionen botsen links of rechts tegen de wand en worden door de pompen afgevoerd. De ionen die heelhuids door de buis komen, slaan in op een metalen plaatje. Door de botsing worden elektronen uit dat plaatje losgemaakt en deze elektronen worden als een kleine stroom gemeten. De grootte van die stroom wordt in het computergeheugen opgeslagen. Hoe meer ionen van een bepaalde massa door de magneet zijn gekomen, hoe groter de stroom. Als de sterkte van het magneetveld wordt opgevoerd worden de ionen meer afgebogen. Nu komen de zwaardere ionen door de buis. Zo kan men na elkaar alle brokstukken op het inslagplaatje laten vallen. Van elk brokstuk is zo de massa bekend en wordt nu gemeten hoeveel het voorkomt. Deze gegevens samen vormen het massaspectrum.

Op de x-as staat de massa van de doorgelaten ionen, op de y-as hoeveel deze ionen voorkomen. Als het massaspectrum niet in de computerbibliotheek zit, kan iemand met ervaring toch nog vaak afleiden van welke stof het massaspectrum is.

Als het molecuul van de onderzochte stof een beetje stevig in elkaar zit, dan geeft de hoogste massa van de gevonden deeltjes direct de molecuulmassa aan. Lagere massa's geven deeltjes aan waarbij een stuk van het molecuul is afgeschoten. Een ervaren analist herkent deze brokstukken als benzeenringen, methylgroepen, hydroxygroepen e.d.. Hij probeert met behulp van deze brokstukken uit te zoeken hoe het oorspronkelijke molecuul in elkaar zat. Uit het massaspectrum van vanille is te zien dat de zwaarste ionen 152 u (de molmassa van vanilline) wegen. Verder is de hoge piek bij 151 karakteristiek. Deze piek geeft aan dat het molecuul een aldehyde-groep bevat. Doordat deze groep gemakkelijk een H verliest, daalt de massa één u.

Uit de hoogte van de kleine piek bij 153 is nog af te leiden hoeveel C-atomen in het molecuul zitten. Omdat koolstof van nature 1,11% van het isotoop C-13 bevat (in plaats van koolstof met massagetal 12), zal een molecuul vanille (met 8 koolstofatomen), voor 8,9% uit moleculen met molmassa 153 bestaan.