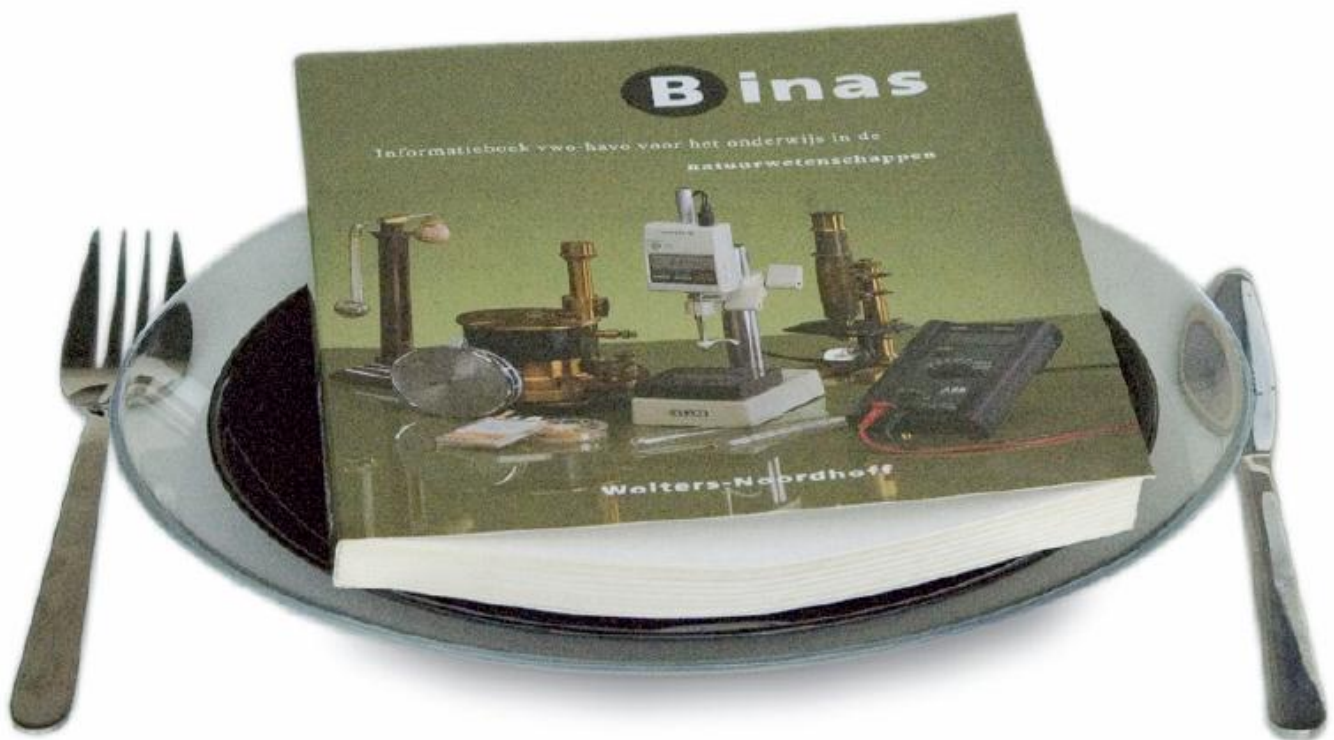


# MOLECULAIRE GASTRONOMIE



wetenschap in de keuken



NLT module voor het VWO



WAGENINGEN UNIVERSITY  
WAGENINGEN **UR**



De module "Moleculaire gastronomie – Wetenschap in de keuken" is bestemd voor de lessen Natuur, Leven en Technologie (NLT). De module is op 17 juni 2010 gecertificeerd door de Stuurgroep NLT voor gebruik op het vwo in domein H (Materialen, proces- en productietechnologie). Het certificeringsnummer van de module is X218-059-VH.

De originele gecertificeerde module is in pdf-formaat downloadbaar via <http://www.betavak-nlt.nl>. Op deze website staat uitgelegd welke aanpassingen docenten aan de module mogen maken, voor gebruik in de les, zonder daardoor de certificering teniet te doen.

Deze module is ontwikkeld door

#### **Auteurs**

Elma Schenkelaars – docente Scheikunde/NLT  
Ids Klompmaker- Wageningen University  
Ties van de Laar- Wageningen University

#### **Wetenschappelijk expert**

Erik van der Linden – Wageningen University

#### **Met medewerking van**

Jeroen Sijbers – NLT steunpunt  
Eral Osmanoglou- Wageningen University  
Inge van den Heijkant- Wageningen University  
Brenda Terpstra- docente Scheikunde/NLT  
Maarten van Dongen- docent Scheikunde/NLT  
Cazimir ten Brink - Wageningen University

*Aangepaste versies van deze module mogen alleen verspreid worden, indien in dit colofon vermeld wordt dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzigingen.*

Materialen die leerlingen nodig hebben bij deze module zijn beschikbaar via het vaklokaal NLT: <http://www.vaklokaal-nlt.nl/>

© 2010. Versie 1.0

Het auteursrecht op de module berust bij Wageningen University. Wageningen University is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde creative commons licentie. De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van een module, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met Wageningen University. De module is met zorg samengesteld en getest. Wageningen University, Landelijk Ontwikkelpunt NLT, Stuurgroep NLT, SLO en auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module. Ook aanvaarden Wageningen University, Landelijk Ontwikkelpunt NLT, Stuurgroep NLT, SLO en auteurs geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module.



Voor deze module geldt een

Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0  
Nederland

Licentie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>

---

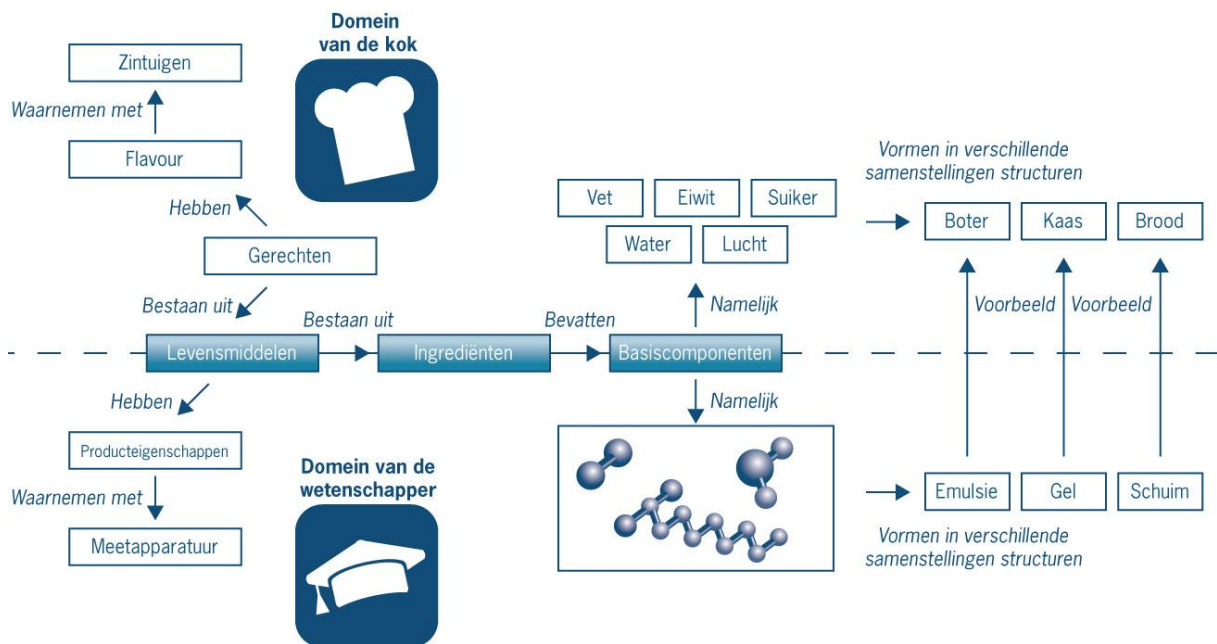
## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	De kok en de wetenschapper	4
1.2	Moleculaire gastronomie	7
1.3	Opbouw van de module	9
<b>2</b>	<b>De basis</b>	<b>11</b>
2.1	Can we do you a flavour?	16
2.1.1	Smaak	16
2.1.2	Geur	22
2.1.3	Textuur	26
2.1.4	Het zien	27
2.2	Het meten van flavour	28
2.3	Van basiscomponenten naar structuren	35
2.4	Van ingrediënten naar basiscomponenten	40
2.4.1	Water	41
2.4.2	Koolhydraten	42
2.4.3	Eiwitten	46
2.4.4	Vetten	50
<b>3</b>	<b>Emulsies</b>	<b>52</b>
3.1	Wat is een emulsie?	54
3.2	Water en waterstofbruggen	56
3.3	Vetten en hydrofobe interacties	56
3.4	Emulgatoren (oppervlakteactieve stoffen)	58
3.5	Emulsies in de keuken	66
3.5.1	Room en boter	66
3.5.2	Vinaigrette	69
3.6	Stabiliteit van emulsies	70
3.7	Emulsies in de molecuulair gastronomische keuken	73
3.7.1	Moleculaire boter maken	73
3.7.2	Mayonaise... Maar dan anders!	75
3.7.3	Aioli	75
<b>4</b>	<b>Schuimen</b>	<b>76</b>
4.1	De rol van eiwitten in een schuim	78
4.2	De rol van suikers in een schuim	84
4.3	De stabiliteit van schuimen	89
4.3.1	Drainage	89
4.3.2	Disproportionering	91
4.3.3	Coalescentie	94
4.4	Voorbeelden van schuimen in de molecuulair gastronomische keuken	95
4.4.1	Hoe eiwitten ervoor zorgen dat het mooiste champagneschuim gevormd wordt	95
4.4.2	De sabayon	95
4.4.3	Hetzelfde schuim met andere eiwitten	96
4.4.4	Espuma's maken met de kidde	97
<b>5</b>	<b>Tot slot</b>	<b>98</b>
<b>6</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>URL-Lijst</b>	<b>104</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 De kok en de wetenschapper

De kok en de wetenschapper gaan met elkaar in gesprek over eten. Al snel blijkt dat ze een totaal verschillende taal spreken. De woorden *gerechten*, *levensmiddelen*, *meetapparatuur*, *structuren*, *recepten*, *smaak*, *koken*, *moleculen* en *ingrediënten* vliegen over de tafel. Ze zijn allebei gepassioneerd, maar als ze er niet in slagen elkaar te begrijpen zullen ze nooit kunnen samenwerken. Hoe kun je deze wirwar van woorden met elkaar verbinden zodat ze elkaar zullen begrijpen? Het volgende schema biedt hulp.



Figuur 1 Hoe kijken de kok en de wetenschapper naar voedsel.

Figuur 1 is de 'kapstok' voor deze module. Het laat zien dat de levensmiddelenwetenschap en de kok een verschillende kijk hebben op hetzelfde voedsel. Dit schema wordt gaandeweg de module uitgewerkt.

Vraag een Italiaan om snel een gerecht te noemen en hij noemt waarschijnlijk een pasta. Bijvoorbeeld het gerecht pasta met zongedroogde tomaten en een saus van pesto en crème fraîche. Dit gerecht bevat de levensmiddelen pasta, pesto, crème fraîche, zongedroogde tomaten, prei, champignons en ui. Ook een broodje kaas is een gerecht. Het bestaat uit een broodje belegd met boter en daarop kaas. Boter, brood en kaas worden levensmiddelen genoemd. De ingrediënten van een gerecht zijn levensmiddelen. Ook levensmiddelen zijn op hun beurt weer opgebouwd uit ingrediënten.

### Opgave 1

1. Neem het gerecht in gedachten waar je het meest van houdt, of een ander gerecht dat je onlangs hebt gegeten en wat je lekker vond.
2. Probeer de smaak hiervan te omschrijven.
3. Probeer nu eens te beschrijven *waarom* je dit zo lekker vindt.

Waarschijnlijk heb je bij opgave 1 gemerkt dat het heel lastig is om de smaak van een gerecht goed te beschrijven. Dat komt mede doordat dat het Nederlandse woord '**smaak**' twee betekenissen heeft. Enerzijds is er het begrip '**taste**' dat verwijst naar de vijf basismaken zoet, zuur, zout, bitter en umami (de betekenis van umami komt later terug). Deze betekenis van 'smaak' is direct gekoppeld aan één zintuig: het smaakzintuig.

Het woord 'smaak' wordt echter ook in een bredere betekenis gebruikt, zoals in de zin: "Dat is een smakelijk hapje". Hier is meer het Engelse begrip '**flavour**' van toepassing dat zowel betrekking heeft op het begrip smaak in de betekenis van *taste*, als op de geur en de textuur van een gerecht. Ook het uiterlijk van het gerecht is van belang. Deze module houdt zich bezig met 'smaak' in de tweede, ruimere betekenis.

### Opgave 2

Met welke zintuigen kun je de *flavour* van een gerecht vaststellen?  
Geef bij elk zintuig een voorbeeld.

Wat is het geheim van een goede kok? De kok componeert een gerecht uit levensmiddelen, de ingrediënten. Daarbij gebruikt hij de volgende **basisbewerkingen**:

- **Snijden**
- **Mengen**
- **Verhitten (of afkoelen)**
- **Scheiden**
- **Concentreren**

Een goede kok weet precies hoe hij ingrediënten en bewerkingen moet doseren. Teveel zout bederft de smaak van de aardappelen. Het pureren van groene paprika geeft een grijze smurrie met de smaak van paprika: de '*taste*' is misschien wel hetzelfde, de '*flavour*' zeker niet.

### Ingrediënten

De ingrediënten van een broodje kaas zijn brood, boter en kaas. Brood is zelf ook weer samengesteld uit vijf ingrediënten: meel, water, boter, zout en lucht. De bakker (broodkok) kent de dosering van de ingrediënten en de bewerkingen.

En hoe zit het met de boter? Bestaat die ook weer uit ingrediënten? Het antwoord is ja. Boter wordt 'geslagen' uit de ingrediënten (melk)vet, water, lucht en zout.

Als je afdaalt tot op het moleculaire niveau kom je bij de **vijf basiscomponenten van alle levensmiddelen**:

- **Vetten**
- **Eiwitten**
- **Koolhydraten**
- **Water**
- **Lucht**

Daarnaast zijn er nog diverse **smaakmakers**: stoffen die in kleine hoeveelheden een grote rol spelen: zouten, zuren, alcohol, etc.

Net als de kok vraagt de wetenschapper zich af welke combinaties van welke ingrediënten onder welke bewerkingen leiden tot een bepaald resultaat: het product. Beiden, kok en wetenschapper, zijn puzzelaars. Alleen maken zij gebruik van een andere woordenschat.

De wetenschapper noemt brood een schuim, boter een emulsie en kaas een gel: zie figuur 1. In deze module raak je vertrouwd met de termen van de wetenschapper. Je zult ontdekken dat boter, kaas en brood moleculaire puzzels zijn die overeenkomsten met elkaar hebben.

Na het bestuderen van deze module ben je nog geen goede kok. Je leert wel begrijpen waarom kennis over de ingrediënten en de bewerkingen van levensmiddelen iemand tot een goede kok maken.

Succes met puzzelen.



## 1.2 Moleculaire gastronomie

*“Moleculaire gastronomie is een tak van wetenschap die zich bezighoudt met het bestuderen van natuurkundige en chemische transformaties van eetbare materialen tijdens het koken, en de sensorische fenomenen die geassocieerd worden met hun consumptie”.*

De keuken en de wetenschap hebben elkaar dus gevonden in de moleculaire gastronomie. In deze module behandelt niet de biologische functie van levensmiddelen, maar naar de achtergronden bij de productie van een gerecht of levensmiddel. Hierbij komen scheikunde en natuurkunde aan de orde.

Hervé This (zie het kader hieronder) heeft de definitie van moleculaire gastronomie verder verfijnd. Daarbij maakt hij onderscheid tussen *gastronomie moléculaire*, de studie van de processen tijdens het koken, en *cuisine moléculaire*, de toepassing ervan in recepten en voedselbereiding. Het eerste is wetenschap, het tweede technologie. Moleculaire gastronomie bevindt zich dus op het grensvlak van wetenschap en toepassing.

Het **wetenschappelijke doel** is:

- het onderzoeken van recepten, kookgebruiken en kookwijsheden;
- het verklaren van de chemische en fysische processen tijdens het koken.

Het **toepassingsgerichte doel** is:

- de kennis van de fysische en chemische processen van het koken gebruiken om nieuwe kookinstrumenten en ingrediënten te ontwikkelen,
- met behulp van de opgedane kennis van voedsel en kookprocessen nieuwe gerechten ontwerpen en bedenken. De kok vernieuwt dus niet meer via trial-and-error maar met wetenschappelijk onderbouwde kennis.

Het laatste punt omvat **moleculair gastronomische gerechten**. Dit zijn gerechten die vernieuwd zijn op basis van de kennis van de moleculaire gastronomie. Deze gerechten vernieuwen daarmee onze kijk op eten en gastronomie.

### **Het ontstaan van moleculaire gastronomie als wetenschap**

*Brillat Savarin (1755-1826) was een Franse politicus en rechter. Hij is vooral bekend geworden als filosoof en gastronom. Een gastronom is een fijnproever, iemand die studie heeft gemaakt van alles wat te maken heeft met eten en cultuur. In 1825 kwam Savarin met zijn boek ‘La Physiologie du goût’ (de fysiologie van de smaak). Dit bijna encyclopedisch aandoend werk beschrijft alle mogelijke onderwerpen die met voedsel te maken hebben. Zo schrijft hij onder andere over de oorzaken van overgewicht, de vijf zintuigen, de geschiedenis van voedsel en het zetten van koffie. Zijn boek staat vol met avonturen die hij tijdens zijn vele reizen heeft meegemaakt. Het volgende citaat van Savarin illustreert waarom hij graag gastronomisch onderzoek deed:*

*“The discovery of a new dish does more for the happiness of mankind than the discovery of a new star.”*



*Fiauur 2 Brillat Savarin en de titelaaaina van ziin boek “La Phvsioolaie du août”*

Harold McGee heeft in 1984 het veelomvattende werk 'Over eten en koken' geschreven. Je zou kunnen zeggen dat McGee het werk van Savarin heeft voortgezet en geactualiseerd. Zijn boek geeft een compleet overzicht van honderden producten en hun natuurkundige, scheikundige en biologische achtergrond. Nicholas Kurti, natuurkundige aan de universiteit van Oxford en gedreven amateurkok, hield in 1969 een presentatie voor de BBC getiteld "The Physicist in the Kitchen". Een bekende quote die hij in die presentatie gedaan heeft is:

"It is a sad reflection that we know better the temperature inside the stars, than inside a soufflé"

Op een congres ontmoetten Hervé This en Nicholas Kurti elkaar. Hervé This was op dat moment bezig met het schrijven van zijn proefschrift "La gastronomie moléculaire et physique". Ze kwamen in gesprek en besloten samen workshops te gaan geven. In 1988 hebben ze samen de term moleculaire gastronomie gedefinieerd als "de chemie en de natuurkunde achter de bereiding van elk gerecht". Zo werd de Moleculaire Gastronomie geboren. Vanaf 1992 werden door This en Kurti presentaties gegeven aan chef-koks en wetenschappers. Op deze manier werden deze twee beroepen samengebracht.

Hervé This heeft een groot aantal boeken geschreven. Zijn bekendste werk is "Molecular Gastronomy, exploring the science of flavour". Hierin onderzoekt hij waarheden en onwaarheden op culinair gebied. Wist je bijvoorbeeld dat je met één ei meerdere kubieke meters schuim kunt maken? Ook beschrijft hij een methode waarmee je vlees veel malser kunt bereiden. Daarnaast zijn er meerdere hoofdstukken gewijd aan de leer van de smaak en doet hij een aantal suggesties voor nieuwe apparatuur in de keuken.



Figuur 3 Hervé This

Het bekendste Nederlandse kok en wetenschapper duo is the Cook & the Chemist. Dit duo bestaat uit Eke Mariën en Jan Groenewold. Eke is de cook en Jan is de chemist. Samen geven zij lezingen en hebben ze ook een aantal succesvolle boeken onder de titel Cook & Chemist geschreven.

Om je een idee te geven van wat je zoal zou kunnen onderzoeken is het volgende voorbeeld zeer geschikt. De Engelse fysicus Charles Williams hechtte zo'n grote waarde aan een goed gekookt zacht eitje dat hij besloot om uit te zoeken of hij de perfecte tijd misschien via een formule uit zou kunnen rekenen. Het resultaat van dit onderzoek is de volgende formule.

$$t = \frac{M^{\frac{2}{3}} c \rho^{\frac{1}{3}}}{\kappa \pi^2 \left(\frac{4}{3} \pi\right)^{\frac{2}{3}}} \ln \left[ 0,76 \frac{(T_{ei} - T_{water})}{(T_{dooier} - T_{water})} \right]$$

waarbij t = kooktijd, M = massa, c = specifieke warmte, ρ = dichtheid ei, κ = thermische geleidingscoëfficiënt, T<sub>ei</sub> = begintemperatuur, T<sub>water</sub> = 100°C = temperatuur kokend water, T<sub>dooier</sub> = 65°C = temperatuur waarbij de dooier begint te coaguleren, en dit alles natuurlijk bij een luchtdruk van één atmosfeer. Om een zacht eitje te verkrijgen komt de kooktijd t neer op 4 minuten voor een klein ei (M = 47 g) rechtstreeks uit de ijskast (T<sub>ei</sub> = 4°C), voor een middelgroot ei (M = 57 g) op 4,5 minuten en voor een groot ei (M = 67 g) op 5 minuten.

Zoals je ziet, de wetenschap kan op de meest onverwachte plaatsen opduiken in de keuken.

Tot slot nog een quote die de essentie van moleculaire gastronomie mooi weergeeft:

**"Molecular gastronomy is the the sience of deliciousness"**



### 1.3 Opbouw van de module

In deze module ben jij de moleculaire gastronom! Je gaat werken aan beide hoofddoelen van de moleculaire gastronomie: de studie van de processen tijdens het koken en de toepassing ervan in recepten en voedselbereiding.

Als je deze module hebt doorgewerkt, ben je in staat om de informatie uit kookboeken te vertalen naar moleculaire interacties. Je kunt een model maken van gerechten en met behulp van deze kennis zul je in staat zijn om moleculair gastronomische gerechten te verzinnen!

Tijdens het theoretisch gedeelte ga je recepten uit kookboeken proberen te vangen in modellen. Hiervoor gebruik je de kapstok van figuur 1: de basiscomponenten water, vetten, eiwitten, koolhydraten en lucht zijn de puzzelstukjes die de structuren emulsies en schuimen vormen. In de kapstok worden gels ook nog genoemd, maar hier zal in de module verder niet op worden ingaan. Met deze puzzelstukjes bouw je een model van deze structuren. Als je dit model begrijpt, kun je het toepassen op een bestaand voorbeeld van schuimen of emulsies, maar je kunt het uiteindelijk ook gebruiken voor het ontwerpen van nieuwe gerechten en recepten.

De module is opgebouwd uit drie hoofdstukken en een practicum. In het practicum ga je de kennis uit de hoofdstukken over emulsies en schuimen toepassen en zelf moleculair gastronomische gerechten maken. In de hoofdstukken komen opgaven en opdrachten voor, opgaven zijn theoretisch en opdrachten praktisch van aard. Verschillende leerdoelen zullen per hoofdstuk genoemd worden. De omkaderde en cursieve stukken tekst zijn facultatief en bieden diepgang of uitbreiding op de gegeven informatie. Verder zul je in deze module een aantal beroepsveld blokken tegenkomen. Deze blokken geven je een beeld van verschillende mensen die dagelijks met levensmiddelen en technologie te maken hebben. Het eerste blok vind je hieronder.

#### Beroepsveldblok 1

Hallo allemaal,

Mijn naam is Ties en ik ben 3<sup>e</sup> jaars student levensmiddelentechnologie aan Wageningen University. Binnen deze studie is Moleculaire gastronomie één van de onderdelen binnen mijn studie. Op dit moment wil ik graag weten wat ik na mijn studie kan gaan doen. Eén van de mooie dingen aan de studie levensmiddelentechnologie vind ik de vrije keuzes. De studie begint heel breed en gaat pas later specialiseren. Ze zeggen dat ik daardoor na mijn studie op veel verschillende plaatsen kan gaan werken. Maar waar? Om dit uit te zoeken ben ik op zoek gegaan naar verschillende mensen die dagelijks met levensmiddelen werken. Deze mensen heb ik geïnterviewd. In de module zul je mijn interviews langs zien komen. Hopelijk geven ze je een beeld van hoe het leven er na een studie uitziet, zoals ze dat ook voor mij gedaan hebben.

Groeten,

De inhoud van de hoofdstukken wordt hieronder kort weergegeven:

### **Hoofdstuk 2**

Dit hoofdstuk vormt de basis van de module. Hierin leer je hoe er vanuit de wetenschap naar voedsel gekeken wordt. Je leert hoe de gastronomische waarde van een gerecht vertaald kan worden naar interacties die zich op moleculair niveau afspelen. In dit hoofdstuk neem je stap voor stap het schema van figuur 1 door.

### **Hoofdstuk 3**

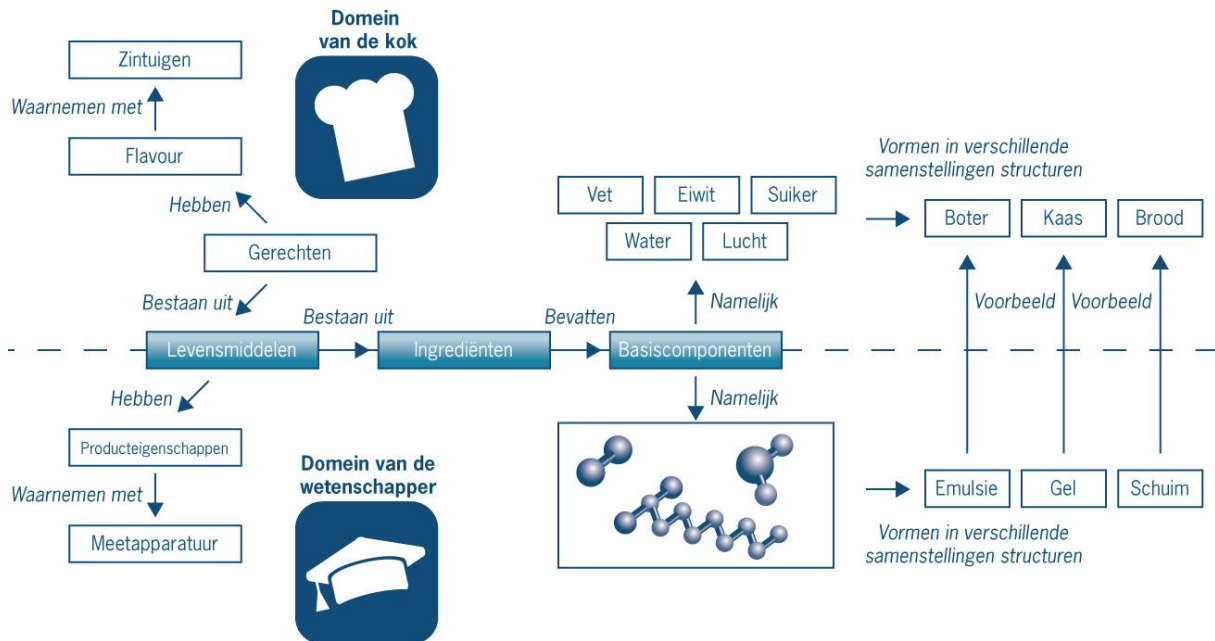
Dit hoofdstuk gaat over emulsies. Wat zijn emulsies? Welke rol spelen de basiscomponenten in een emulsie? Daarnaast zul je ook enkele nieuwe emulsies, die zijn ontwikkeld op basis van moleculaire gastronomie leren kennen en begrijpen.

### **Hoofdstuk 4**

Dit hoofdstuk gaat over schuimen. In dit hoofdstuk leer je wat een schuim is, en wat de rol is van de moleculaire interacties van eiwitten en koolhydraten bij de vorming van een schuim. Ook in dit hoofdstuk maak je kennis met moleculair gastronomische schuimen.

## 2 De basis

In hoofdstuk 1 heb je kunnen lezen wat een moleculair gastronomoos doet. Dit hoofdstuk vormt de basis van deze module. Je gaat het onderstaande schema - hetzelfde als figuur 1 - doorwerken, om bekend te worden met de begrippen die een moleculair gastronomoos zal gebruiken.



Je begint dit hoofdstuk met het begrip **flavour**. De verschillende componenten waaruit flavour is opgebouwd komen aan bod, en een aantal belangrijke begrippen over flavour worden genoemd.

De aspecten van flavour worden 'vertaald' naar **producteigenschappen**, die - in tegenstelling tot flavour - objectief gemeten kunnen worden. Je gaat kijken naar verschillende methodes om producteigenschappen te meten. Daarnaast zul je ook naar **sensorische tests** gaan kijken. Op basis van beide gegevens kan de flavour van gerechten verbeterd worden.

Nadat je de aspecten van flavour vertaald hebt naar objectieve eigenschappen, zul je naar verschillende gerechten en/of levensmiddelen gaan kijken en hoe deze in te delen zijn. Dit doe je om gerechten beter te begrijpen. Deze indeling vindt plaats op basis van **structuur**. Structuren, die vaak zichtbaar zijn met het blote oog, zijn weer opgebouwd uit moleculen. De vijf basiscomponenten zijn water, koolhydraten, eiwitten, lucht en vetten. Deze zullen uitgebreid behandeld worden. Lucht speelt ook een belangrijke rol in structuren, maar zal niet uitgebreid behandeld worden in dit hoofdstuk omdat het weinig interactie heeft met de andere basiscomponenten. In de latere hoofdstukken wordt dieper ingegaan op twee van deze structuren, namelijk emulsies en schuimen. In deze laatste twee hoofdstukken wordt de kennis die in dit hoofdstuk is opgedaan echt toegepast.

Hier volgt een opgave om je een beeld te geven van wat een kok allemaal kan doen met de kennis uit de moleculaire gastronomie.

### Opgave 1

Lees krantenartikel 1 “ Dineren met kortsluiting”. Bekijk ook het volgende filmpje ([URL-1](#) (in de URL-lijst achterin deze module)) om een beter begrip te krijgen van wat moleculaire gastronomie inhoudt.

1. Noem drie moleculair gastronomische gerechten die in dit artikel worden genoemd. Geef aan waarom het volgens jou moleculaire gastronomie betreft.
2. Noem twee fysische technieken die Moshik Roth in zijn keuken gebruikt, leg uit waarom het een fysische techniek is en noem van elke techniek een bijbehorend product.
3. Hoe worden de schuimkoekjes met mosterd gemaakt? Leg met name uit wat er bij de destillatie-stap gebeurt. Op basis van welke fysische eigenschap worden stoffen gescheiden tijdens de destillatie?

### Krantenartikel 1

**de Volkskrant**  
12 januari 2008

# Dineren met kortsluiting

tekst MAC VAN DINTHER

**In een hoek van de keuken van restaurant Brouwerskolkje staat een apparaat dat rechtstreeks uit het scheikundelaboratorium lijkt te komen. Aan de ene kant zit een waterbak waarin een kolf met bruine vloeistof ronddraait. De kolf is aan de bovenkant verbonden met een doorzichtige buis. Onder die buis hangt nog een kolf. Daarin druppelt een kleurloze vloeistof. Het zit allemaal vast aan een motorblok waarop digitale cijfers flikkeren.**

Dat, zegt Moshik Roth, is een Rotaval, een destilleerapparaat waarmee vacuüm kan worden gedestilleerd. De bruine smurrie die erin ronddraait bestaat uit aarde, bladeren en mos uit het bos rond zijn restaurant, gemengd met water. Daaruit destilleert hij zijn thé du terroir, die hij serveert bij gebakken ganzenlever en waarvan de smaak het beste te omschrijven is als vloeibare bosgrond. 'Dit is mijn terroir, zegt Roth terwijl hij de glazen kolf met doorzichtige vloeistof triomfantelijk omhoog houdt. Letterlijk.

Van de Rotaval zijn er nog maar vier op de wereld. Drie staan er in Spanje, de vierde staat hier in de bossen van Overveen. Het is maar een van de hypermoderne snuffjes in de keuken van Brouwerskolkje, waar niets is wat het lijkt. De grote pan bijvoorbeeld waarin zo te zien spekjes worden gegaard is in werkelijkheid een Gastrovac, een ketel waarin spek onder hele lage druk in de olie ligt. 'Daardoor trekken de smaakstoffen uit het spek in de olie en krijg ik lekkere spekolie.' Roth gebruikt hetzelfde procédé voor zijn zelf gemaakte truffelolie van verse truffel.

In een waterbak liggen stukken fantastisch Wagyu-vlees te garen op 45,6 graden. Geen halve graad hoger, zegt Roth die met zijn imposante gestalte (1 meter 94, 135 kilo) veel te groot is voor het keukentje waarin nog vijf andere koks staan te werken. 'Boven de 46 graden worden enzymen actief die eiwitten afbreken.' Dat doet afbreuk aan de smaak.

Het ijs dat in het eierdopje gaat, is bevroren omelet in poedervorm. En de gele schuimkoekjes die door een kok zorgvuldig in een bonbondoosje worden gelegd, zijn geen petitfours, maar schuimkoekjes van zuurkool. Glimlachend zet Roth zijn hoornen bril recht. 'Die maak ik door een pan zuurkool te maken volgens origineel Elzasser recept. Dat destilleer ik in de Rotaval, met het destillaat maak ik de koekjes.' De koekjes worden bestreken met mosterdcrème. Intensier kan zuurkool met mosterd niet worden.

Zo kennen we Moshik Roth, de moleculairste kok van Nederland, onze uitgave van Heston Blumenthal, de Britse driesterrenkok die wereldberoemd werd met zijn ham and eggs ice cream en snail porridge. Een kok die de wetenschap in de keuken brengt met destilleerapparaten, warmwaterbaden, thermomixers

en vloeibare stikstof van 196 graden onder nul. Roth sputtert tegen. 'Als mensen het over de moleculaire keuken hebben, leggen ze altijd de nadruk op de techniek, maar het gaat mij alleen om smaak.'

'Ik kan smaak op twee manieren beïnvloeden: met het product en de kooktechniek. Ik neem de beste producten en probeer daar het beste uit te halen. Dat kun je techniek noemen, maar vis bakken is ook techniek. De term moleculaire keuken is flauwekul, want alles is moleculair.' Het komt er allemaal een beetje brokkelig uit, want zijn Nederlands is nog niet perfect.

Moshik Roth kwam zeven jaar geleden als een komeet de Nederlandse gastronomie binnenvallen. Hij werd geboren in Haifa, Israël, 35 jaar geleden. Moeder was van Russische afkomst. Vader, die beroepsmilitair was, had Nederlandse wortels. Hij is joods opgevoed, maar niet fanatiek. 'Ik ga op hoogtijdagen naar de synagoge, maar ik rij auto op zaterdag en eet alles.'

Na het gymnasium moest Moshik, zoals elke jonge Israëliër, in dienst. Het werd drie jaar Libanon, van 1989 tot 1992. 'Tijdens de Eerste Golfoorlog.' Hij wil er niet over praten. Het volstaat te zeggen dat hij genoeg bloed had gezien om zijn droom van een loopbaan als neurochirurg te laten varen. Roth besloot kok te worden, liep stage in een hotel in Eilat, en kwam daar Els uit Bloemendaal tegen. Het was liefde op het eerste gezicht. 'Ze moest de volgende dag al weg, maar ik wist meteen dat zij de ware was.' Na een korte romance via brief en telefoon voegde hij zich in 1995 bij Els in Nederland.

Aanvankelijk verdiende Roth de kost in Amsterdamse pizzeria's. Een bezoek aan De Librije van Jonnie Boer veranderde zijn leven. 'Toen ben ik gevallen voor de haute cuisine. In anderhalf jaar ben ik alle restaurants afgegaan.' Wat hij zag, probeerde hij thuis uit. Op een dag trok hij de stoute schoenen aan en nodigde hij Jonnie Boer thuis uit.

'Ik kookte zeven gangen: ganzenleverterrine, duivenborst in koolblad.' Jonnie was onder de indruk. 'Hij zei: Moshik, jij moet inspecteur worden bij Michelin of kok.' Boer hielp hem aan een stage in toprestaurant De Zwethheul in Schipluiden. 'Al mijn vrije uren stond ik daar te werken, zonder een cent te verdienen.' Daarna kookte hij een tijdje in Amsterdamse hotels. In 2001 kwam hij in de keuken van Brouwerskolkje, een jaar later nam hij het over, samen met Els.

Het is een klein zaakje van witte baksteen tussen de bomen. Herfstregen kletst op het bitumen dak en het terras van gewassen grindtegels. Binnen staan acht tafeltjes op een planken vloer onder een laag houten dak. Opsmuk komt van een paar simpele kroonluchters, de luxe ligt hier alleen op het bord.

Roth pendelt als een grote vriendelijke reus in slobberbroek heen en weer tussen de keuken en de eetzaal om de gasten uit te leggen wat ze eten: hoorntje van rode biet met mierikswortelijs, Wagyu met zeewier, spaghetti van parmezaan met spekschuim, 'abstract van de zee', never a dull moment in Brouwerskolkje.

Het restaurant heeft door Roth een gedaanteverwisseling ondergaan. Voor hij kwam was Brouwerskolkje een ouderwetse uitspanning, waar wandelaars en fietsers aanlegden voor koffie met appeltaart. Roth begon onmiddellijk met de haute cuisine. 'Ganzenlever, tarbot. Bijna alle vaste gasten liepen weg. Alleen de liefhebbers bleven.'

De experimenteerdrijf kwam vanzelf. Hij werd gefascineerd door de ontdekkingen van de Spanjaard Ferran Adrià en Heston Blumenthal, de gangmakers van de moleculaire keuken en net als Roth autodidacten in de keuken, niet gedrild en gekneed door de wetten van de klassieke keuken.

De moleculaire keuken is de nieuwe nouvelle cuisine genoemd, maar roept ook weerstand op. 'Moleculaire' technieken zoals garen op (extreem) lage temperaturen, en foefjes als schuimen en gels van vloeistoffen worden in bijna alle moderne topkeukens toegepast. Maar op de man af gevraagd, distantiëren bijna alle koks zich van deze 'technische' keuken.

Ze snappen het niet, zegt Roth fel. 'Mijn opa zei altijd: als een kind iets niet snapt, dan vraagt hij het. Als een volwassene iets niet begrijpt, kraakt hij het af. Trouwens, zo nieuw is het niet: ijs eten we al honderden jaren en destillatie is een stokoud proces.' Toch kan hij begrip opbrengen voor sceptici.

Je zult maar een goede ouderwetse kok zijn met jarenlange ervaring en ineens van een broekie zonder koksdiploma te horen krijgen dat je vlees niet boven de 64 graden moet laten komen omdat dan de proteïne stolt en het vlees droog wordt.

'Als je niet weet waarom dat gebeurt, hou je het van je af. Maar de wereld draait om innovatie, vernieuwing is een vorm van intelligentie. Het probleem is dat het door veel koks niet goed is uitgevoerd. Die geven de moleculaire keuken een slechte naam.'

Maar waarom zou je in vredesnaam een gebakken ei door vloeibare stikstof halen om er ijs van te maken? Roth wijst op zijn hoofd: 'Als je dit ei eet, krijg je vooraan in je hoofd een signaal dat de smaak herkenbaar is, maar in je achterhoofd gaat een lampje branden dat de vorm niet klopt. Die kortsluiting creëert een glimlach op je gezicht. Dat is het spel van verrassing.'

De valkuil van vernieuwing is dat je techniek gaat gebruiken omdat de kunstjes zo leuk zijn. Daaraan heeft Roth zich ook bezondigd. 'Maar ik ben volwassener geworden. Ik werk tegenwoordig met minder nadruk op techniek. Een goede langoustine door de gehaktmolen draaien om er mousse van te maken doe ik niet meer.' Roth wil smaak produceren. Neem zijn extract van zwarte rijst. 'Ik wil alleen de smaak van rijst, niet de vulling. Dus maak ik een extract van het rijstnat, dat een pure rijstsmaak heeft. Daarmee heb ik iets nieuws gecreëerd, maar aan tafel proef je gewoon rijst.'

Het is met Brouwerskolkje als met de hele moleculaire keuken: de een loopt ermee weg, de ander vindt het niks. Michelin gaf Roth een ster, Lekker vond hem nog geen plaatsje in de top-100 waard. Roth zucht: 'We spreken niet dezelfde taal, denk ik wel eens.'

Wie zijn taal wel spreken zijn wetenschappers uit Wageningen. Roth kreeg van het ministerie van Landbouw 15 duizend euro voor onderzoek. Binnenkort krijgt hij een machine om te vriesdrogen onder vacuüm. Roth snelt naar de keuken en komt terug met een stuk chocolade vol luchtballen. Een Brosreep, maar dan beter. 'Dat kun je in zo'n machine ook maken van ganzenlever of époisseskaas. Denk je eens in: een broos van époisses!'



## Leerdoelen

Nadat je dit hoofdstuk hebt doorgenomen kun/ken je:

1. Aan de hand van het schema een complex gerecht vereenvoudigen tot de drie basisstructuren en de vijf basiscomponenten.
2. twee voorbeelden noemen van moleculair gastronomische gerechten.
3. Het begrip flavour en de drie componenten waaruit flavour bestaat (smaak, geur en textuur).
4. Uitleggen dat een producteigenschap een met meetapparatuur vastgestelde eigenschap van voedsel is.
5. Enkele belangrijke fysische en chemische eigenschappen van de vier basiscomponenten van voeding.

## Indeling van dit hoofdstuk

Paragrafen:

- 2.1 *Can we do you a flavour?*  
De verschillende onderdelen van flavour komen aan bod.
- 2.2 *Het meten van flavour*  
Hoe kan flavour omgezet worden naar producteigenschappen?
- 2.3 *Van producteigenschappen naar structuren*  
De drie basisstructuren worden benoemd en het verschil wordt uitgelegd.
- 2.4 *Van structuren naar moleculen*  
De vier basiscomponenten (water, koolhydraten, eiwitten en vet) komen uitgebreid aan bod.

## 2.1 Can we do you a flavour?

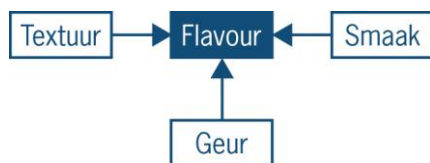
Wanneer je een gerecht aan het eten bent, doe je allerlei waarnemingen. Waarnemen doe je met je vijf zintuigen: ruiken, proeven, voelen, zien en horen.

Als je een broodje kroket eet kun je *zien* dat het een wit bolletje is met een bruine kroket daartussen, en je *ruikt* de typische kroketgeur. Wanneer je een hap neemt, *hoor* je een krakend geluid als je door de korst heen bijt. Ook *proef* je de hartige smaak van de kroket en je *voelt* het verschil tussen de harde buitenlaag van de kroket en de zachte inhoud.

De **flavour** van een gerecht ontstaat door de **smaak**, de **geur** en de **textuur**. Deze drie onderdelen zijn te meten en te beschrijven met methoden uit de scheikunde en de natuurkunde.

In deze paragraaf maak je kennis met deze drie onderdelen van de flavour van een gerecht en met het moleculaire mechanisme erachter.

Tot slot van deze paragraaf zul je de ook uitstraling van een gerecht bestuderen. Deze heeft geen directe invloed op de flavour, maar is wel erg belangrijk voor de beleving ervan.



Figuur 4 De drie onderdelen van flavour.

### Opgave 2 Beschrijf de flavour

Beschrijf de karakteristieke flavour en uitstraling van 5 gerechten. Bij het broodje kroket is dat bv. het kleurcontrast tussen broodje en kroket (wit/bruin) en de contrasterende textuur van de kroket zelf (buitenkant knapperig, binnenkant zacht en vettig met stukjes vlees).

### 2.1.1 Smaak

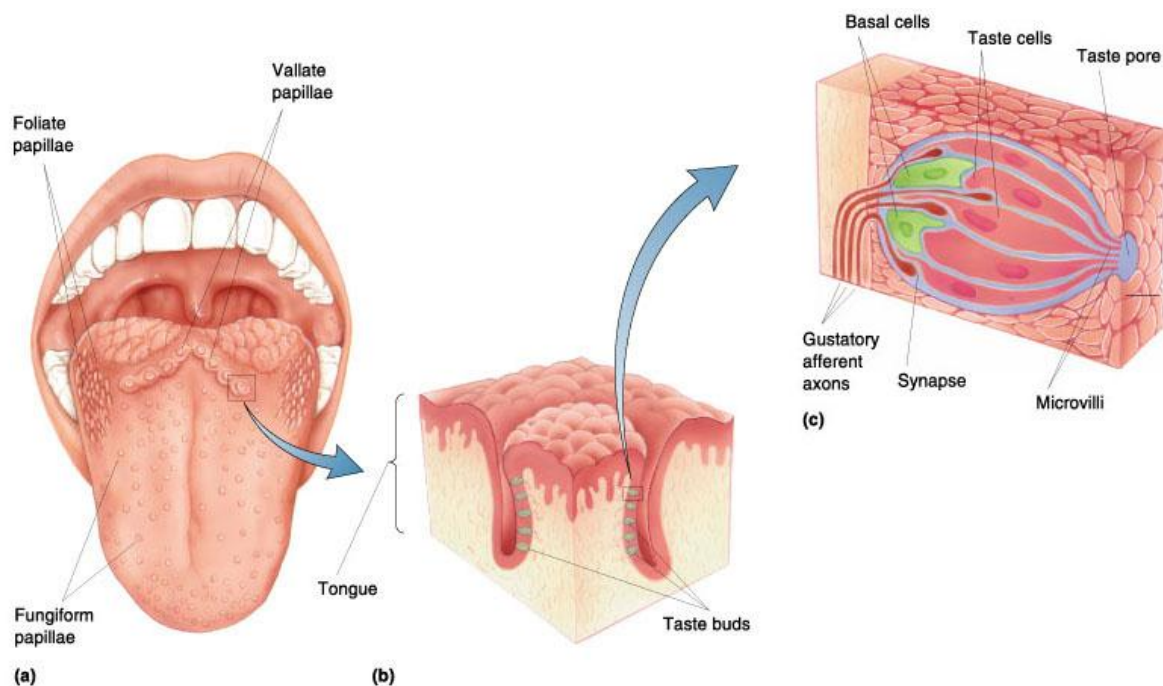
**Smaak** is het waarnemen van niet-vluchtige stoffen met behulp van receptoren op de tong. De tong is niet - zoals men vroeger dacht - een soort landkaart die verdeeld is in allerlei gebieden waar je exclusief een bepaalde smaak zou kunnen proeven, maar het blijkt zo te zijn dat je overal op je tong alle smaken kunt waarnemen.

Met vier smaken zijn de meeste mensen wel bekend, namelijk zoet, zuur, zout en bitter. Wat veel mensen niet weten is dat er nog een vijfde smaak is, namelijk umami (umami is Japans voor flavour, of smaak). Umami is een soort hartige smaak. Umami werd voor het eerst beschreven in 1908, toen bleek dat de stof glutamaat een smaaksensatie gaf die niet benoemd kon worden met zoet, zuur, zout of bitter. Umami werd lang niet geaccepteerd als vijfde smaak, totdat de Aziatische keuken steeds populairder werd in de westerse wereld (de Aziatische keuken gebruikt veel monosodium glutamaat, dat ook de smaak umami heeft).

Tabel 1 De vijf smaken die je tong kan waarnemen.

Smaak	Chemische componenten	Producten waarin ze voorkomen
Zoet	Glucose, fructose, aspartaam	Suiker, frisdranken, glazuur
Zuur	Melkzuur, azijnzuur, fosforzuur	Citroen, yoghurt, zuurkool
Zout	Natriumchloride (NaCl), Ammoniumchloride (NH <sub>4</sub> Cl)	Keukenzout, gepekeld vlees, zoute drop
Bitter	Kinine, Cafeïne en fenolen	Koffie, wijn, bier
Umami (Vetsin)	Monosodium glutamaat, dit is een aminozuur (onderdeel van een eiwit)	Oude kaas, Chinees eten en snacks, bv. chips.

Op de tong bevinden zich smaakpapillen. Deze smaakpapillen zijn uitvergroot weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 De tong.

De smaakpapillen zijn plooien op je tong. Deze plooien zijn nodig voor het vergroten van het oppervlak van je tong. Er zijn drie typen smaakpapillen aanwezig op je tong:

1. Paddenstoelvormige papillen (Fungiform papillae)  
Deze bevinden zich op het voorste tweederde deel van de tong; ze bevatten gemiddeld vier smaakknoppen (Taste buds).
2. Omwalde papillen (Vallate papillae).  
Dit zijn grote, ronde papillen die als een in V op het achterste deel van de tong liggen. Ze bevatten gemiddeld 250 smaakknoppen.
3. Bladvormige papillen (Foliate papillae)  
Deze papillen liggen in de lengte van de tong en bevatten ongeveer 1300 smaakknoppen.

Op de smaakpapillen bevinden zich dus smaakknoppen. In Figuur 5c zie je het microscopisch beeld van een smaakknop. In de smaakknop zitten de smaakcellen (Taste cells).

### **De werking van de smaakcellen (uitleg bij figuur 5c)**

*De smaakcellen hebben aan hun ene uiteinde microvilli ('tentakeltjes') die in contact staan met de mondholte, en aan het andere uiteinde staan ze via synapsen in contact met zenuwcellen. Aan het uiteinde van de microvilli zitten receptoreiwitten. Er zijn verschillende typen receptoreiwitten voor het waarnemen van zoet, zuur, zout, bitter en umami. Door een serie chemische reacties als gevolg van de binding van bijvoorbeeld glucose aan het receptoreiwit, verandert de elektrische potentiaal van de smaakcel. Als deze potentiaalverandering sterk genoeg is wordt de cel geactiveerd en gaan er informatiesignalen naar de hersenen. Dit wordt ook wel de drempelwaarde van een smaakstof genoemd.*

Wanneer neem je een smaakstof waar? Elke smaakstof heeft een **drempelwaarde**, dit is de minimale concentratie die nodig is om de smaakstof waar te nemen. In smaakonderzoek is het vaststellen van de drempelwaarde van stoffen belangrijk om verschillende redenen. Een aantal kunstmatige zoetstoffen bijvoorbeeld, hebben een onprettige bijmaak. Zolang de producent de concentratie van deze stoffen onder de drempelwaarde kan houden, proeft de consument ze niet en zal hij of zij het product toch lekker vinden. Ook uit verpakkingen van levensmiddelen kunnen stoffen migreren in de levensmiddelen en in te hoge concentraties smaakafwijkingen teweeg brengen. De concentratie van deze stoffen wil de fabrikant natuurlijk ook onder de drempelwaarde houden, zodat de consument er niets van merkt.

De drempelwaarde van smaakstoffen is niet voor iedereen gelijk. Zo hebben ouderen vaak een hogere drempelwaarde dan jongeren. Dit komt door de afbraak van (smaak)-cellen. De meeste cellen in het lichaam kunnen weer worden bijgemaakt, maar smaakcellen vallen in een categorie cellen waarbij dit niet kan. Doordat het aantal smaakcellen afneemt, neemt ook de werking ervan af. Een andere reden waardoor de smaak verslechterd (dus de drempelwaarde toe neemt) is roken. Verder is ook belangrijk hoe vaak iemand een bepaalde smaakstof gebruikt, hoe vaker iemand een smaakstof gebruikt hoe hoger de drempelwaarde voor die persoon wordt, dit wordt gewenning genoemd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het pittige eten uit de Chinese keuken, voor chinezen is dit normaal, voor ons vaak veel te pittig. Dit komt omdat wij niet gewend zijn om pittig te eten, dus onze drempelwaarde voor deze pittige smaakstoffen is lager.

In opdracht 1 zul je met deze drempelwaarde gaan oefenen.

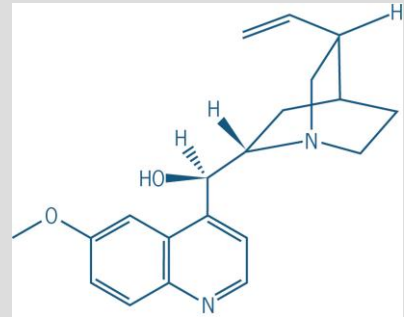
### **Moeite met het proeven van umami?**

*Misschien kun je jezelf niet zoveel voorstellen bij de smaak umami, en hoe deze stof zou moeten smaken. Als je eens wilt proeven hoe umami smaakt is soja saus hier een goed product voor. Dit bevat zeer veel monosodium glutamaat en heeft de typische hartige smaak van umami (naast een wat zoutige smaak). Mocht je na het proeven van soja saus nog steeds moeite hebben met de smaak umami, dan is dit niet zo vreemd! Uit onderzoek is gebleken dat umami door oosterlingen veel beter geproefd kan worden dan door westerlingen. Chinezen kunnen bijvoorbeeld goed verschillende soorten ketjap (een oosterse saus waar veel monosodium glutamaat inzit) uit elkaar houden op basis van de umami sterkte, terwijl westerlingen alleen maar grote verschillen in de zoutsterke proeven. Waarschijnlijk komt dit omdat de smaakstof umami van oudsher al veel gebruikt wordt in het Azië, terwijl de smaakstof hier vrij nieuw is. Dit heeft dus weer te maken met de drempelwaarde zoals je in de vorige opdracht hebt bepaald. Niet alle stoffen hebben dezelfde drempelwaarde. Van zuur, zoet, bitter en zout heeft bitter de laagste drempelwaarde, gevolgd door zuur en zout. Zoet heeft de hoogste drempelwaarde.*

### Opdracht 1 De drempelwaarde van kinine

In deze opdracht gaan we kijken naar de drempelwaarde van kinine (een bitter smakende stof). Kinine is onder andere de stof die Tonic bitter laat smaken.

Je gaat onderzoeken wat de drempelwaarde voor kinine is voor je klas. In de opdracht komt ook een stukje statistiek terug, dit is niet iets wat je hoeft te leren maar dient hier om te laten zien dat smaakonderzoek niet alleen maar uit proeven bestaat.



Figuur 6 Structuurformule van kinine

Voor je op tafel staan 10 plastic bekertjes 1 t/m 10. De bedoeling is dat je de bekertjes om de beurt proeft. Je mag meerdere malen proeven. Beantwoord de vragen op de vragenlijst.

*Belangrijk: Neem tussen het proeven van elk paar oplossingen een hap van een crackertje en spoel je mond met water om de smaak te neutraliseren.*

Pak bekertjes 1 en 2 en proef ze beurtelings.

In welk bekertje zit kinine?

1	2	allebei	allebei niet
0	0	0	0

Pak vervolgens bekertje 3 en 4 en doe hetzelfde.

In welk bekertje zit kinine?

3	4	allebei	allebei niet
0	0	0	0

Dan bekertje 5 en 6.

In welk bekertje zit kinine?

5	6	allebei	allebei niet
0	0	0	0

Daarna bekertje 7 en 8.

In welk bekertje zit kinine?

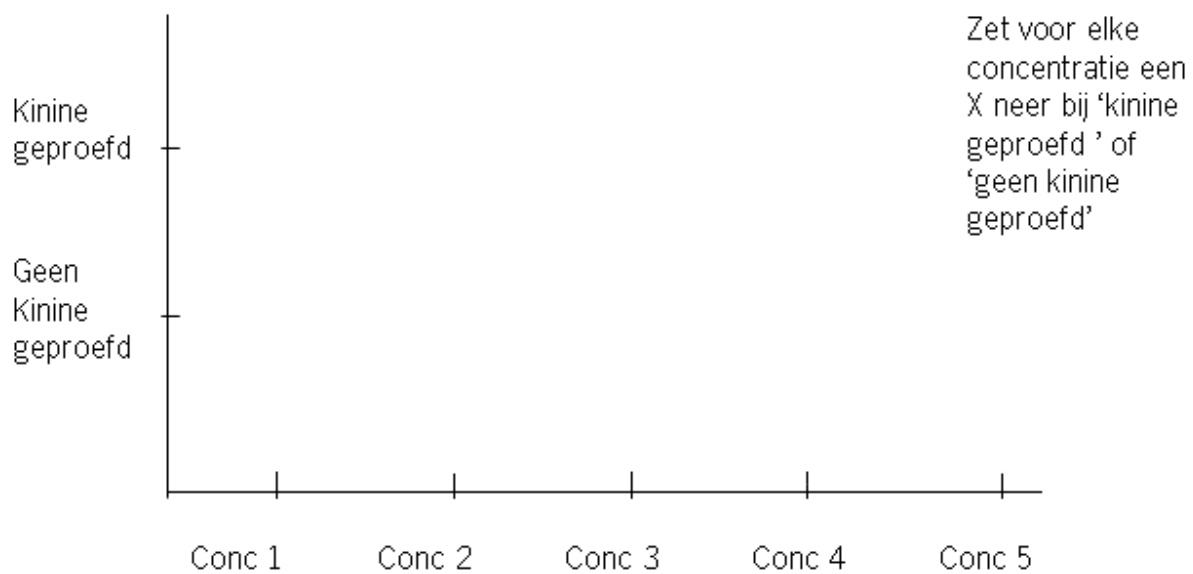
7	8	allebei	allebei niet
0	0	0	0

Als laatste bekertje 9 en 10.

In welk bekertje zit kinine?

9	10	allebei	allebei niet
0	0	0	0

Als je klaar bent met het proeven van de oplossingen zal je docent de juiste antwoorden op het bord zetten. Je controleert zelf welke je goed had. De docent zal ook de concentraties opschrijven van de kinineoplossingen. Kijk dus bij welke concentraties kinine jij het juiste antwoord had gegeven. Teken je antwoorden in de grafiek op de volgende pagina.



Als je de concentraties in de grafiek gezet hebt, kun je zien bij welke concentraties je kinine hebt geproefd en bij welke niet. Waarschijnlijk heb je het vaker goed gehad bij hogere concentraties. De leraar heeft als het goed is een tabel op het bord getekend. Zet in die tabel bij welke concentraties jij het juiste antwoord hebt gegeven.

Naast het eigenlijke proeven speelt bij sensorische tests statistiek ook nog een rol, dit zul je zien in de volgende opgave waarin je de drempelwaarde van de klas uit gaat rekenen met behulp van een statistische toets. Het gaat er daarbij om, dat een bepaald aantal mensen in de klas die concentratie moet hebben geproefd om te mogen aannemen dat die concentratie echt geproefd werd en er dus niet toevallig goed is gegokt.

Het volgende voorbeeld verduidelijkt deze toets: *Stel, je bent producer van een quiz op tv. Je wilt vragen uitzoeken die niet te gemakkelijk zijn, maar zeker ook niet te moeilijk. Daartoe nodig je 30 willekeurige mensen uit en je stelt ze een aantal multiple-choice vragen, waarbij ze kunnen kiezen uit 'A' of 'B'. Als de vraag moeilijk is, zijn er altijd een aantal mensen zijn die zeker denken te weten wat het goede antwoord is en een aantal die gokken. Als tenminste 20 van de 30 mensen het antwoord op een vraag goed hebben, mag je met 95% zekerheid aannemen dat ze niet zomaar hebben gegokt, maar het zeker weten. Deze vraag is dus niet te moeilijk voor de deelnemers.*

Zo is het ook met kinine. Een paar keer zul je zeker hebben geweten welk antwoord je moest kiezen. Maar een paar keer zul je ook hebben getwijfeld over het juiste antwoord. In dat geval heb je uiteindelijk het antwoord gegokt. Bij de concentratie die 20 van de 30 mensen in jullie klas hebben geproefd, mag je met 95% zekerheid aannemen dat de stof echt is geproefd en dat niet zomaar is gegokt. Deze concentratie noemen we de drempelwaarde voor jullie klas. 95% is een grens die is afgesproken door statistici, waarbij je iets mag aannemen.

In onderstaande tabel kun je de kritieke waarde aflezen voor het aantal mensen in jullie klas (Dit is dus het aantal dat kinine proeft, waarbij je mag aannemen dat ze niet hebben gegokt, N geeft het totaal aantal leerlingen in de klas aan).



Aantal mensen in klas	Kritieke waarde (bij 95% betrouwbaarheid)
N 10	9
11	9
12	10
13	10
14	11
15	12
16	12
17	13
18	13
19	14
20	15
21	15
22	16
23	16
24	17
25	18
26	18
27	19
28	19
29	20
30	20
31	21
32	22
33	22
34	23
35	23
36	24
37	24

Vragen:

1. a) Wat is de drempelwaarde van kinine voor jullie klas? Wijk jouw eigen drempelwaarde (ongeveer af te lezen in de grafiek die je getekend hebt) daar ver vanaf? Zou je daar een verklaring voor kunnen bedenken?
 

b) De drempelwaarde van kinine die in de literatuur is gegeven, is 3,4 mg/liter H<sub>2</sub>O. Vergelijk deze met die van jullie klas en probeer ook hier de verschillen te verklaren.
  
2. Kun je nu met zekerheid zeggen dat de drempelwaarde van kinine zo hoog is als uit de resultaten in jullie klas blijkt? Met andere woorden, kun je aannemen dat de resultaten uit jullie klas gelden voor de hele bevolking? Ga daarbij opzet van het experiment na, en bedenk punten waarin deze opzet verbeterd kan worden om een betere betrouwbaarheid van het experiment te krijgen.

### Opdracht 2 Slechte, goede en superproevers

Met een simpele telling kun je vaststellen of je een slechte, een normale of een superproever bent. Voor dit experiment heb je nodig:

- Blauwe kleurstof voor levensmiddelen
- Een perforator
- Een wattenstaafje
- Een stuk wit papier
- Een loep

Maak met de perforator een rond gaatje in het stuk papier. Doop een wattenstaafje in de blauwe kleurstof. Wrijf de blauwe kleurstof met het wattenstaafje over het voorste stuk van je tong. Houd je het gaatje in het papier tegen je blauwe tong. Laat nu iemand met een loep naar dit stukje van je tong kijken en tellen hoeveel smaakpapillen er in het rondje aanwezig zijn. Als je minder dan 15 smaakpapillen in het rondje hebt, ben je een slechte proever. Goede proevers hebben tussen de 15 en de 30 smaakpapillen en superproevers hebben meer dan 30 papillen op het oppervlak van het rondje.

### 2.1.2 Geur

#### Opdracht 3 Wat eet je?

In deze opdracht zul je merken dat de geur een grote invloed heeft op de flavour van een levensmiddel, oftewel de beleving. Tijdens dit experiment zal jullie leraar/lerares iemand blinddoeken en verschillende levensmiddelen laten proeven. Probeer te raden wat je eet, terwijl je neus dicht wordt gehouden.

Smaak wordt voor een groot gedeelte beïnvloed door de geur van een gerecht, men zegt wel dat 95% van de flavour van een levensmiddel wordt bepaald door de geur. Daarom 'proef' je eten nauwelijks als je verkouden bent.

#### Opgave 3 Beschrijf geuren

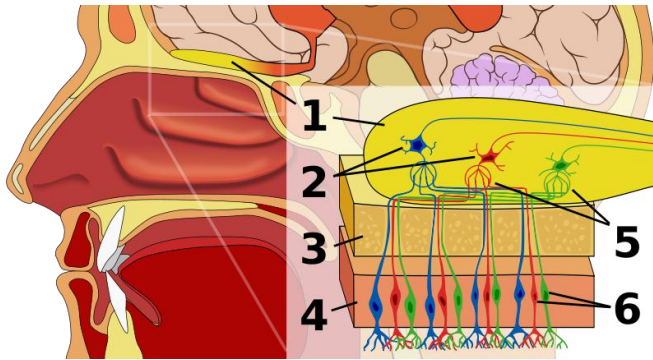
Benoem vijf geuren die niet naar producten verwijzen (zoals bijvoorbeeld kroketgeur). Denk hierbij bijvoorbeeld aan geuren zoals fris, muf, maar ook geuren als nootachtig.

Er zijn slechts vijf smaken, maar er bestaan duizenden verschillende geuren. Anders gezegd: de neus kan duizenden verschillende chemische componenten herkennen.

Maar al die geuren benoemen, zoals je de smaken zuur, zout, bitter en zoet kunt benoemen, dat valt niet mee, zoals je hebt gemerkt bij opgave 3.

Het verschil tussen smaak en geur is dat bij smaak niet-vluchtige stoffen worden waargenomen, terwijl bij **geur** juist de vluchtige stoffen worden waargenomen. Vluchtige stoffen verkeren gewoonlijk in de gasfase. Het zijn stoffen die gemakkelijk verdampen.

Je neemt geur waar met de neus. Om precies te zijn met het olfactorisch epitheel of reukepitheel, dat in Figuur 6 als nummer 4 te zien. Het totale oppervlak van het reukepitheel is 5 cm<sup>2</sup>.



Figuur 6 Het reukorgaan

**De werking van het reukorgaan.**

Geurmoleculen binden zich aan receptoreiwitten die zich bevinden op de trilharen van de reukcellen (nr. 6). De trilharen zitten in een slijmlaag van water, eiwitten en koolhydraten, waar de ingeademde lucht langs stroomt. Er zijn in je neus ongeveer 700 verschillende soorten receptoreiwitten aanwezig op de trilharen. Elke reukcel bevat slechts één soort receptoreiwit. De verschillende soorten reukcellen liggen niet in groepjes bij elkaar, maar verspreid door het gehele reukepitheel. Dit is weergegeven in Figuur 7 als nummer 6. De verschillende kleuren stellen de verschillende reukcellen (met telkens een ander receptoreiwit) voor. Net als bij het waarnemen van smaak vinden er bij het ruiken ook chemische reacties plaats die uiteindelijk tot een ladingsverschil en activering van neuronen leiden. De signalen die door de verschillende soorten receptoreiwitten worden afgegeven komen per soort receptoreiwit samen in de glomeruli, die zijn weergegeven als nummer 5 in Figuur 7. Van daaruit worden de signalen doorgegeven aan de mitrale cellen (nummer 2). Dit zijn de neuronen die de signalen doorgeven aan de hersenen. Voor hun onderzoek aan het reukzintuig en de ontdekking van de geurreceptoren hebben Richard Axel en Linda Buck in 2004 de Nobelprijs gekregen.

Om een geur waar te kunnen nemen, moet de concentratie van deze geurstof boven een bepaalde **grenswaarde (vergelijkbaar met de drempelwaarde)** zitten. Bij een concentratie die lager is dan deze grenswaarde wordt de geur niet waargenomen. Elke stof heeft een andere grenswaarde. Ethanol wordt pas waargenomen bij hele hoge concentraties (meer dan 100 mg/L); in een emmer met 10 L water moet minimaal een gram ethanol opgelost zijn, om de aanwezigheid van ethanol te kunnen ruiken. Een stof als 1-p-menthene-8-thiol, die een grapefruitgeur heeft, wordt al waargenomen bij 0.00000002 mg/L; deze stof ruik je dus al wanneer er 1 gram van in een tanker vol water is opgelost!

Geurstoffen worden ook wel aromastoffen genoemd. Ze zijn meestal goed oplosbaar in olie. Smaakstoffen, zoals suiker, zijn juist beter oplosbaar in water. Dit verschil tussen smaakstoffen en geurstoffen is belangrijk voor de kok. Geurstoffen zijn over het algemeen ook erg vluchtig. Dit betekent dat ze tijdens het koken gemakkelijk kunnen ontsnappen.

Smaakstoffen zijn goed oplosbaar in water; in de mond lossen zij op in het speeksel en komen zo op de tong terecht. Geurstoffen zijn slecht oplosbaar in water; in de mond verplaatsen zij zich naar de lucht. Geurstoffen worden vooral waargenomen door de neus. Om dit verschil wat duidelijker te maken kun je denken aan soep. In soep zitten zowel smaak- als geurstoffen. De geurstoffen zitten in de olie, en deze olie gaat drijven op het water (dit zie je bij soep ook als de kleine, beetje troebele cirkels boven op de soep). Omdat geurstoffen ook een laag kookpunt hebben (bijvoorbeeld de geurstof uit grapefruit, deze geurstof is bij kamertemperatuur al in de gasfase) zullen ze dus in de gasfase komen en opstijgen uit de soep. Om ervoor te zorgen dat niet alle geurstoffen verloren gaan laat je de deksel op de pan zitten.

De verhouding waarin een stof zich verdeelt over water en olie wordt **partiticoëfficiënt** genoemd. Dit is een vast getal voor elk smaak- en geurstof.

De partiticoëfficiënt kan als volgt in een formule worden uitgedrukt:

$$Kp = \frac{[A]_o}{[A]_w}$$

$[A]_w$  is de concentratie in mol/L van stof A in water en  $[A]_o$  de concentratie van stof A in mol/L in olie.

Wanneer de partiticoëfficiënt van het stof tussen de 0 en de 1 ligt, heeft de stof een grote affiniteit voor water. Deze stoffen zijn hydrofiel (waterminnend). Ze worden door de tong waargenomen, het zijn meestal smaakstoffen.

Een stof met een hoge partiticoëfficiënt (>1) heeft juist een grote affiniteit met olie. Deze stoffen zijn hydrofoob (watermijdend). Ze worden door de neus waargenomen, het zijn dus geurstoffen. Is het getal gelijk aan 1, dan heeft de stof evenveel affiniteit voor water als voor olie. De stof zingerone die voorkomt in gember heeft een partiticoëfficiënt van 20.4. Deze stof is goed oplosbaar in olie en is dus een geurstof. Citroenzuur komt voor in citrusfruit en geeft een zure smaak; het is een smaakstof met een partiticoëfficiënt van 0.023.

#### Opgave 4 Smaak en geur

1. Beschrijf hoe geur en smaak worden waargenomen door receptoren.
2. Hoe komt het dat smaakmoleculen vooral door de receptoren op de tong worden waargenomen en geurmoleculen door de receptoren in de neus?
3. Geef van de moleculen in Tabel 2 aan:
  - a. Of het molecuul vooral goed in water of in olie oplosbaar is
  - b. Of het molecuul door receptoren op de tong of in de neus wordt waargenomen
  - c. Of het molecuul een geurmolecuul is of een smaakmolecuul

*Tabel 2 Moleculen in producten*

Molecuul	Product	Partiticoëfficiënt
narangine	Sinaasappelschil	0.36
2,6, nonadial	Verse zalm	700
Menthol	Munt	2000
looizuur	Thee, rode wijn	0.70
diacetyl	Boter, Kaas	2.8
Capsaïcine	Chilipeper	10000
Citroenzuur	citrusfruit	0.023
Limoleen	Sinaasappelschil	67000

4. Een kok wil graag een saus maken met een sinaasappelsmaak. Voor de extra sinaasappelsensatie raspt hij de schil van een sinaasappel. In de schil van een sinaasappel komt het molecuul limoleen voor met een partiticoëfficiënt van 67000. De kok twijfelt of hij de saus op waterbasis zal maken of op oliebasis. Adviseer de kok wat hij het beste kan doen.
5. Boter in de koelkast gaat op den duur vies ruiken, niet alleen door het verouderingsproces maar ook door.....
6. Als je bij een krachtig smakende tomatensoep wat room (35% vet) voegt, wordt de smaak dan intenser of juist minder intens? Leg je antwoord uit.
7. Zou je een mintkauwgom langer naar munt kunnen laten smaken door er een beetje olie aan toe te voegen? Leg uit.
8. Als je te 'heet' eten hebt gekregen met veel capsaïcine, moet je dan water of melk drinken om te 'blussen'? Leg uit
9. Leg uit welke kruidenolie geconcentreerder is: een citroenolie of een chiliolie.
10. Asperges (en andere groenten) hebben een krachtiger smaak als ze in olie bereid zijn dan wanneer ze in water bereid zijn. Leg dit uit met de partiticoëfficiënt van de smaakstoffen in asperges.
11. Groenten hebben veel smaakstoffen met een partiticoëfficiënt kleiner dan 1. Leg uit met welke bereidingswijze groenten het meest van hun smaak behouden: koken of stomen.

### Opgave 5 Geurstoffen (uit: Chemie Aktueel jaargang 18, nr 53)

Lees bron 1

Geurstoffen behoren tot de laagkokende stoffen, d.w.z. dat zij een laag kookpunt hebben.

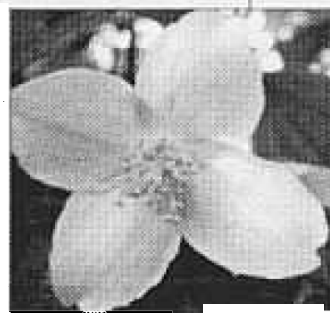
1. Waarom moet een geurstof laagkokend zijn?
2. Wat wil dit zeggen over de interacties tussen geurstofmoleculen?

Carvon gebruikt men in het artikel als voorbeeld. Carvon heeft de volgende structuur:

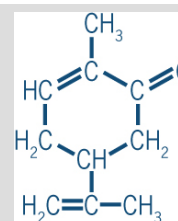
3. Tot welke van de in het artikel genoemde klassen (alcoholen, fenolen, ketonen, aldehyden, ethers of esters) behoort carvon?
4. Is deze stof beter oplosbaar in water dan in olie? Verklaar je antwoord.

## GEURSTOFFEN

GEURSTOFFEN behoren tot de laagkokende alcoholen, fenolen, ketonen, aldehyden, ethers of esters. Een klein verschil in ketenlengte, zijgroep of een andere enantiomeervorm heeft een grote invloed op de geurbeleving. Zo ruiken de twee isomeren van carvon naar karwiizaad en kruizemunt.



Bron 1



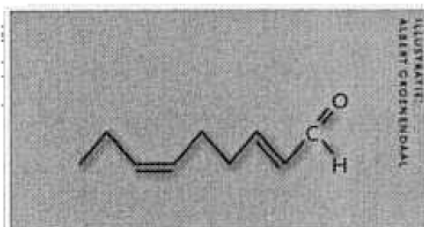
Bron 2

## KOMKOMMERCHEMIE

### Moleculaire aspecten van *Cucumis sativus*.

**H**oe kom je als redactie de komkommertijd door? Met komkommerchemie. Een oproep op [www.czw.nl](http://www.czw.nl) leidde tot enkele interessante reacties uit de organische, de analytische en de genetische hoek.

De geur van komkommers wordt veroorzaakt door diverse verbindingen, waaronder 2-nonenal, hexanal en (Z)-1,5-octadien-3-on. De belangrijkste geurstof is echter (E-Z)-2,6-nonadienal. Emeritus hoogleraar Lambert Brandsma heeft de stof ooit gesynthetiseerd. Hij bereidde een Grignardreagens uit 1-broom-3-hexeen en liet dat reageren met propionaldehydediethylacetaal in ether bij -25 °C en met CuBr als katalysator. De resulterende alleenether liet zich vervolgens met een weinig zwavelzuur omzetten in de gewenste geurstof.



(E-Z)-2,6-nonadienal.

Het recept publiceerde Brandsma in het toenmalige KNCV-tijdschrift *Recueil*, jaargang 1976, pagina 66. Maar hij raadt aan om er voorzichtig mee te zijn. "Het geeft de uiterst intensieve geur die je krijgt als je komkommers in plakjes snijdt en daar azijn bij doet. Van één druppel word je al misselijk, en je hele huis ruikt ernaar." (...)

### Opgave 6 Komkommerchemie (uit: Chemie Aktueel jaargang 18, nr 54)

Zie de structuurformule van (E-Z)-2,6-nonadienal in bron 2. Beredeneer of er in een komkommer veel of weinig van deze stof voorkomt. (Tip: water of vet oplosbaar en dus....?)

### 2.1.3 Textuur

Textuur is ook een onderdeel van de flavour. Textuur heeft te maken met wat je voelt in je mond als je voedsel kauwt en doorslikt. Je kunt hier een reeks van bijvoeglijke naamwoorden aan verbinden: knapperig, zacht, smeltend, stroef, glad, hard, stroperig, kruimelig, sappig, vezelig, romig en vetzig. Elk levensmiddel heeft een aantal kenmerkende textuureigenschappen. Wanneer het levensmiddel deze eigenschappen niet meer heeft, wordt het als niet-lekker beschouwd, terwijl de smaak en de geur nog goed kunnen zijn. Voor chips is dit bijvoorbeeld knapperigheid. Chips die de juiste geur en smaak hebben, maar niet meer knapperig zijn, vindt je niet meer lekker. Tijdens het kauwen van voedsel worden zintuigen gebruikt in het gehemelte, in de wang en in de tong. Daarnaast worden ook de kaakspieren en kaakgewrichten gebruikt.

De textuur van een levensmiddel wordt bepaald door de structuur. De **structuur** is de manier waarop de koolhydraten, vetten, eiwitten en het water in het levensmiddel geordend zijn. De vier mogelijke structuren worden behandeld in paragraaf 2.3

De textuur heeft invloed op hoe je een gerecht waarneemt, maar de textuur heeft ook invloed op de snelheid van het vrijgeven van vooral geurstoffen. Door de textuur wordt dus ook mede de intensiteit van de geur bepaald.

Een geurstof zit als het ware opgesloten in de structuur van een levensmiddel.

Of de geurstof daadwerkelijk waargenomen wordt, hangt op de eerste plaats af van de eigenschappen van de geurstof zelf. Bijvoorbeeld hoe 'graag' de geurstof is opgelost in de structuur. Zoals al uitgelegd in de vorige paragraaf, zal een hydrofobe geurstof niet lang opgelost blijven in een hydrofiele structuur als water. Het molecuul gaat dan van de vloeistof naar de lucht en zal daardoor goed te ruiken zijn. Wanneer de hydrofobe geurstof is opgelost in olie, is het veel minder goed te ruiken. De bouw van het molecuul past zodanig bij de structuur van olie, dat het in de structuur vast blijft zitten.

Het tweede wat van belang is voor de waarneming is de snelheid waarmee het molecuul zich kan verplaatsen door de structuur. Moleculen verplaatsen zich sneller door een gas dan door een vaste stof. De structuren die aanwezig zijn in levensmiddelen zitten tussen deze twee uitersten in. Een structuur waar veel gas in zit is bijvoorbeeld een schuim. Een molecuul kan zich snel door een schuim verplaatsen. Een structuur die als een vaste stof kan worden gezien is een kaas. Hierdoor verplaatst het molecuul zich een stuk minder snel.

Bij kaas is onderzoek gedaan naar de relatie tussen de waargenomen intensiteit van geurstoffen en de stevigheid van de kaas. Hieruit is naar voren gekomen dat bij een stevige kaas de geuren minder intens worden waargenomen. Hoe steviger de kaas, hoe minder snel de moleculen zich door de structuur heen verplaatsen. De precieze relatie tussen textuur en het kunnen waarnemen van flavour is een onderwerp waar nog veel onderzoek naar gedaan wordt. Wat in ieder geval geconcludeerd kan worden is dat een geurstof zich door de structuur van een levensmiddel heen moeten werken. De snelheid hiervan hangt af van zowel de eigenschappen van het molecuul als van de eigenschappen van de structuur.



### Opgave 7 Textuur

1. Van welke twee factoren hangt het af of een geur vrijkomt uit een levensmiddel?
2. Geef van de volgende gerechten of delen van gerechten aan welke textuureigenschappen belangrijk zijn voor het gerecht. Gebruik hiervoor bijvoeglijke naamwoorden zoals bros, stroef etc.

Pudding, ijs, ijswafeltjes, pasta, slagroom en chips

#### 2.1.4 Het zien

De uitstraling is geen onderdeel van de flavour, maar is wel heel belangrijk voor een gerecht en voor een levensmiddel. Met de uitstraling wordt bedoeld wat je aan een gerecht kunt waarnemen met je ogen. Het gaat er hierbij om hoe een gerecht is opgemaakt op het bord en om de verschillende kleuren die in het gerecht voorkomen. De kleuren van een levensmiddel geven je informatie over het product zelf. Ze zeggen bijvoorbeeld iets over de rijpheid van een product: een groene banaan is niet rijp, een gele wel. Bij een roze drankje verwacht je een zoete smaak en geen bittere. Daarnaast zeggen kleuren ook iets over de versheid van een product en in hoeverre een product bewerkt is: verlepte sla ziet er heel anders uit dan verse sla. Ook kan de kleur een indruk geven van de smaak van een gerecht. Deze indruk kan ook misleidend zijn. Denk aan de groene ketchup die een tijd geleden in de supermarkt te koop was. Koks gebruiken kleur om gerechten verrassend te maken. Pasta kan met behulp van inktvisseninkt zwart worden gekleurd (*Figuur 7*). Deze kleuring geeft een compleet andere uitstraling aan het gerecht.



*Figuur 7 Zwarte pasta*

## 2.2 Het meten van flavour

In de vorige paragraaf is beschreven wat flavour is en hoe flavour wordt waargenomen. De verschillende onderdelen waaruit flavour bestaat kunnen herleid worden tot producteigenschappen. Een opsomming van enkele producteigenschappen die levensmiddelen kunnen hebben is te vinden in

Tabel 3. (Gerechten bestaan uit meerdere levensmiddelen en kunnen geen producteigenschappen hebben. Daarom spreek je over de producteigenschappen van levensmiddelen.)

Tabel 3 Producteigenschappen en metingen.

Flavour eigenschap	Producteigenschap	Wetenschappelijke meetmethoden
Geur	Rozengeur, zwavelgeur, grasachtig	Gaschromatografie Reuk analyse
Smaak	Zout Zuur Bitter Zoet	Zoutconcentratie bepalen pH bepalen Kinineconcentratie bepalen Suikerconcentratie bepalen
Textuur	Dik, hard, knapperig, romig, taai, vettig, vezelig, kruimelig	Dikte meten Schuimstabiliteit meten Hoeveelheid lucht meten Trekkracht bepalen Vetconcentratie bepalen Vetsamenstelling bepalen Microscopische analyse
Uitstraling	Donker, licht, groen, rood, kleurpatroon, scherp, vaag	Kleurmetingen Microscopische analyse Spectroscopische metingen

Je ziet in de tabel de drie onderdelen van flavour en de uitstraling weer terugkomen, maar nu gekoppeld aan producteigenschappen. Producteigenschappen kun je meten en op deze manier kan de subjectieve waarneming van flavour en uitstraling vertaald worden naar objectieve metingen. De metingen worden gedaan in het lab door wetenschappers. De kok krijgt door de resultaten van deze metingen een beter inzicht in wat hij doet in de keuken.

Zo krijgt de kok een beter begrip van de producteigenschappen van de ingrediënten die hij gebruikt, van de relatie tussen producteigenschap en concentratie van de ingrediënten en van het effect van de bewerkingen die hij uitvoert.

Met deze nieuwe inzichten en zijn creativiteit kan de kok zijn gerechten verbeteren.

Een eenvoudig voorbeeld van hoe dit schema kan worden toegepast is het volgende. Een producteigenschap van limonade is zoetheid. Zoetheid kan gekoppeld worden aan de suikerconcentratie van de limonade: de suikerconcentratie is een maat voor de zoetheid. Hoe meer suiker in de limonade, hoe zoeter de smaak. Om dit te testen, zou je een sensorisch onderzoek kunnen uitvoeren. Je zou bijvoorbeeld bij een groep kinderen kunnen gaan meten hoe zoet ze een bepaalde limonade vinden door hun mening te vragen na het proeven ervan.

Dit kun je ook voor veel andere eigenschappen van producten doen. Bijvoorbeeld de krokantheid van patat of de romigheid van een bepaalde saus. Met deze kennis kun je bestaande gerechten vernieuwen en verbeteren. Stel je wilt de dikte van een saus verbeteren, dan zou je ervoor kunnen kiezen om het vetpercentage van de saus te verhogen.

Vervolgens kun je dan de dikte van de saus, die ook wel viscositeit wordt genoemd, gaan meten bij verschillende vetpercentages. Waarschijnlijk kom je er dan achter dat een hoger vetpercentage een dikkere saus geeft.

Zoals in het voorbeeld van de zoete limonade al wordt genoemd is er naast de wetenschappelijke methoden bij opgave 8 nog een methode om producteigenschappen te bepalen, een **sensorisch onderzoek**. Een sensorisch onderzoek vormt eigenlijk een verbinding tussen een subjectieve waarneming en een objectieve meting. Sensorische tests worden vaak gebruikt om te kijken of een nieuw product in de smaak valt. Maar ook om te kijken of bepaalde veranderingen ook echt effect op de smaak hebben.

Er zijn verschillende soorten sensorische tests. Het belangrijkste verschil is eigenlijk de ervaring van de proevers. Je kunt een groep mensen laten die proeven die eigenlijk geen ervaring hebben. In dit geval stel je vragen als “Welk product vind je het lekkerst?” of “is het product lekker?”. Deze test wordt vaak gedaan om te kijken of een nieuw product in de smaak zal vallen. Iets wat een kok zelf eigenlijk ook doet als hij een nieuw gerecht gemaakt heeft.

Een andere soort test is met een gespecialiseerde groep proevers, deze mensen kunnen zeer goed onderscheid maken tussen verschillende smaken en zijn er in getraind geuren en smaken te beschrijven (zie opdracht 4). Dit soort panels worden vaak gebruikt om de kwaliteit van verschillende producten te bepalen. Ze zeggen niet of iets “lekker” of “niet lekker” is, maar kijken naar de verschillen tussen producten, bijvoorbeeld tussen Heinz ketchup en de ketchup van een huismerk.

#### **Opgave 8 productmetingen**

Verzin een methode om de hoeveelheid lucht/gas in een product te meten.

#### **Opgave 9 Frituur je slank**

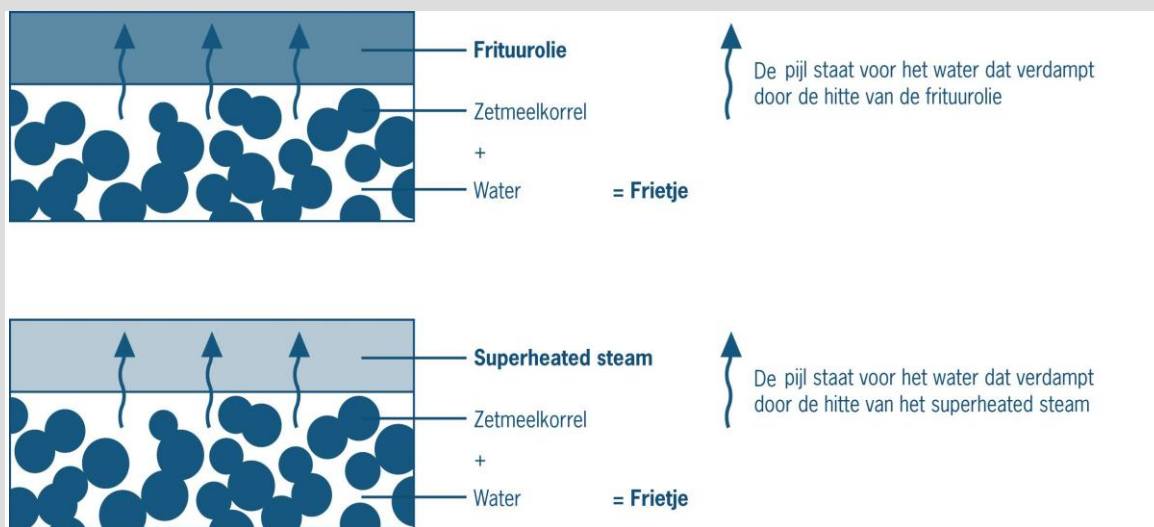
Lees het krantenartikel 2 “Frituur je slank” (op de volgende pagina)

1. Noem enkele belangrijke producteigenschappen van patat.
2. Hoe zou je de krokantheid van patat kunnen meten?
3. Leg in je eigen woorden uit wat het verschil is tussen het traditionele frituren en het frituren met de superheated steam methode.
4. Wat is het verband tussen de superheated steam methode en de moleculaire gastronomie?

## Frituur je slank!

## Krantenartikel 2

Hierbij een typisch voorbeeld van de verbetering van de kookapparatuur om de eetbeleving van een gerecht te verbeteren. Want in de nabije toekomst kan wellicht een frietje gezonder worden klaargemaakt zonder dat je de smaak en het vette mondgevoel hoeft op te offeren. Zo kwam laatst al een machine in het nieuws die frietjes klaarmaakte met superheated steam. Frituren is namelijk deels te vergelijken met een drogingproces, omdat het vocht in een frietje er deels uitgaat als stoom. Dat drogen maakt frietjes deels zo knapperig. De superheated steam bevat niet veel waterdamp, waardoor het frietje ook droogt, en dus hetzelfde effect heeft op het frietje als met frituren, maar dan zonder vet. De frietjes zijn wel wat vettig gemaakt om het juiste mondgevoel van friet te kunnen krijgen. Ze moeten nog steeds eerst vorgebakken worden, voordat ze tot een knapperig frietje gefrituurd kunnen worden. Wie wil er nou niet een frietje eten zonder schuldgevoelens en nare gevolgen zoals puistjes? Dat is, naast een prettige, vette smaak, ook deel van de eetbeleving.



Bron: NVOX, Isolde van Leeuwen

### Beroepsveldblok 2

#### **Bij smaakonderzoek is het leuk om zijstappen naar filosofie te maken**

*Interview met Bob Cramwinckel, directeur van het Centrum voor Smaakonderzoek (CSO) in Wageningen.*

*Cramwinckel heeft levensmiddelenchemie gestudeerd aan Wageningen Universiteit.*

Cramwinckel valt meteen met de deur in huis, "natuurwetenschappen en smaakonderzoek lopen niet helemaal parallel" aldus Cramwinckel. Natuurwetenschappen hebben het makkelijk. Bij natuurwetenschappen gaat het om opzichzelfstaande verschijnselen, bijvoorbeeld magnetisme. "Magnetisme is voor iedere onderzoeker een op zichzelf staand verschijnsel, maar smaak staat niet op zichzelf, het is een beleving". Volgens Cramwinckel heb je bij smaak een botsing tussen de wetenschappelijke logica en de interactie met de mens. Deze interactie maakt het juist zo interessant. "Je hoort vaak 'over smaak valt niet te twisten'" zegt Cramwinckel "dit komt omdat het over mensen gaat, het bewustzijn speelt een onmisbare rol".

Cramwinckel benadert smaak dus als een interactief proces, mens en product bepalen samen de uitkomst. Ook de omgeving is belangrijk. Als voorbeeld van deze interactie geeft Cramwinckel overgewicht. Volgens de wetenschap (en dus de logica) is de oplossing heel simpel, minder eten en meer bewegen. Het werkt in de praktijk helaas niet, want simpele logica werkt niet op een onlogische mens.

Dat Cramwinckel geen standaard smaakonderzoeker is blijkt wel uit zijn bijna filosofische benadering van smaak en smaakonderzoek. Geen witte hokjes waarin mensen moeten proeven, dit geeft alleen maar een vals wetenschappelijk tintje. Geen geheimzinnigheid over de ware aard van het onderzoek, gewoon mensen laten proeven terwijl ze weten waar ze op moeten letten. En het belangrijkste: zeg niet dat alle mensen gelijk zijn, en ga er nooit vanuit dat je onderzoek representatief is voor de bevolking, je hebt het over liefhebbers.

Is smaak dan alleen maar subjectief, en hoe trek je dan conclusies uit onderzoek? “Dat je zegt dat je onderzoek niet representatief is voor de bevolking, wil nog niet zeggen dat het voor niemand representatief is” zegt Cramwinckel. In zijn panels zitten alleen maar mensen die echt affiniteit hebben met het product dat wordt geproefd, liefhebbers dus. Volgens Cramwinckel hebben deze liefhebbers wel allemaal hetzelfde idee over wat “lekker” is voor hun favoriete product. En over verschillen in belangrijke kenmerken, zoals zoetheid, stevigheid en knapperigheid, valt niet te twisten. Zolang je dus onthoudt dat je onderzoek gedaan is door liefhebbers voor liefhebbers (een deel van de bevolking dus) kun je heel sterke conclusies trekken uit je onderzoek.

Onderzoekers proberen door statistiek de uitkomsten van onderzoek zo algemeen mogelijk te maken zodat het representatief is voor de hele bevolking. Volgens Cramwinckel heeft statistiek zeker nut. Het zorgt ervoor dat je kunt zeggen of iets een echt verschil is of niet. Het is een hulpmiddel, dus je zult zelf nog wel de betekenis moeten begrijpen. En volgens Cramwinckel is deze betekenis nu net zo belangrijk.

“Alle mensen zijn verschillen in hun smaakbeleving,” vertelt Cramwinckel. Als voorbeeld gebruikt hij de Albert Heijn: “In de supermarkt zie je zo’n 20.000 verschillende producten, terwijl elk gezin ongeveer 200 vaste producten heeft die het continu koopt. Dit geeft al aan dat er veel verschil in smaak zit.” Dat maakt het volgens Cramwinckel ook juist zo leuk om er onderzoek naar te doen. Volgens Cramwinckel leert deze kennis over interacties en de onlogica van mensen en smaak je ook iets over jezelf. Je leert iets over je eigen vooroordelen en je ziet dat je een “eigen werkelijkheid” hebt. Deze kennis is nuttig in smaakonderzoek, maar ook in de rest van je leven, je wordt er toleranter en flexibeler van, zegt Cramwinckel.

Dat Cramwinckel flexibel is blijkt wel uit de manier waarop zijn bedrijf is opgebouwd. Cramwinckel vertelt dat hij werkt in ongeveer periodes van 2 maanden, de tijd van een onderzoek. Wat er na dit onderzoek gebeurd weet hij niet, “ik heb geen idee wat ik over 4 maanden doe, m’n hele agenda is dan leeg”. Dit klinkt misschien vrij redelijk, maar voor een directeur van een bedrijf is dit uniek, zeker voor een bedrijf dat al 20 jaar goed loopt!

Of er dan helemaal geen onderzoek is dat al ver van te voren vast staat? “Jawel” zegt Cramwinckel, “het grote oliebollen onderzoek van het AD staat vast, tenzij ze daar straks bedenken dat ze moeten gaan bezuinigen”.

#### **Opdracht 4 Het proeven en beoordelen van koekjes**

In deze opdracht ga je met je klas een sensorisch onderzoek doorlopen. Je gaat kijken naar 2 verschillende koekjes. Je begint met het bepalen welke eigenschappen het belangrijkste zijn om naar te kijken, je gaat de koekjes beschrijven. Van deze beschrijvingen worden de vier belangrijkste eigenschappen uitgekozen en beoordeeld op een schaal van 1 tot 5. Als laatste ga je kijken welke van de 2 koekjes je het lekkerst vindt, als een soort marktonderzoek. Aan het eind van de opdracht zal de docent uitleggen wat het verschil is tussen de 2 koekjes.

Voor je liggen 2 soorten koekjes. Proef deze koekjes en schrijf 5 smaakelementen (denk bij smaakelementen niet alleen aan zoet, zuur, zout en bitter, maar ook aan textuureigenschappen als knapperig, korrelig, sappig, stevig, taai, romig enz.) van de koekjes op een blaadje.

Noem als iedereen klaar is, de elementen die jij hebt opgeschreven op, zodat de leraar ze op het bord kan schrijven.

Vul de 4 meest genoemde elementen in op onderstaande vragenlijst. Proef de koekjes opnieuw en vul voor elk koekje de vragenlijst in (omcirkel de antwoorden).

*Belangrijk: proef aandachtig en meerdere malen. Proef niet alleen met je mond, maar kijk ook goed naar de koekjes en ruik er aan. Spoel tussen het proeven van koekje 1 en koekje 2 je mond met water en neem een hap van het crackertje om je smaak te neutraliseren.*

*Koekje 1*

Helemaal niet  
(element 1)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 1)

Helemaal niet  
(element 2)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 2)

Helemaal niet  
(element 3)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 3)

Helemaal niet  
(element 4)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 4)

*Koekje 2*

Helemaal niet  
(element 1)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 1)

Helemaal niet  
(element 2)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 2)

Helemaal niet  
(element 3)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 3)

Helemaal niet  
(element 4)

1

2

3

4

5

Heel  
(element 4)

Vul jouw resultaten in, in de onderstaande tabel op het bord door een turfstreepje te zetten bij de waarde die je aan elk element hebt toegekend.

Neem, als de tabel op het bord is ingevuld, de resultaten van de hele klas over in de tabel op de volgende bladzijde.

Proef de koekjes voor de laatste keer en geef aan welke van de 2 koekjes je het lekkerst vindt.

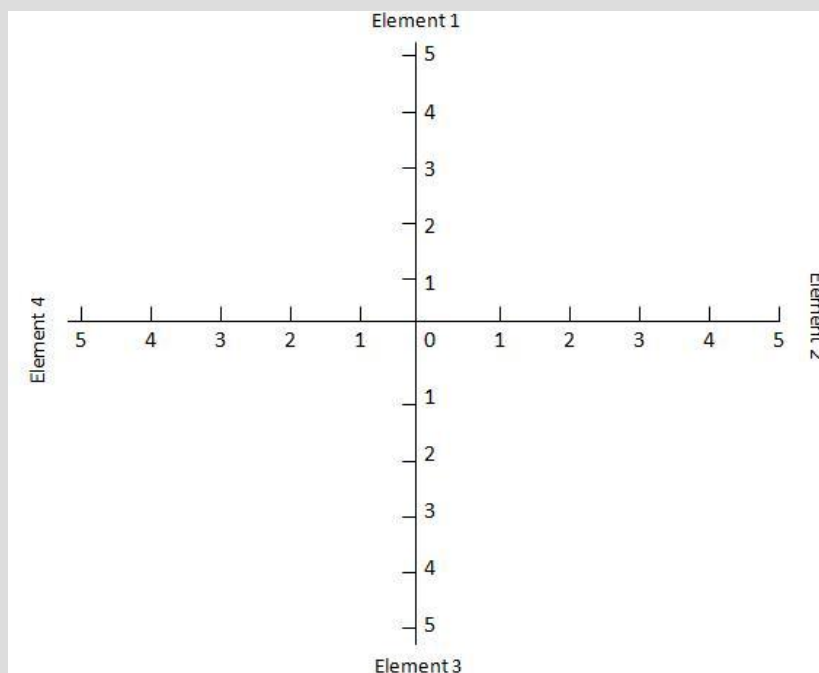
Welk koekje vind je het lekkerst? Turf ook dit op het bord.

Koekje 1

Koekje 2

		Aantal keer 1	Aantal keer 2	Aantal keer 3	Aantal keer 4	Aantal keer 5	Perso- nen in klas	Totaal aantal punten	Ge- mid- delde
Koek1	Element 1 .....	1	2	3	4	5			
	Element 2 .....	1	2	3	4	5			
	Element 3 .....	1	2	3	4	5			
	Element 4 .....	1	2	3	4	5			
Koek2	Element 1 .....	1	2	3	4	5			
	Element 2 .....	1	2	3	4	5			
	Element 3 .....	1	2	3	4	5			
	Element 4 .....	1	2	3	4	5			

Teken de gemiddelde waarderingen per koekje die voor elk element gegeven zijn in de grafiek en verbindt de waarderingen per koekje met elkaar. Gebruik voor beide koekjes een andere kleur en maak een legenda bij de grafiek waarin je aangeeft welke kleur welk koekje voorstelt. Teken met nog 2 verschillende kleuren jouw eigen waarderingen in en geef dit ook aan in de legenda. Komen jouw waarderingen en die van de hele klas ongeveer overeen? Als dit zo is ben je een goede proever!



Voordat je aan de vragen begint zal de docent vertellen wat het verschil was tussen de koekjes.

Vragen:

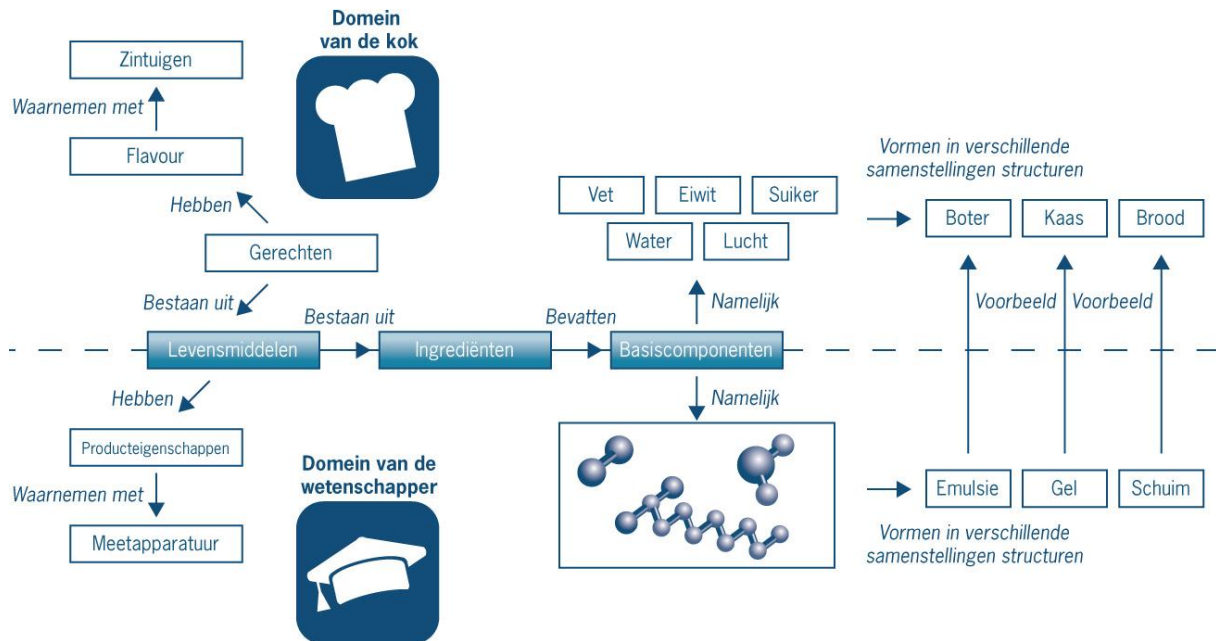
1. Wat valt je op aan de verschillen in beoordeling van de smaakelementen tussen de 2 soorten koekjes? Bediscussieer dit aan de hand van wat je weet over de eigenschappen van de koekjes.
2. Waarom denk je dat het nodig was om de koekjes aandachtig te proeven, i.p.v. meteen door te slikken?
3. Denk je dat je na deze test kan beoordelen welke van de 2 soorten koekjes de fabrikant het beste op de markt kan brengen? Leg uit waarom wel/niet.
4. Geef aan welke van de smaakelementen zoet, zuur zout en bitter bij koekjes een rol zullen spelen en welke niet. Geef voor alle smaakelementen ten minste 3 producten die bij die elementen een rol zullen spelen.

Je zult aan de hand van deze opdracht wel gezien hebben dat het niet makkelijk is om een smaakonderzoek zo op te zetten dat de resultaten makkelijk toe te passen zijn op een grote groep mensen. Er wordt daarom ook nog steeds veel onderzoek gedaan naar hoe smaak werkt, en hoe deze onderzoeken het best opgezet kunnen worden.

Je vraagt je misschien ook af wat het nut van dit soort onderzoek kan zijn voor koks. Een heel mooi voorbeeld hiervan is het Belgische systeem van Food Pairing. Een aantal Belgische onderzoekers kijkt op basis van structuur, maar ook op basis van dit soort onderzoek naar welke smaken goed bij elkaar passen. Hier kunnen heel verrassende resultaten uit komen, die weer door koks gebruikt kunnen worden om vernieuwende gerechten met vreemde (maar lekkere!) combinaties te maken.



## 2.3 Van basiscomponenten naar structuren



Alle levensmiddelen bestaan doorgaans uit vijf componenten:

- water
- koolhydraten
- vet
- eiwit
- lucht

Je denkt misschien dat een ei voornamelijk uit eiwit bestaat. Dat is niet het geval. Een ei bestaat voor 75% uit water en voor slechts 10% uit eiwit. Boter lijkt alleen uit vet te bestaan, maar boter bevat ook water (ruim 10%) en daarnaast nog eiwit en koolhydraten.

De vijf componenten zijn in elk levensmiddel op een andere manier geordend: **de structuur**. De ordening ontstaat doordat de vijf componenten niet goed oplosbaar zijn in elkaar. De structuren zijn te vinden op microscopische lengteschaal, tussen 100 nanometer (1 nanometer is  $10^{-9}$  m) en millimeters.

De structuur van brood is zichtbaar met het blote oog: je ziet de gaten. Wanneer je naar een glas melk kijkt, lijkt melk geen structuur te hebben. Maar onder de microscoop bekeken blijkt dat er wel structuur aanwezig is. Er zijn vetbolletjes te zien die in water drijven. De structuur van melk is zichtbaar op microschaal (1 micrometer =  $10^{-6}$  m). Levensmiddelen hebben op microschaal structuren die uiteindelijk producteigenschappen zoals dikte, smaak en kleur van het product bepalen.

### Opgave 10 De basiscomponenten in levensmiddelen en gerechten

Bereken voor het onderstaande moleculair gastronomische gerecht de hoeveelheid eiwit, water, vet en koolhydraten in g per 100 g. Enkele aanwijzingen:

Ga uit van de hoeveelheid op je bord.

Verwaarloos het verdampingseffect tijdens het inkoken.

De schillen en de kontjes vormen ongeveer 20% van het gewicht van de asperges.

De gegevens van de ingrediënten kun je vinden in BINAS tabel 82A.

### Recept: Asperge/witte chocolade-ijs

Normaal gesproken wordt ijs in een ijsmachine gemaakt en bevroren. Dit asperge-ijs wordt bevroren met vloeibare stikstof. Vloeibare stikstof heeft een temperatuur van  $-196^{\circ}\text{C}$ . Wanneer vloeibare stikstof over een gerecht wordt gegoten bevriest het erg snel. Hierdoor bevriest het water op alle plaatsen tegelijk, en niet eerst aan de buitenkant en langzaam aan steeds meer naar binnen. Door dit tegelijk bevroren worden de ijskristallen veel kleiner dan bij 'normaal' ijs. Het resultaat is veel romiger ijs.

#### Ingrediënten:

De schillen en de kontjes van 1 kilo asperges  
500 mL room (slagroom)  
500 mL volle melk  
150 gram witte chocolade



Was het asperge-afval goed, laat het uitlekken en breng het in een steelpan aan de kook met de room en de melk. Zodra het roommengsel kookt het vuur laag zetten en de aspergeschillen 30 minuten laten trekken. Laat de schillen daarna in de room afkoelen en giet het mengsel door een zeef. Vang het kookvocht op en druk met een pollepel zoveel mogelijk vocht uit de schillen. Breng de aspergeroom in een pan opnieuw aan de kook en laat de room inkoken tot er 5 dL van over is. Snijd de witte chocolade in kleine stukjes. Wacht tot de aspergeroom lauw is geworden en smelt er dan de chocolade doorheen. Laat het mengsel afkoelen tot kamertemperatuur en giet er al roerende ongeveer een halve liter stikstof bij. Door het stikstof is er nu ijs gevormd.

Zoals je in het recept kunt lezen zorgt de vloeibare stikstof voor een andere structuur van het ijs dan normaal. Hier is dus een moleculair gastronomisch vernieuwend principe (het gebruik van vloeibare stikstof) toegepast op een bestaand gerecht. Dit is iets waar het in de moleculaire gastronomie om draait, kennis uit de chemie (in dit geval de kennis dat sneller bevriezen zorgt voor kleinere ijskristallen) gebruiken om recepten uit de keuken te verbeteren. In hoofdstuk drie en vier komt dit nog meer aan bod, want daar ga je kijken naar twee belangrijke structuren en hoe deze in elkaar zitten.

Gerechten die dezelfde hoeveelheden eiwitten, vetten, koolhydraten en water bevatten kunnen toch totaal andere producteigenschappen hebben door hun microstructuur. Een goed voorbeeld van twee producten die dezelfde samenstelling hebben, maar toch totaal verschillende producteigenschappen, is melk en yoghurt. Yoghurt is namelijk dik en zuur en melk is zoet en veel dunner dan yoghurt. Toch bestaan (volle) melk en (volle) yoghurt allebei voor 87% uit water en bevatten ze allebei ongeveer 3.5% eiwit, 3.5% vet, 5% lactose en 0.7% mineralen.

De oorzaak van het verschil vindt je in de **microstructuur**. Microstructuur is de structuur in een levensmiddel op de **microschaal**, de microschaal omvat deeltjes met een grootte tussen 0.001 en 10 micrometer.

In melk bevindt het vet zich in de vorm van vetbolletjes 'opgelost' in het **plasma**, het vloeibare deel van de melk. De vetbollen in melk variëren in grootte van 0.1 tot 10 micrometer. Elke vetbol is bedekt met een dubbele laag (membraan), die bestaat uit eiwitten, fosfolipiden, vitamine A en cholesterol. Dit membraan is ongeveer 10 nanometer dik (1 nanometer is  $10^{-9}\text{ m}$ ).

De eiwitten in de melk zijn te onderscheiden in een caseïne fractie en een wei-eiwit-fractie. De caseïne is aanwezig in de vorm van micellen (zie kaderstuk). Een micel is een kluwen van caseïne-eiwit met een diameter van ongeveer 0.1 micrometer. De micel bevat vier verschillende soorten eiwitten en daarnaast ook nog allerlei andere stoffen, zoals calcium.

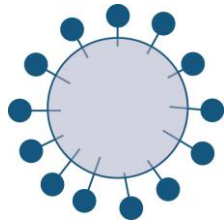
Voordat melk verkocht wordt in de winkel, wordt de melk gehomogeniseerd. Homogeniseren is een proces waardoor de vetdruppels in de melk kleiner gemaakt worden, zodat er een homogeen mengsel ontstaat. Homogeniseren voorkomt de **oproming** van de vetfractie in de melk.

Oproming houdt in dat de vetdruppels zich door de melk naar boven verplaatsen, waardoor er een laag room op de melk komt drijven. De vetdruppels hebben namelijk een lagere dichtheid dan het water.

Net zoals olie op water gaat drijven, gaan de vetdruppels boven op de waterfase van de melk een laag vet vormen.

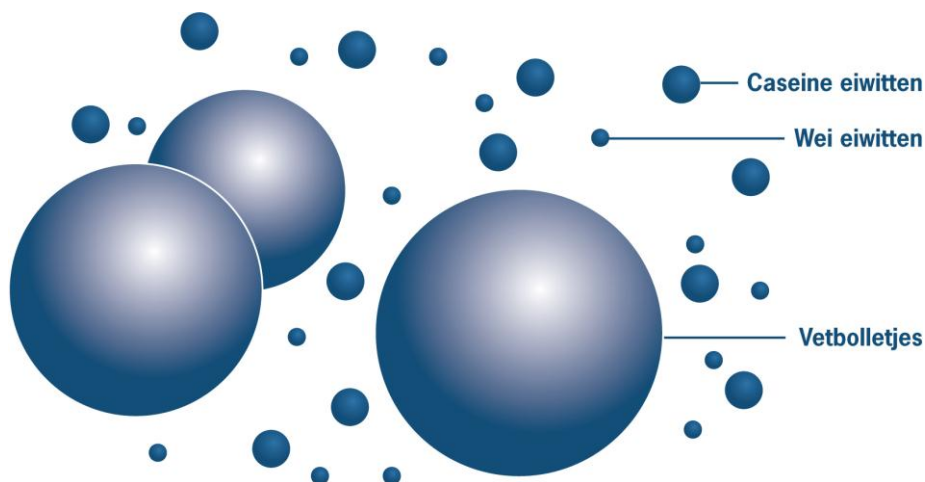
#### **De micel**

Ook in zeepoplossingen komen micellen voor. Zeepen zijn stearaatzouten die bestaan uit een  $\text{Na}^+$ - of een  $\text{K}^+$ -ion met een heel lange koolwaterstofstaart. Wanneer je zeep oplost in water, vormen deze zouten bolletjes, met het geladen deel van het zeepmolecuul aan de buitenkant (de  $\text{Na}$ - of  $\text{K}$ -ionen: de donkerblauwe rondjes in de figuur). Dit deel van het molecuul is hydrofiel. De koolwaterstofstaarten zitten aan de binnenkant van de bolletjes. Zij zijn 'watervrezend', ook wel hydrofoob genoemd. Figuur 8 is een afbeelding van een luchtbel in zeepsop. De continue fase in zeepsop is het water, met daarin de opgeloste zeep. Een dergelijke structuur - bolletjes van moleculen in water met het hydrofobe deel van de moleculen binnenin en het hydrofiel deel aan de buitenkant - noemen we een micel.



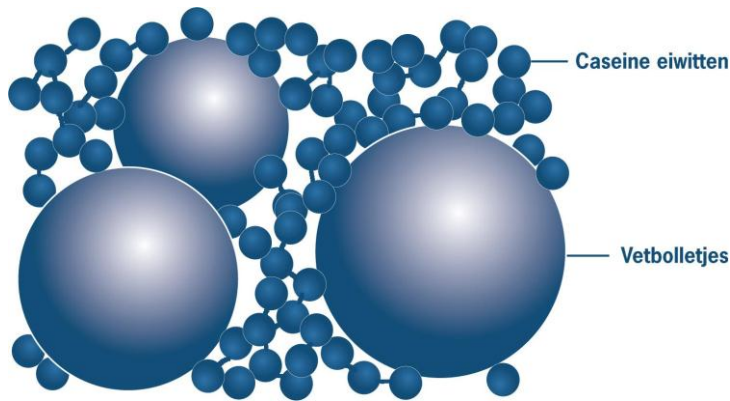
Figuur 8 Luchtbel in zeepsop

Figuur 9 laat de microstructuur van melk zien; de grote bolletjes stellen de vetdeeltjes voor, de kleinere de caseïne-micellen.



Figuur 9 Microstructuur van melk

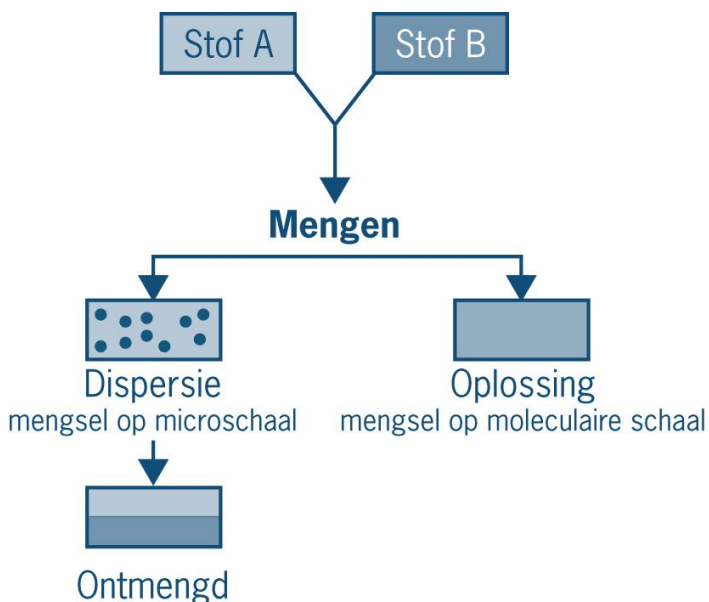
Yoghurt heeft een lagere pH dan melk: de pH van yoghurt is ongeveer 4.3 en de pH van melk 6.8. De lage pH van yoghurt wordt veroorzaakt door fermentatie met melkzuurbacteriën. De lage pH maakt dat de smaak van yoghurt veel zuurder is dan die van melk. Een ander gevolg van de lage pH is dat de caseïne-eiwitten tot een netwerk samenklonteren. De vetbolletjes worden opgenomen in dit netwerk van eiwitten. Deze clustering van eiwitten en vetbolletjes zorgt ervoor dat yoghurt veel dikker is dan melk. De microstructuur van yoghurt is afgebeeld in Figuur 11.



Figuur 10 Microstructuur van yoghurt

Hervé This, één van de grondleggers van de moleculaire gastronomie, merkte op dat alle gerechten uit **dispersies** bestaan. Dispersies bestaan uit een opgeloste fase (disperse fase) en een continue fase (fase waar de opgeloste fase in zit). Is een dispersie dus een oplossing? Nee, maar wat is het verschil tussen een dispersie en een oplossing?

In een dispersie zijn de basiscomponenten op microschaal met elkaar gemengd en in een oplossing zijn de basiscomponenten op moleculaire schaal met elkaar gemengd (Figuur 12). Een voorbeeld van een oplossing is een kopje thee met suiker. De suiker is op moleculaire schaal gemengd met het water: de suikermoleculen zijn volledig opgelost in het water. Omdat ze zo klein zijn is het niet mogelijk om een structuur te zien, ook niet met behulp van een microscoop. Bij dispersies zoals yoghurt en melk is de structuur op microscopisch niveau wel zichtbaar, zoals je eerder in deze paragraaf hebt kunnen zien. De vetdeeltjes zijn niet op moleculaire schaal opgelost in het water, maar vormen structuren op microschaal. Eerder in deze paragraaf heb je gelezen over de oproming van melk. Oproming van melk is een voorbeeld van ontmenging (Figuur 12).



Figuur 11 Oplossing en dispersie

Dispersies zijn dus systemen die op microschaal gemengd zijn. Ze worden ook wel colloïdale structuren genoemd. Een **colloïd** is een deeltje dat groter is dan een molecuul, maar te klein om met het blote oog gezien te kunnen worden. De grootte van de deeltjes ligt tussen 0.001 en 10 micrometer. De vetdeeltjes in melk, die 5 micrometer zijn, worden bijvoorbeeld tot de colloïden gerekend. Ook de caseïne-micellen van 0.1 micrometer zijn colloïden.

Een overzicht van de verschillende structuren op microschaal is te vinden in Figuur 12. Je kunt onderscheid maken tussen 9 verschillende dispersies, omdat zowel de disperse fase (de 'opgeloste stof') als de continue fase (het 'oplosmiddel') in drie verschillende fasen kan voorkomen: als gas, als vloeistof of in vaste vorm.

		Disperse fase (opgeloste stof)		
		Gas	Vloeibaar	Vast
Continue fase (oplosmiddel)	Gas	[geen] alle gassen zijn goed oplosbaar in elkaar	vloeibare aerosol <i>mist</i>	vaste aerosol <i>rook</i>
	Vloeibaar	schuim <i>bierschuim</i>	emulsie <i>mayonaise, melk</i>	suspensie <i>zetmeeloplossing</i>
	Vast	vast schuim <i>brood</i>	vaste emulsie (gel) <i>kaas, gelatine</i>	vaste stof <i>legeringen (brons)</i>

Figuur 12 Soorten dispersies

Met behulp van deze tabel kun je alle dispersies indelen in een categorie. De categorieën waar de meeste levensmiddelen onder vallen zijn rood omrand in het schema: de schuimen (vaste en vloeibare) en de emulsies (vaste en vloeibare). In de hoofdstukken 3 en 4 wordt dieper ingegaan op schuimen en emulsies.



Figuur 13 Links bierschuim (een vloeibaar schuim); rechts brood (een vast schuim)

#### Opgave 11

- We mengen een zoutoplossing met zeep en olie. Wat is de opgeloste stof of disperse fase en wat is het oplosmiddel of de continue fase? Geef je antwoord in vorm van een tekening.
- Wat is bij bierschuim de disperse fase en waaruit bestaat de continue fase? En bij brood? Doe hetzelfde voor de volgende producten: Mayonaise, melk, ijs en boter.

#### Opgave 12

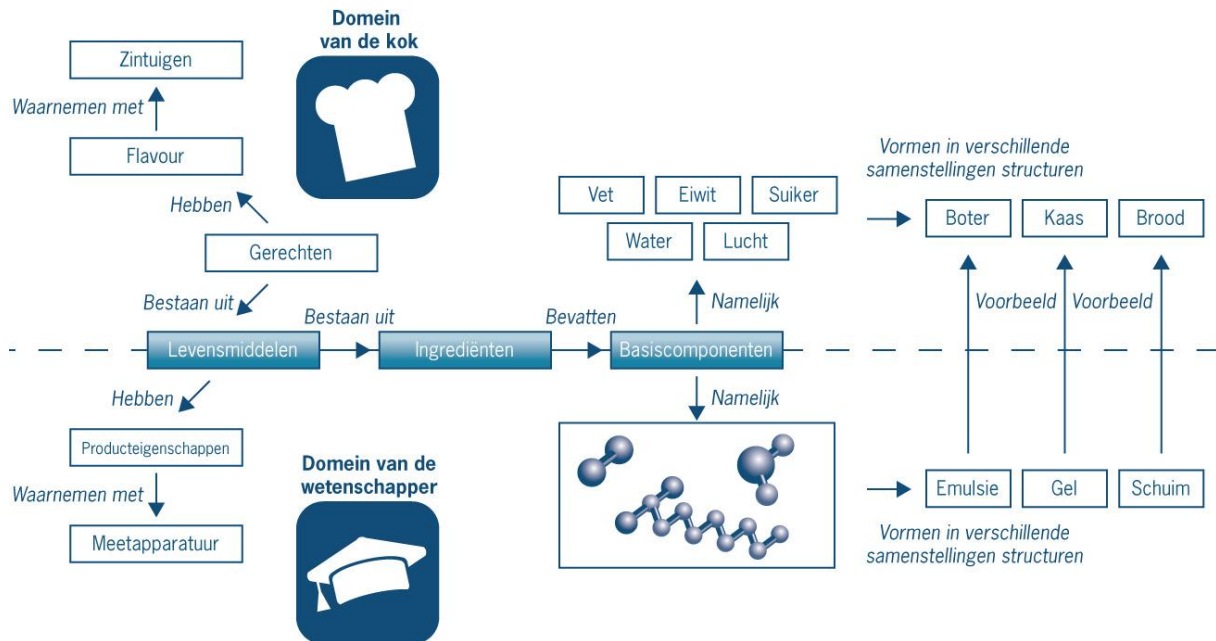
Deze opgave gaat over de producten yoghurt en cake. Beantwoord de vragen voor elk van beide producten afzonderlijk.

- Welke van de 5 basiscomponenten bevat het product en in welke hoeveelheid (g/100g)? Voor het beantwoorden van deze vraag mag je gebruik maken van BINAS tabel 82A.
- Geef door middel van een structuurtekening aan waar de vetdruppels in yoghurt zitten en waar de luchtbellen in cake.
- Is deze structuurtekening op microschaal of op moleculaire schaal?
- Geef aan in welke fase welke componenten zitten. Wat is de opgeloste fase en wat is de continue fase?
- Onder welke categorie uit het schema van figuur 13 valt yoghurt? En cake?



## 2.4 Van ingrediënten naar basiscomponenten

Alle levensmiddelen bestaan uit vijf componenten: water, koolhydraten, eiwitten, vetten en lucht. De eigenschappen van deze componenten en hun onderlinge interacties bepalen de producteigenschappen van het levensmiddel.



### Opgave 13 Moleculen en structuren

Moleculen en structuren zijn van verschillende grootteklassen. Een vetbolletje in de melk heeft een diameter van 5 micrometer. Een vetmolecuul is echter veel kleiner.

1. Reken uit wat het volume van dit vetbolletje is.
2. Reken uit hoeveel mol vetzuren er in dit vetbolletje zitten. Voor deze berekening nemen we aan dat melkvet alleen uit elaidinezuur bestaat. Elaidinezuur heeft de volgende eigenschappen:
  - a. Moleculair gewicht: 282,45 g/mol
  - b. Dichtheid: 850 kg/m<sup>3</sup>
3. Reken (met behulp van de constante van Avogadro uit tabel 7 van BINAS) uit hoeveel moleculen er in dit vetbolletje zitten.
4. Wat kun je concluderen over het verschil in grootte als je het vetbolletje met het molecuul elaidinezuur vergelijkt?

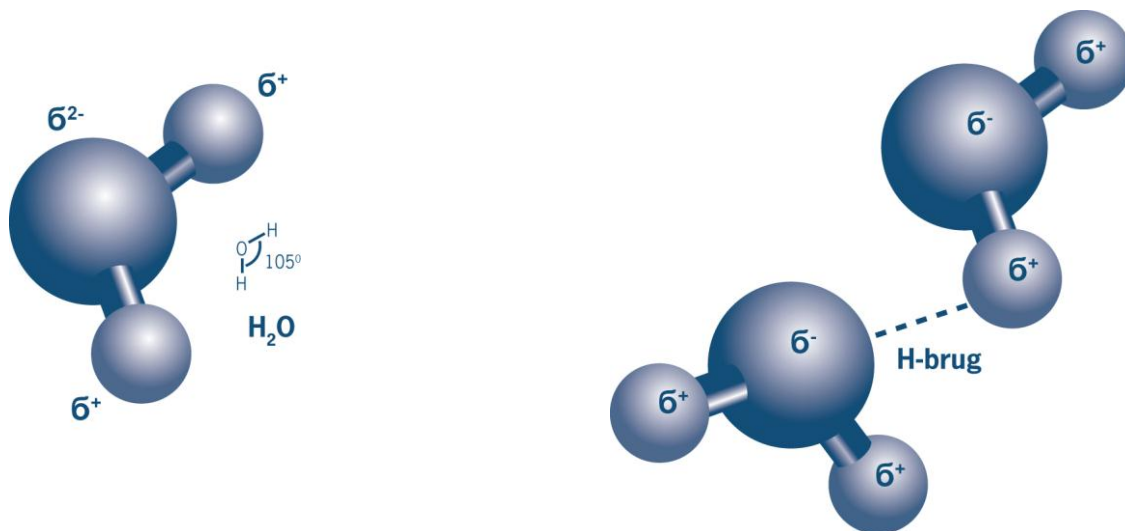
De interacties tussen de componenten water en vet zullen uitgebreid behandeld worden in hoofdstuk 3, dat over emulsies gaat. De interacties tussen de componenten lucht, eiwitten en koolhydraten zullen behandeld worden in hoofdstuk 4 over schuimen.

Om meer begrip te krijgen van de basiscomponenten zullen in deze paragraaf enkele belangrijke eigenschappen van water, koolhydraten, eiwitten en vetten behandeld worden.

### 2.4.1 Water

Water lijkt zo gewoon maar is toch zo bepalend in onze voedselbereiding. Water bestaat uit kleine moleculen met een sterke onderlinge aantrekking. Twee waterstofatomen en een zuurstofatoom ( $\text{H}_2\text{O}$ ) vormen samen een molecuul water. De waterstofatomen zitten met atoombindingen (elektronenparen) vast aan het zuurstofatoom. Het zuurstofatoom trekt sterker aan de elektronen uit de atoombinding (elektronegativiteit) dan het waterstofatoom.

De vorm van het molecuul is niet lineair maar hoekig. Dit komt omdat de centra van + en - lading niet samenvallen waardoor een dipool ontstaat, dit betekent dat de ene kant van het molecuul licht positief geladen is, en de andere kant licht negatief. (Figuur 15).



Figuur 14 Dipool bij water en waterstofbruggen

Het verschil in elektronegativiteit tussen O en H is extreem groot. Hierdoor wordt het H-atoom van het ene watermolecuul aangetrokken door het O-atoom van een ander watermolecuul. Er ontstaan zogenaamde 'waterstofbruggen' tussen de watermoleculen, waardoor ze bij elkaar clusteren.

Door de waterstofbruggen hebben de watermoleculen een bijzonder sterke binding met elkaar.

#### **Waterstofbruggen**

*De watermoleculen zijn door waterstofbruggen met elkaar verbonden en zitten in clusters (molecuulcomplexen) bij elkaar. Door de waterstofbruggen hebben de watermoleculen een bijzonder sterke binding met elkaar. Door deze sterke binding:*

- *heeft water een hoog smeltpunt en een hoog kookpunt. Zonder waterstofbruggen zou het smeltpunt bij  $-100^\circ\text{C}$  liggen en het kookpunt bij  $-80^\circ\text{C}$*
- *heeft water een hoge latente verdampingswarmte (= de hoeveelheid energie die geabsorbeerd wordt zonder dat de temperatuur stijgt). Deze eigenschap gebruikt ons lichaam om af te koelen door te zweten. Ook zorgt dit er mede voor dat ons waterrijke land een gematigd klimaat heeft. (In de woestijn is de temperatuur 's nachts  $-10^\circ\text{C}$  en overdag  $50^\circ\text{C}$ ).*
- *drijft ijs als enige vaste stof op zijn vloeistof. Door de optimale waterstofbrug-binding in de ijskristallen ontstaan er holtes.*

Voorbeelden van andere groepen die ook waterstofbruggen kunnen vormen zijn de OH-groep van ethanol (alcohol) en de NH<sub>2</sub>-groep die aanwezig is in aminozuren. Bij de –NH<sub>2</sub> groep is een verschil in elektronegativiteit tussen het H<sup>δ+</sup> atoom en het N<sup>δ-</sup> atoom. Naast deze twee groepen kunnen ook C=O, CO (met drie dubbele binding), HF groepen waterstofbruggen vormen met een waterstofatoom.

Moleculen waarin voldoende van deze groepen voorkomen, zijn **hydrofiel**: ze lossen makkelijk op in water. Moleculen zoals vetten hebben weinig van deze groepen; ze zijn daardoor **hydrofoob**: ze lossen nauwelijks op in water. Dus: Stoffen die gemakkelijk waterstofbruggen vormen, lossen goed op in water.

### 2.4.2 Koolhydraten

Koolhydraten zijn verbindingen bestaande uit koolstof-, waterstof- en zuurstofatomen.

De groep koolhydraten omvat een groot aantal verschillende soorten moleculen. Al deze moleculen hebben in ieder geval één overeenkomst: ze hebben allemaal meerdere OH-groepen (hydroxy-groepen).

Daarnaast bevatten ze een aldehyde ( $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ ) of keton ( $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$ ) groep. Koolhydraten worden daarom ook wel polyhydroxyaldehyden of polyhydroxyketonen genoemd.

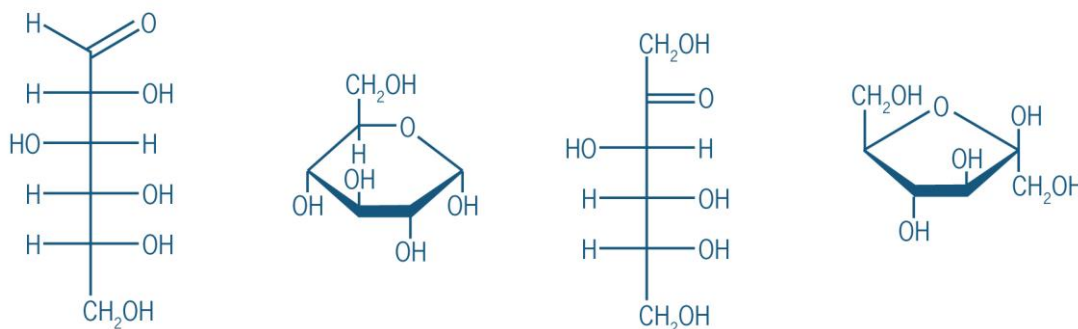
De koolhydraten worden onderverdeeld in een aantal groepen

1. Monosachariden
2. Disachariden
3. Oligosachariden
4. Polysachariden

De verschillende groepen suikers worden hieronder iets uitgebreider behandeld.

#### Mono- en disachariden

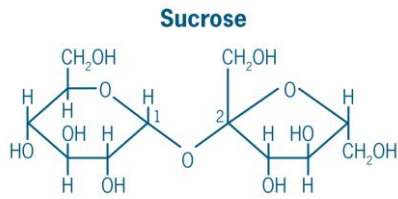
Monosacchariden zijn de kleinste en meest eenvoudige moleculen onder de koolhydraten. De monosacchariden die in levensmiddelen het meest voorkomen zijn glucose en fructose (*Figuur 16*). Monosacchariden komen in twee structuren voor in de natuur, namelijk in een lineaire structuur (een rechte keten) en in de vorm van een ring. Wanneer een suiker opgelost is, kan hij tussen deze twee vormen heen en weer switchen (er is dus een evenwicht).



*Figuur 15 Glucose en fructose*

Wanneer fructose en glucose aan elkaar gekoppeld worden, ontstaat een disacharide, namelijk de disacharide sacharose (*Figuur 17*). Sacharose, ook wel sucrose genoemd, is het product dat wij kennen als (tafel)suiker. Deze suiker wordt gewonnen uit suikerbieten of suikerriet. Sacharose kan ook weer gesplitst worden in de twee monosachariden glucose en fructose.





Figuur 16 De structuur van sacharose

Een andere bekende disaccharide is lactose. Lactose komt voor in melk en bestaat uit de monosacchariden glucose en galactose. Lactose is de enige disaccharide van dierlijke oorsprong die er bestaat. Alle andere disacchariden worden door planten gemaakt. In Tabel 4 is een overzicht gegeven van enkele veel voorkomende disacchariden.

Tabel 4 Disacchariden

Suiker	Bron	Monosacchariden
Sacharose	Riet, bieten,	Glucose en fructose
Lactose	Melk	Glucose en galactose
Maltose	Graan en honing	Glucose en glucose
Cellobiose	Katoen, jute, papier	Glucose en glucose

#### Opgave 14 Sacharose (uit: **Chemie Aktueel** jaargang 19, nr 57)

- Leg uit hoe het komt dat sacharose oplosbaar is in water. Is het ook goed oplosbaar in vet? Leg uit waarom wel of niet.
- Lees nu bron 3.
- Waarom noemt de fabrikant "Splenda" een natuurproduct en beweren de suikerboeren dat het een chemisch product is?
  - 'gemaakt van suiker, dus smaakt als suiker'. Klopt deze uitspraak? Licht kort toe.
  - Neem de structuurformule van sacharose (uit BINAS) over en geef daarin aan welke hydroxylgroepen vervangen zijn.
  - Beredeneer of sacharose nog zoet smaakt als alle OH-groepen vervangen zijn door Cl.

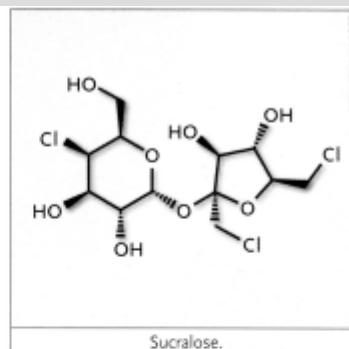
#### Bron 3

**C2W, 15 september 2007**

##### HET ZOET KAN HET ZUUR KRIJGEN

De Sugar Association, een club van Amerikaanse suikerboeren, beschuldigt Johnson & Johnson van volksverlakkerij. De zoetstof sucralose (merknaam Splenda, 'gemaakt van suiker') zou worden verkocht als natuurproduct terwijl het een chemisch product is.

Sucralose is sacharose waarin drie hydroxylgroepen zijn vervangen door chloor. In het lab lukt dat op diverse manieren, maar Johnson & Johnsons toeleverancier Tate & Lyle is de enige die weet hoe het op industriële schaal moet. Details over proces en grondstoffen worden angstvallig geheimgehouden. Het gerucht gaat echter dat aan de chlorering het beruchte gifgas fosgeen te pas komt. En dat 'gemaakt van suiker' hoeft ook niet te kloppen, want er bestaan sucralose-octrooien die het zonder doen. Om duidelijkheid te scheppen willen de suikerboeren video-opnames maken in de sucralosefabriek in Alabama. Een rechter heeft die eis voorlopig afgewezen. Wordt vervolgd.



## Oligosachariden

Dit zijn meervoudige sachariden (3, 4 of 5 aan elkaar geketende monosachariden). Oligosacchariden zitten voornamelijk in zaden. Zij zijn een vorm van opgeslagen energie, die bij het kiemen van het zaad gebruikt kan worden. Deze sachariden zijn verder niet interessant vanuit het oogpunt van de moleculaire gastronomie. Uit ons voedsel kunnen we in de dunne darm alleen enkelvoudige sachariden (monosachariden) opnemen in het bloed. Omdat onze spijsvertering geen enzymen maakt om oligosachariden af te breken tot monosachariden, passeren oligosachariden het darmstelsel onverteerd.

## Polysachariden

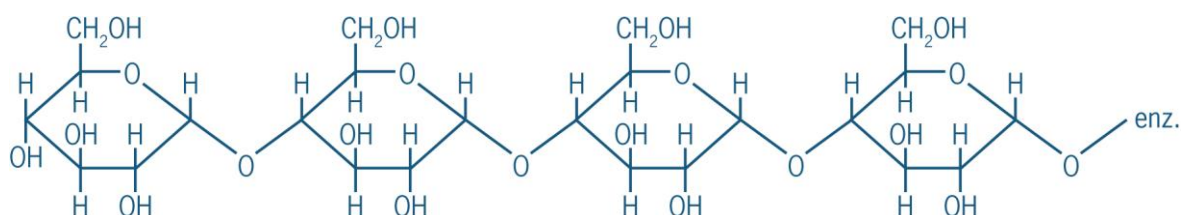
Dit zijn macromoleculen waarin 20 tot 5000 monosachariden aan elkaar gekoppeld zijn. Enkele bekende polysachariden in de moleculaire keuken zijn zetmeel, cellulose, pectine, dextraan en xanthaan.

Ook polysachariden hebben meerdere OH-groepen. Hierdoor kunnen ze interacties aangaan met water door middel van waterstofbruggen. Maar bij sommige polysachariden is de aantrekking tussen de ketens onderling zo groot (ook door waterstofbruggen) dat ze niet oplossen in water. Omdat polysachariden groot zijn en niet geheel oplossen in water, kunnen ze tot de colloïden gerekend worden. Ze spelen een belangrijke rol in disperse systemen, die in paragraaf 2.3 behandeld zijn. De polysachariden kunnen op meerdere manieren in categorieën ingedeeld worden. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen lineaire en vertakte polysachariden. Bij de lineaire zitten alle monosachariden in één lange keten. De vertakte polysachariden bestaan ook uit lange ketens van monosachariden, maar zij hebben ook nog zijketens die eveneens bestaan uit (ketens van) monosachariden.

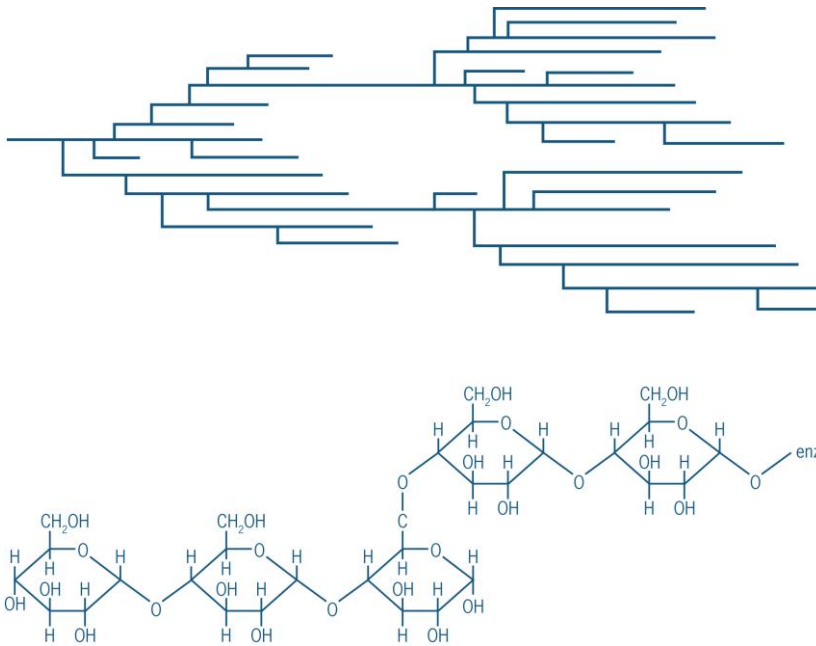
Het tweede onderscheid tussen de polysacchariden kan gemaakt worden op basis van het aantal soorten monosachariden in de keten. Wanneer een polysacharide bestaat uit slechts één soort monosacharide wordt het een homoglucaan genoemd. Wanneer er sprake is van meer dan één soort monosacharide, bijvoorbeeld de combinatie van glucose en fructose, spreek je van een heteroglucaan. De twee categorieën (lineair/vertakt en homo/heteroglucaan) waar polysachariden in onderverdeeld kunnen worden, zullen aan de hand van zetmeel en dextraan verder worden uitgewerkt.

### Voorbeeld 1: Zetmeel

Zetmeel is een van de meest bekende polysachariden. Het komt voor in granen, wortels, knollen en groenten. Het is in de vorm van korrels aanwezig in de plantencellen. De zetmeelkorrels zijn een vorm van energieopslag voor de betreffende plant. Zetmeel is niet één polysacharide, maar het bestaat uit twee verschillende polysachariden, namelijk amylose en amylopectine (Figuur 18 en Figuur 19). Het zijn homoglucaanen, want de ketens van beide moleculen zijn opgebouwd uit alleen maar glucosemoleculen. Het verschil is dat amylose een lineair molecuul is, terwijl amylopectine vertakt is. Het bestaat uit 200 tot 200.000 glucosemoleculen.



Figuur 17 Amylose



Figuur 18 Amylopectine

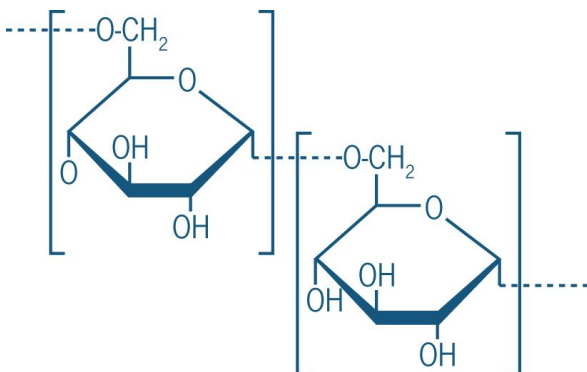
Producten waarin zetmeel wordt toegepast zijn onder andere pudding, snoepjes, sauzen, dressings en brood. Een belangrijke eigenschap van zetmeel is dat het producten kan verdikken, waardoor ze een beter mondgevoel geven. Daarom wordt het ook wel een verdikkingsmiddel genoemd. Zetmeel kan ook een soort netwerk vormen, waardoor de structuur van een product langer stabiel blijft, zodat bijvoorbeeld een pudding niet in elkaar zakt.

#### Opgave 15

Leg uit of de eigenschap van zetmeel om vloeibare producten te verdikken komt door het hechten van water aan het zetmeel of juist door de interactie van de zetmeelmoleculen met elkaar.

#### Voorbeeld 2: Dextraan

Dextraan is een vertakt polysaccharide (Figuur 20). Het wordt industrieel geproduceerd door melkzuurbacteriën in bioreactoren. Dextraan bestaat uit repeterende eenheden glucose met ook glucose-eenheden als vertakkingen (in het plaatje zie je 2 eenheden glucose, de stippelijntjes geven aan waar een ander glucose molecuul aan kan zitten), het is een homoglucaan. Dextraan wordt voornamelijk gebruikt als verdikkingsmiddel voor emulsies.



Figuur 19 Dextraan

### 2.4.3 Eiwitten

Eiwitten zitten in alle cellen van alle organismen. Sommige zijn bouwstoffen, andere reguleren bepaalde processen.

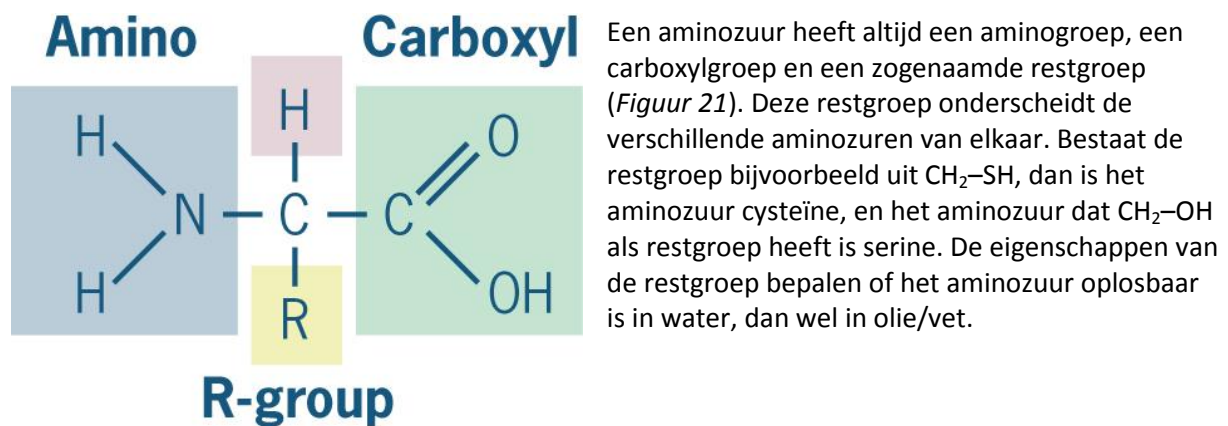
Gebaseerd op de grootte van het molecuul kun je een onderscheid maken tussen:

1. Amino-zuren
2. Peptiden
3. Eiwitten

Amino-zuren zijn de kleinste eenheden. Zij zijn de bouwstenen van de eiwitten. Peptiden zijn ketens van enkele amino-zuren lang. De grens tussen peptiden en eiwitten is niet erg scherp. Als richtlijn kun je aanhouden dat een peptide maximaal 50 amino-zuren lang is.

#### Amino-zuren

Amino-zuren zijn de bouwstenen van eiwitten. Amino-zuren hebben een zure (carboxyl-) en een basische (amino-) kant en heten daarom *amfolyt*. In de natuur bestaan meer dan 200 soorten amino-zuren. Eiwitten zijn echter uit maar 20 verschillende soorten amino-zuren opgebouwd. (BINAS tabel 67C)



Figuur 20 Structuur van een amino-zuur

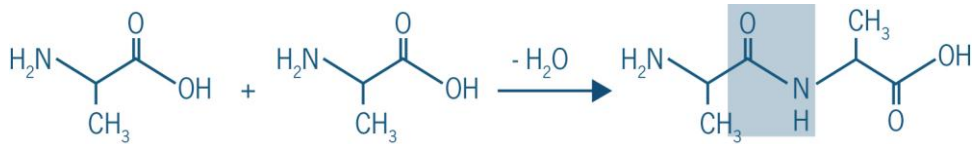
#### Opgave 16 Amino-zuren in ei

Een ei bestaat voor 75% uit water, maar het bevat natuurlijk ook veel eiwitten. Het wit van het ei bestaat voornamelijk uit water en het eigeel voornamelijk uit vet. Bedenk welke amino-zuren uit de tabel in het wit van het ei zullen zitten en welke in het eigeel. Maak bij het beantwoorden van deze vraag gebruik van BINAS.

Amino-zuur	Ei-wit/Eigeel
Serine	
Glycine	
Leucine	
Threonine	
Glutamine	
Valine	

## Peptide

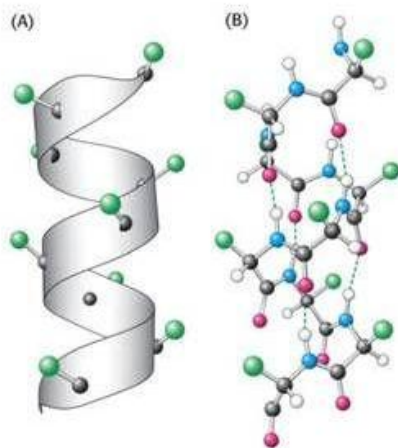
Een peptide is een keten van een aantal aan elkaar gekoppelde aminozuren. Peptiden kunnen vergeleken worden met de disacchariden en de oligosacchariden onder de koolhydraten. Twee aminozuren zijn aan elkaar gekoppeld door een binding tussen de COOH-groep van het ene aminozuur en de NH<sub>2</sub>-groep van het andere aminozuur. Deze binding wordt de peptidebinding genoemd (Figuur 21).



Figuur 21 Peptidebinding tussen twee aminozuren

## Eiwitten

In een eiwit zitten de aminozuren in een lange keten aan elkaar. De restgroepen van de aminozuren steken uit de keten naar buiten. De volgorde van de aminozuren in de keten wordt de primaire structuur genoemd. Deze keten kan zich vormen tot een spiraalstructuur. Deze spiraalstructuur heet de secundaire structuur van een eiwitmolecuul. Deze spiraalstructuur komt tot stand doordat telkens om de vier aminozuren een waterstofbrug ontstaat tussen de C=O en de N-H van de tegenover elkaar liggende aminozuren. Dat deze ruimtelijke zigzagstructuur ontstaat, komt omdat de peptidebinding niet vrij draaibaar is.



In Figuur 23 is de spiraalvorm van een eiwit te zien. In figuur A is de spiraal met restgroepen (groen) te zien. Figuur B geeft de spiraal weer met alle atoomgroepen.

Een perfecte spiraal vind je bij eiwitten die moeten zorgen voor stevigheid. Deze krachtige vezels zijn te vinden in: huid, haar, vacht, nagels en hoeven. Deze vezels zorgen ook voor de stevigheid van bijvoorbeeld biefstuk.

Afhankelijk van de zijgroepen (restgroepen) van de aminozuren vouwt de spiraal zich op tot de tertiaire structuur.

Figuur 22 eiwit: secundaire structuur

Er ontstaan op verschillende plaatsen verschillende soorten bindingen tussen de aminozuren:

- extra waterstofbruggen
- covalente zwavelbindingen
- ionbindingen

Deze soorten bindingen zorgen ervoor dat de tertiaire structuur gevormd wordt, dit is de uiteindelijke vorm van het eiwit. (over deze structuur zul je later nog meer leren, in het hoofdstuk over schuimen.)

Het komt ook voor dat eiwitten complexen vormen met elkaar, waarbij ze door waterstofbruggen en/of ionbindingen tegen elkaar "plakken". Dit wordt de quaternaire structuur genoemd.

### Opgave 17 Aminosuren

Welke aminosuren moet een eiwit bevatten om de volgende bindingen te kunnen vormen:

1. Waterstofbruggen
2. Zwavelbinding
3. Ionbinding?

Gebruik bij het beantwoorden van deze vraag BINAS tabel 67 C.

## [ Zeg ken jij de mosselplak? ]

15 augustus 2006 • Arjen Dijkgraaf

### Chemische binding tussen mossel en diverse substraten opgehelderd

Mosselen (*Mytilus edulis*) hechten zichzelf stevig aan zo'n beetje elke ondergrond. Hun lijm overtreft qua kleefkracht de meeste industriële producten, en is nog bestand tegen zout water ook.

Onderzoekers van Northwestern University (Evanston, Illinois) denken nu te weten hoe dat komt. Zij onderzochten het aminozuur 3,4-L-dihydroxyfenylalanine (DOPA), de belangrijkste component van de mosselijm, met een atomic force-microscoop (AFM). Door een eind van het molecuul aan de tip van de microscoop te hechten en het andere eind op een substraat, konden ze de sterkte van de binding testen. Dit aminozuur komt in hoge concentratie voor in de eiwitten in mosselen.

Het molecuul blijkt zeer sterke verbindingen te kunnen vormen met de atomen van andere oppervlakten

De onderzoekers publiceren hun bevindingen deze week in de online-editie van PNAS.

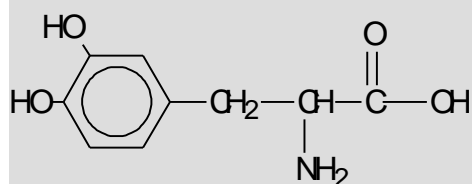
Bron: C2W, 15 augustus 2006

**Bron 4**

### Opgave 18 Mosselen plakken (uit: Chemie Aktueel jaargang 18, nr 54)

Lees bron 4.

Hieronder is de structuurformule van DOPA getekend.



1. Leg aan de hand van de structuurformule uit dat DOPA een aminozuur is. Afhankelijk van de pH kunnen de zuurgroep en de aminogroep een H<sup>+</sup> afstaan of opnemen. Ook de OH-groepen aan de benzeenring kunnen H<sup>+</sup> afstaan.



Volgens het artikel komt DOPA in hoge concentraties in eiwitten van mosselen voor.

1. Wat is een eiwit?
2. Leg uit wat er aan de hand is op moleculair niveau “als DOPA in hoge concentraties in het eiwit voorkomt”.
3. Teken de structuurformule van een stukje eiwit waarin twee DOPAmoleculen naast elkaar zitten.
4. In de zin “Een groep Amerikaanse onderzoekers ontdekte dat het molecuul sterke verbindingen kan vormen met de atomen van andere oppervlakken” staat chemisch gezien een onjuistheid. Leg uit waarom in deze zin de term ‘verbinding’ onjuist is.
5. Welk woord moet je in deze zin in plaats van het woord ‘verbinding’ gebruiken?
6. Leg uit waardoor het waarschijnlijk komt dat een DOPA-molecuul zich goed bindt aan atomen in andere oppervlakken. Geef indien nodig de structuur die ontstaat bij deze binding.

### Recept: Biefstuk gemarineerd in kiwi

Een manier om biefstuk malser te maken is marineren in kiwipuree.

#### Ingrediënten:

- 1 geschilde kiwi
- 1 biefstuk (100 gram)
- Olie
- Peper en zout



Pureer de kiwi met een staafmixer. Leg de biefstuk in een kom en giet de kiwipuree eroverheen. Zorg ervoor dat alle oppervlakten in contact komen met de kiwipuree. Laat het vlees 20 minuten marineren, haal het hierna uit de marinade, dep het goed droog, en bestrooi het met peper en zout.

Bak de biefstuk aan beiden kanten bruin (ongeveer 1 minuut). Laat de biefstuk nog 5 minuten onder aluminium folie nagaren. De biefstuk is nu klaar om te serveren.

### Opgave 19 Biefstuk gemarineerd in kiwi

Lees het bovenstaande recept.

In het recept wordt gezegd dat de biefstuk mals wordt door het marineren met kiwi. Dit komt doordat er in kiwi enzymen zitten.

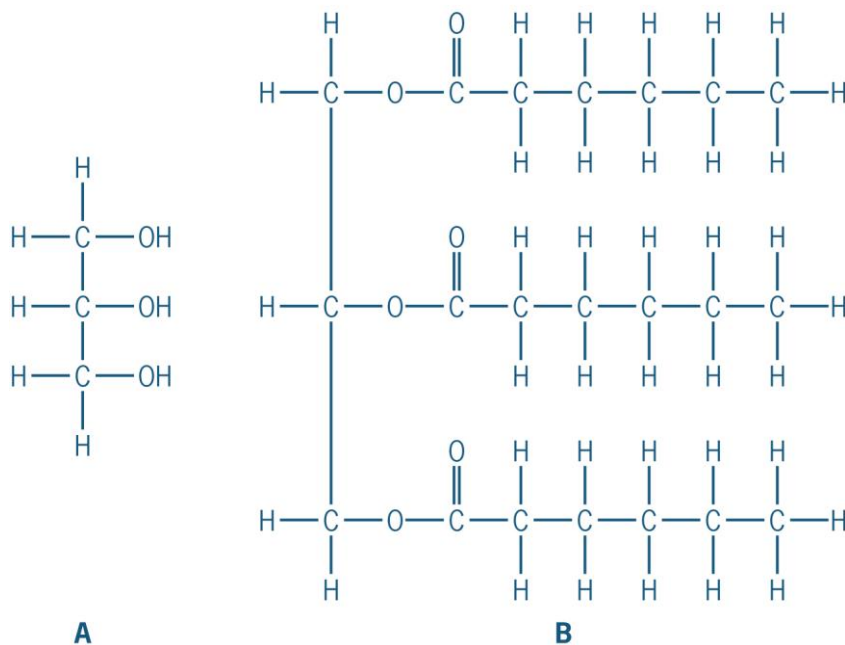
1. Wat denk je dat de invloed is van deze enzymen op de vleeseiwitten in de biefstuk?
2. Wat denk je dat er gebeurt als je de biefstuk te lang zou laten marineren in de kiwipuree?

## 2.4.4 Vetten

Alle vetten hebben chemisch gezien dezelfde structuur. Vetten kunnen echter verschillende vetzuren bevatten. De vetzuursamenstelling kan voor een verschil in eigenschappen zorgen. Doorgaans worden vetten die bij kamertemperatuur vloeibaar zijn, oliën genoemd. Vetten en oliën dienen in ons lichaam voor energieopslag. Daarnaast kan energie ook opgeslagen worden in de vorm van glucose of glycogeen. De energieopslag in vet is het efficiëntste d.w.z. vet bevat per gram de meeste energie. In de keuken is vet een veelzijdig ingrediënt. Als ingrediënt geeft vet een zachte structuur en doet het de smaak van een gerecht beter uitkomen.

### Structuur

Vetten en oliën zijn triglyceriden met lange apolaire staarten: ze zijn opgebouwd uit glycerol en drie vetzuren (zie figuur 24) die door afsplitsing van water gekoppeld zijn. Het proces van deze koppeling heet verestering:



Figuur 23 A glycerol en B een triglyceride: glycerol gebonden aan 3 vetzuren

Er bestaan 50 verschillende natuurlijke vetzuren. Glycerol is oplosbaar in water, bij vetzuren is het afhankelijk van de structuur en vetten lossen niet op in water.

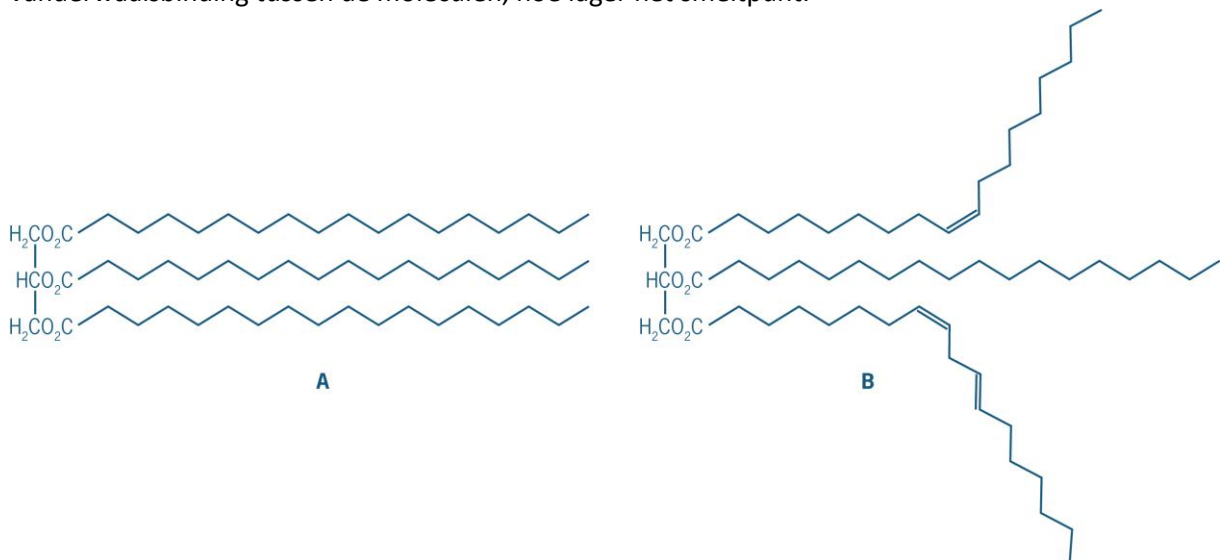
#### Opgave 20

Vetten bevatten C=O-groepen die waterstofaccepterend zijn en daardoor een waterstofbrug kunnen vormen. Waarom lost een vet dan toch niet op in water?



## Vetten en verzadiging

In principe zijn oliën vloeibaar en vetten vast, ook al hebben ze dezelfde molecuulmassa. Het verschil zit in de verzadiging van de vetzuren die aan het glycerol gebonden zijn. Onverzadigde vetzuurmoleculen hebben een of meer dubbele bindingen tussen de koolstofatomen in de keten (C=C), verzadigde vetzuren hebben alleen maar enkelvoudige bindingen tussen de atomen in de koolstofketen (C-C) (Figuur 24). Verzadigde moleculen zijn flexibel en kunnen elkaar optimaal naderen voor een sterke vanderwaalsbinding. Door een dubbele binding komt er een star stuk in de keten wat moeilijk te naderen valt en zo een zwakke vanderwaalsbinding geeft. Hoe zwakker de vanderwaalsbinding tussen de moleculen, hoe lager het smeltpunt.



Figuur 24 Verzadigd vet (structuur A) en onverzadigd vet (structuur B)

### Opgave 21

Als je kijkt naar figuur 25, welke van de 2 vetten denk je dat het laagste smeltpunt heeft?

### Opgave 22

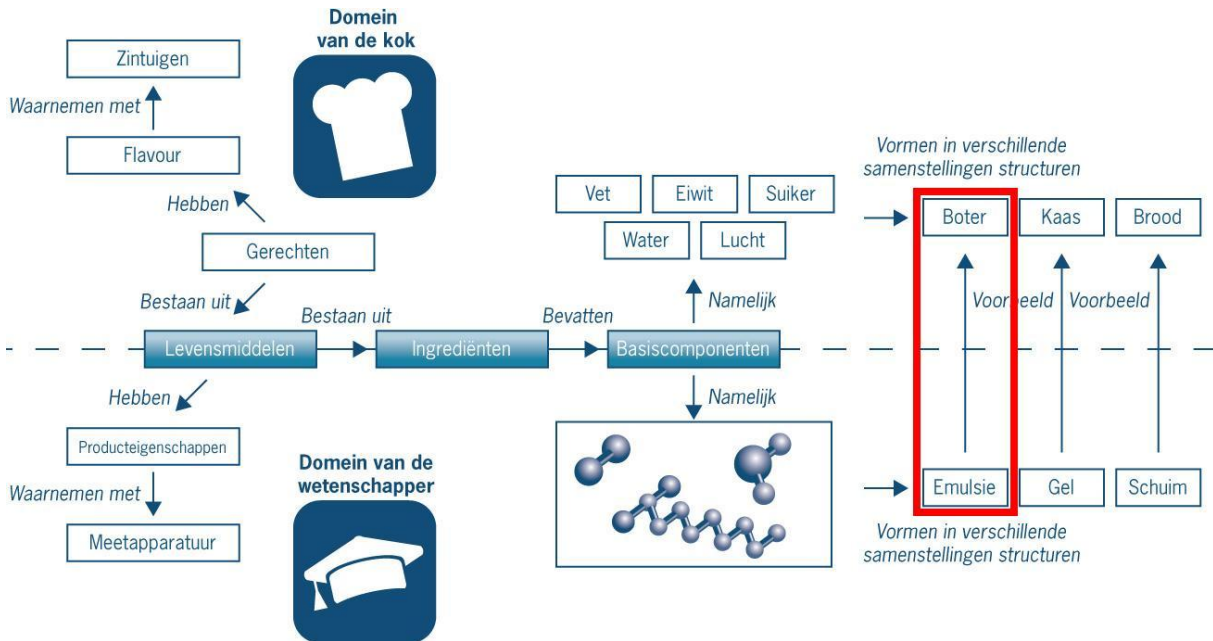
Plantaardige vetten bevatten 85% onverzadigde vetzuren en 15 % verzadigde vetzuren. Dierlijke vetten bestaan uit 50% verzadigd en 50% onverzadigd. Is plantaardig vet vast of vloeibaar bij kamertemperatuur? En dierlijke vetten? Leg je antwoord uit.

Hoe kun je van plantaardige oliën vast margarine maken? Door plantaardige olie te hydrogenen, d.w.z. met waterstof te laten reageren, worden de dubbele bindingen opgeheven en treedt er meer verzadiging op (geen 100%). Dit proces heet harden. Het wordt gebruikt om de gewenste structuur en houdbaarheid te krijgen. Het wordt ook toegepast bij het maken van pindakaas. Als je pinda's maalt, krijg je pindakaas, maar er komt al snel een laag olie op te staan. Als je de olie echter hydrogeneert ontstaat er een mengsel dat niet meer ontmengt.

### 3 Emulsies

Mayonaise zelf maken is lastig. Vaak mislukt het. En waar ligt dat aan? Vroeger werd gedacht dat zwangere vrouwen geen mayonaise konden maken. En dat je bij het roeren van mayonaise altijd rechtsom moest roeren, want als je linksom roerde, zou de mayonaise mislukken. Ook werd gezegd dat een linkshandige man geen mayonaise kon maken.

Tegenwoordig weten we meer over de producteigenschappen van mayonaise en we kennen de microstructuur. Daardoor is het duidelijk geworden waarom het zo lastig is om mayonaise te maken.



Figuur 25 De rode draad

Om je een idee te geven hoe mayonaise gemaakt wordt, volgt hier het recept. Je hoeft het nu nog niet uit te voeren, dat komt later bij het practicum.

#### Een recept voor mayonaise

##### Benodigheden

- 1 ei
- 1 theelepel mosterd
- ½ theelepel zout
- 2 eetlepels azijn of citroensap
- 3 dL zonnebloemolie
- peper

##### Instructies

1. Meng ei, mosterd, zout en azijn in een kom.
2. Voeg de olie langzaam toe terwijl je blijft roeren in de mix van ei, mosterd, zout en azijn.
3. Breng op smaak met wat peper.

Wanneer je de olie te snel toevoegt aan de inhoud van de kom treedt er een scheiding op tussen de olie en de overige ingrediënten. Dit proces heet **schiften**. De scheiding vindt plaats omdat de olie en de overige ingrediënten niet met elkaar mengen. Waarschijnlijk is dit een van de belangrijkste redenen waardoor het maken van mayonaise vaak mislukt. Dit moeilijk mengen is één van de kenmerken van emulsies.

'**Emulsies**' is een verzamelnaam voor producten als mayonaise, yoghurt, melk, boter, margarine en sladressings. Een emulsie bestaat uit twee vloeistoffen (vaak olie en water) die op microniveau in elkaar zijn opgelost. Zoals al uitgelegd is in hoofdstuk 2.3 "Van producteigenschappen naar structuren" zijn de stoffen dus niet op moleculair niveau in elkaar opgelost, zoals suiker in thee, maar op microniveau. Emulsies hebben een aantal gemeenschappelijke kenmerken op microschaal (1 micrometer is  $10^{-6}$  m).

### Leerdoelen

Nadat je dit hoofdstuk hebt doorgenomen zul je begrijpen waarom het zo vaak mislukt om mayonaise te maken.

Verder kun/ken je:

1. uitleggen waarom mayonaise schift en dit kan worden voorkomen.
2. de moleculaire interacties tussen water, het vet en de emulgator, die de microstructuur van een emulsie vormen.
3. deze kennis van moleculaire interacties toepassen op boter en vinaigrette.
4. de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de stabiliteit van emulsies.

Je zult zien dat deze kennis in principe van toepassing is op alle emulsies. Alle opgedane kennis ga je toepassen in de laatste paragraaf, waarin je gaat kijken naar moleculair gastronomische emulsies!

### Indeling van dit hoofdstuk

Paragrafen:

- 3.1 *Wat is een emulsie*  
De kenmerken van een emulsie.
- 3.2 *Water en waterstofbruggen*  
De rol van water in een emulsie.
- 3.3 *Vetten en hydrofobe interacties*  
Het basismolecuul vet.
- 3.4 *Emulgatoren*  
De rol van emulgatoren in emulsies.
- 3.5 *Emulsies in de keuken*  
Toepassing van de vorige paragrafen in de keuken.
- 3.6 *De stabiliteit van emulsies*  
Beschrijft hoe de stabiliteit van een emulsie verbeterd kan worden.
- 3.7 *Emulsies in de moleculair gastronomische keuken*  
Moleculaire gastronomische emulsies.

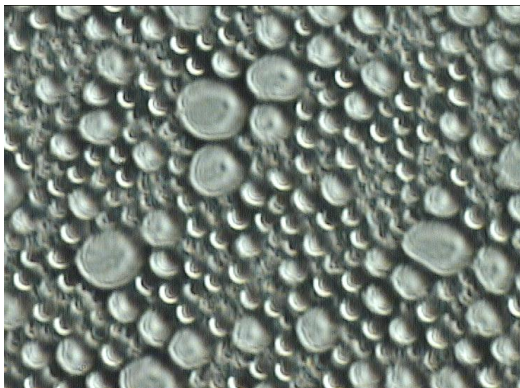
### 3.1 Wat is een emulsie?

Wat zijn de overeenkomsten tussen emulsies zoals melk, sladressing, boter en margarine? Als je op de verpakking leest welke ingrediënten er in zitten, zul je ontdekken dat ze allemaal in elk geval vetten (in vaste of vloeibare vorm), water en een emulgator bevatten. Verder zijn er nog andere ingrediënten toegevoegd die invloed hebben op producteigenschappen als kleur, smaak of dikte. In Figuur 25, de rode draad, kun je zien uit welke puzzelstukjes een emulsie bestaat:

**Een emulsie is opgebouwd uit water en vetten. Normaal gesproken mengen water en vet (of olie) niet met elkaar. Door de aanwezigheid van een derde stof, een emulgator, mengen ze wel.**

Mayonaise bestaat voor tenminste 70% uit vetten en voor ruim 10% uit water. Het water komt van het citroensap en van het ei (een ei bestaat voor 75% uit water). Zoals in het recept te zien is, doe je eerst de ingrediënten op basis van water in de kom. Daarna voeg je de olie langzaam toe. De olie bestaat voor 99% uit vetten. De emulgator in de mayonaise is een bestanddeel van het eigeel.

Hoe ziet mayonaise er onder de microscoop uit? Figuur 26 laat mayonaise zien die 500 keer vergroot is met de microscoop. Je ziet de oliedruppels in het water. Niet alle druppels in de emulsie hebben dezelfde grootte, de druppelgrootte varieert.



Figuur 26 Mayonaise 500 x vergroot

De oliedruppels worden ook wel de **disperse fase** genoemd. Het water vormt de **continue fase**. De oliedruppels zijn op microschaal in de waterfase opgelost. Op het grensvlak van de oliedruppel en het water zit de emulgator. Mayonaise is dus een olie in water emulsie, afgekort (O/W) emulsie. Er zijn ook emulsies waarin het water de disperse fase vormt en de olie de continue fase. Deze emulsies worden water in olie (W/O) emulsies genoemd (Tabel 5).

Tabel 5 Verschillende emulsies

Levensmiddel	Olie in water emulsie	Water in olie emulsie
Volle melk	x	
Slagroom	x	
Vinaigrette		x
Mayonaise	x	
Boter		x

## Opgave 1 Mayonaise en fritessaus

### Voedingswaarde:

Voedingswaarde per 100 ml:

Energie 2800 KJ (690 Kcal)

Eiwitten 1g

Koolhydraten 3g, wv. suikers 3g

Vet 75g, wv. verz. 6g, onverz. 48g, mov 21g

Vezels minder dan 0,5g

Natrium 0,37g

GDA per eetlepel 100Kcal/5%

### Ingrediënten:

plantaardige olie, water, eigeel (6%), suiker, azijn, mosterd (water, mosterdzaad, azijn, suiker, zout), zout, aroma, antioxidant E385, kleurstof bèta-caroteen.

E = door de E.G. goedgekeurde hulpstof



### Voedingswaarde:

Voedingswaarde per 100ml:

Energie 1200 kJ (290 kcal)

Eiwitten 1g

Koolhydraten 10g

- Suikers 6,3g

Vet 27g

- Verzadigd 2,1g

Voedingsvezel 0g

Natrium 0,57g

### Ingrediënten:

water, plantaardige olie (25%), azijn, suiker, gemodificeerd maïszetmeel, eigeel, mosterd (mosterdzaad, azijn, water, zout), zout, peterselie, conserveermiddel E200, verdikkingsmiddel E415, voedingszuur E330, preipoeder, aroma, kleurstof E160a, antioxidant E385



Bij de friet kun je fritessaus of mayonaise eten. Fritessaus is een (W/O) emulsie en mayonaise een (O/W) emulsie.

1. Noteer in g/100g de hoeveelheden van de basiscomponenten in de fritessaus en de mayonaise.
2. Welke stof vormt de emulgator in de mayonaise en in de fritessaus?
3. Welke stof zorgt ervoor dat mayonaise en fritessaus, ondanks de verschillende concentraties water en olie, toch dezelfde dikte hebben?
4. Waar dienen de ingrediënten suiker, zout en azijn voor in de mayonaise en in de fritessaus?
5. Wat zal het grote voordeel zijn van een emulsie "omdraaien" zoals bij fritessaus is gebeurd?

Waarom hebben emulsies meestal een **witte kleur**? De witte kleur wordt veroorzaakt door de deeltjesgrootte van de vetdruppels in de mayonaise. Water is helder (doorzichtig) omdat de golflengte van licht groter is dan de diameter van de watermoleculen. Vetdruppels, zoals ze aanwezig zijn in de mayonaise, zijn ongeveer 1 micrometer. Hun diameter is groter dan de golflengte van het licht. Hierdoor raakt het licht de vetdeeltjes en raakt het verstrooid. Dit veroorzaakt een witte kleur. (Het product dat in de keuken uiteindelijk gemaakt wordt van de emulsie, kan wel een andere kleur hebben. Een cocktailsaus is wel degelijk een emulsie, maar door toevoeging van tomatenketchup is de kleur roze in plaats van wit).

De meeste emulsies zijn **vloeibaar**. Mayonaise, sladressing en yoghurt zijn allemaal vloeistoffen. Maar er zijn ook uitzonderingen: boter is een vaste emulsie en ook ijs bestaat uit een combinatie van een schuim en een vaste emulsie.

#### Opgave 2 Kenmerken van een emulsie

1. In deze paragraaf zijn een aantal kenmerken genoemd van een emulsie. Maak een lijstje van deze kenmerken.
2. Figuur 26 laat de structuur van mayonaise onder een microscoop zien. Geef aan wat de waterfase en wat de oliefase van de mayonaise is.
3. Welke kleur zou een emulsie hebben, als je de vetdruppels kleiner zou kunnen maken dan de golflengte van licht?

### 3.2 Water en waterstofbruggen

Waarom kunnen olie en water normaal niet met elkaar mengen en wel als er een emulgator wordt toegevoegd? Een emulsie bestaat uit hydrofiele moleculen (water), hydrofobe moleculen (olie) en amphifiele moleculen (emulgatoren).

Water speelt in emulsies een belangrijke rol, vooral het feit dat olie en water eigenlijk niet mengen. In hoofdstuk 2 is al uitgelegd waardoor water waterstofbruggen kan vormen. Deze vorming van waterstofbruggen speelt een belangrijke rol, en wordt in de volgende paragraaf uitgewerkt waar ook naar vetten zal worden gekeken.

#### Opgave 3 Waterstofbruggen

1. Teken de waterstofbruggen die ontstaan wanneer water met ethanol gemengd wordt.
2. Waarom kan vet niet opgelost worden in water?
3. Verklaar waarom geladen deeltjes, zoals ionen, goed oplossen in water.

### 3.3 Vetten en hydrofobe interacties

Mayonaise bestaat voor minimaal 70% uit vet. Ook andere emulsies zoals boter en yoghurt bestaan voor een deel uit vet. Vet is dan ook één van de belangrijke basiscomponenten in een emulsie.

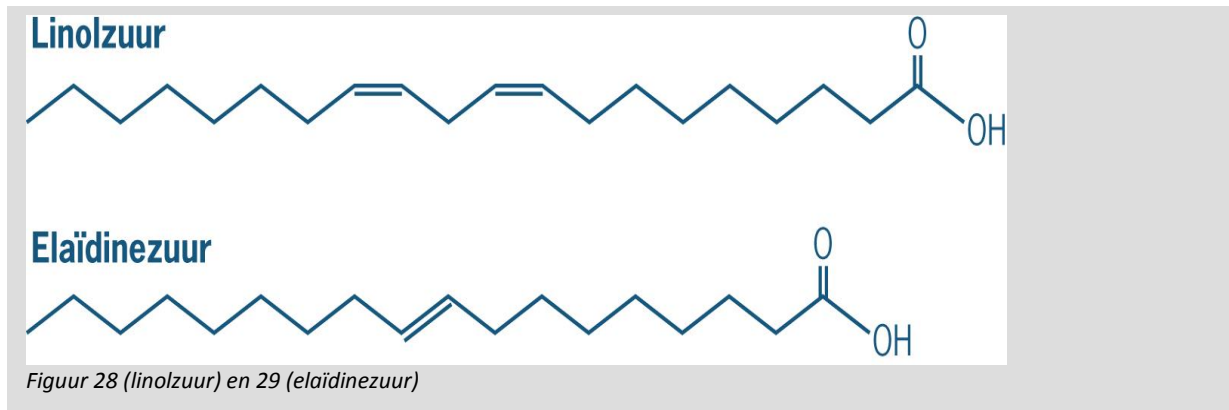
**Vetten en oliën verschillen in smeltpunt:** een vet is hard en een olie is vloeibaar op kamertemperatuur (zie hoofdstuk 2). Vetten zijn vooral afkomstig van dierlijke bronnen, zoals melk en vlees. Oliën worden meestal uit plantaardige bronnen zoals olijven en zonnebloemen gewonnen. De structuurformules van vetten zijn behandeld in paragraaf 2.4.4.

#### Opgave 4 vetten en oliën

Beantwoord de vragen voor de levensmiddelen olijfolie en boter. (die figuren staan op de volgende pagina)

1. Geef aan of het product vooral verzadigde of onverzadigde vetzuren bevat.
2. Linolzuur (C18:2) is een vetzuur dat veel in olijfolie voorkomt (figuur 28).  
Elaïdinezuur (C18:1) is een vetzuur dat veel in boter voorkomt (figuur 29).  
Elaïdinezuur heeft een smeltpunt van 43 °C, het smeltpunt van linolzuur is – 5 °C.
  - a. Verklaar het verschil in smeltpunt met behulp van de structuurformule van beide vetzuren.
  - b. Leg uit waarom je verwacht dat elaïdinezuur vooral in boter voorkomt en linolzuur vooral in olijfolie.





Olie is niet in staat om waterstofbruggen te vormen. Het is een hydrofoob molecuul. Een hydrofoob molecuul bevat weinig lading en kan geen interacties aangaan met water. Wanneer er olie in water wordt gemengd, wordt het netwerk van waterstofbruggen dat de watermoleculen onderling vormden verstoord. Deze verstoring kost energie die niet door de vorming van nieuwe waterstofbruggen teruggewonnen kan worden. De watermoleculen direct rond het oppervlak van een oliedruppel kunnen geen bindingen met elkaar aangaan. Om toch een maximum aantal waterstofbruggen te kunnen vormen gaan de watermoleculen zich in een kooivorm ordenen rondom de oliedruppels (*Figuur 30*). Het maximale aantal waterstofbruggen levert het systeem namelijk een energetisch voordeel op. Deze heroriëntatie van de moleculen is te zien in **Error! Reference source not found.**



*Figuur 30 kooivorm*

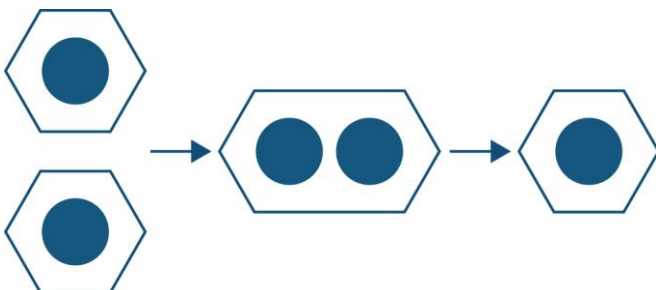


*Figuur 31 heroriëntatie van waterstofbruggen*

Wanneer twee oliedruppels in water elkaar naderen gaan ze samenklonteren.

In

*Figuur 27* is te zien hoe het aantal waterstofbruggen en de bewegingsvrijheid van de watermoleculen toeneemt wanneer twee druppels olie zich samenvoegen tot één druppel. Doordat het oppervlak van de ene samengeklonterde druppel kleiner is dan dat van de twee afzonderlijke, kunnen de watermoleculen meer waterstofbruggen vormen, en ze krijgen meer bewegingsvrijheid. De dichtheid van olie is kleiner dan die van water. Door het verschil in dichtheid stijgen de vetdruppels op uit het water. De emulsie scheidt in een laag water met daarop een laag olie.



### Opgave 5

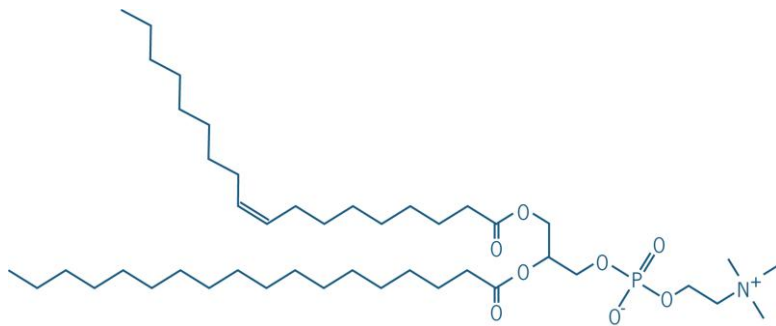
Je hebt een mayonaise gemaakt met oliedruppels met een diameter van 1 micrometer. De oliedruppels vormen 70 volumepercent van de totale emulsie. Neem aan dat de andere 30 volumepercent water is. En je mag aannemen dat de oliedruppels een ronde vorm hebben.

1. Wat is het volume en het oppervlak van 1 oliedruppel in deze mayonaise ?
2. Hoeveel druppels olie zitten er in 1 liter mayonaise?
3. Hoe groot is het oppervlak van deze druppels gezamenlijk?
4. Stel het aantal druppels neemt met de helft af, doordat twee druppels met een diameter van 1 micrometer samenvloeien tot 1 nieuwe druppel. De diameter van de nieuwe druppel is niet 2 micrometer. De nieuwe druppel heeft wel twee keer het volume van de oude druppel. Wat is het totale oppervlak van de nieuw gevormde druppels?

## 3.4 Emulgatoren (oppervlakteactieve stoffen)

Waarom is eigeel naast olie en water zo'n belangrijk ingrediënt van mayonaise? Het eigeel is de emulgator. Een emulgator wordt ook wel een oppervlakteactieve stof genoemd.

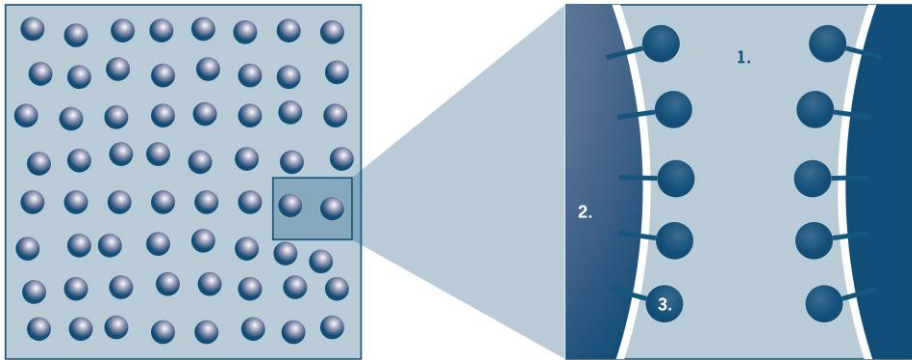
Een emulgator is een amphifiel molecuul. Een amphifiel molecuul heeft zowel interactie met hydrofobe moleculen als met hydrofiële moleculen. In het geval van mayonaise is lecithine, dat aanwezig is in het eigeel, de emulgator. Lecithine is een verzamelnaam voor een reeks moleculen die een emulgerende werking hebben. Er zit ongeveer 5 gram lecithine in één eidooier. Een van de emulgatoren in lecithine is fosfatidylcholine (Figuur 33). Fosfatidylcholine heeft een hydrofobe staart en een hydrofiële kop. De hydrofiële kop zal interacties, zoals waterstofbruggen, hebben met water en de hydrofobe staart heeft interactie met vet en olie. Met het eigeel uit één ei kun je liters mayonaise maken.



Figuur 28 Fosfatidylcholine

Een molecuul als fosfatidylcholine heeft zowel interactie met het water als met de olie en positioneert zich dus op het grensvlak van water en olie, zie Figuur 29. De emulgator (3) zit met de apolaire staart in het vet (2) en met de polaire kop (het groene bolletje) in het water (1). De functie van de emulgator is vergelijkbaar met de functie van het steeraatmolecuul in zeep. Deze functie is beschreven in hoofdstuk 2 De basis.





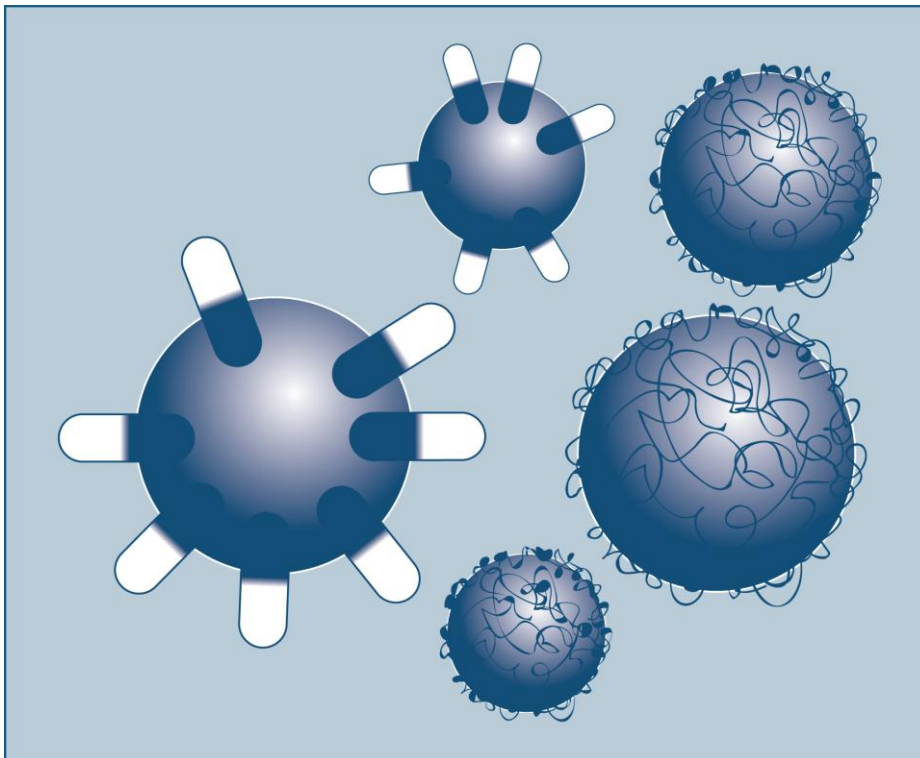
*Figuur 29 Mayonaise met de emulgator(3) op het grensvlak tussen oliedruppel(2) en water (1).*

Een belangrijke groep moleculen die ook een emulgerende werking hebben zijn de eiwitten.

Voorbeelden hiervan zijn soja-eiwitten, gelatine, ovalbumine en melkeiwitten.

Er is een belangrijk verschil tussen de eiwitten en de emulgatoren zoals fosfatidylcholine, die eerder in deze paragraaf zijn genoemd. Zoals je hebt kunnen lezen in hoofdstuk 2.4.3 over eiwitten, bestaan eiwitten uit een keten van aminozuren. Eén eiwit is opgebouwd uit vele aminozuren: eiwitten zijn macromoleculen. Een eiwit is daarom veel groter dan een emulgator als fosfatidylcholine. Het gevolg van dit verschil in grootte is dat je bij eiwitten meerdere hydrofiele en hydrofobe delen hebt in plaats van één hydrofiele kop en één hydrofobe staart per molecuul. De hydrofiele delen van het eiwit steken meer in het water en de hydrofobe delen meer in de olie (

*Figuur 30).*



*Figuur 30 Een (O/W) emulsie met linksboven twee oliedruppels omgeven door moleculen van een emulgator als lecithine; rechts drie oliedruppels omgeven door eiwitten als emulgator.*

Er bestaan twee soorten emulsies: O/W en W/O emulsies. De aard van de emulgator bepaalt grotendeels welke van deze twee emulsies gevormd wordt, want elke emulgator heeft - ondanks dat hij amphifiel is - toch een lichte voorkeur voor of de oliefase of de waterfase. Deze voorkeur wordt uitgedrukt in de hydrofiele/lipofiele balans, ook wel HLB genoemd. De HLB-schaal loopt van 0 tot 20. Wanneer een emulgator een lage HLB-waarde heeft (3-6), betekent dit dat de emulgator een voorkeur heeft voor de oliefase. Een hoge HLB-waarde geeft een voorkeur voor de waterfase aan.

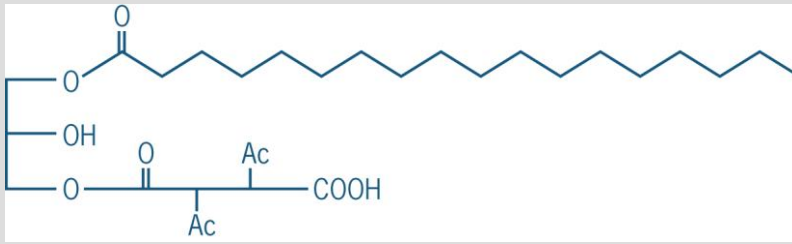
Om de **HLB-waarde** van moleculen vast te stellen wordt de volgende formule toegepast:

$$\text{HLB} = 20 * (M_w/M_o)$$

$M_w$  is het molecuulgewicht van het hydrofiële gedeelte van de emulgator en  $M_o$  is het molecuulgewicht van de totale emulgator. (Er wordt maal 20 gedaan om uit te komen op de schaal van 0 tot 20, deze schaal is arbitrair gekozen).

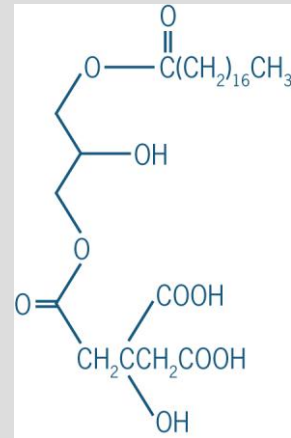
### Opgave 6

1. Geef het hydrofiele deel en het hydrofobe deel van fosfatidylcholine aan in de structuurformule (figuur 33).
2. Geef het hydrofobe en het hydrofiele deel aan van de volgende emulgatoren:



Figuur 37 Diacetyltartaarzuurester

Diacetyltartaarzuuresters worden gebruikt om de stabiliteit van sladressings te verbeteren.



Figuur 36 Citroenzuurester

Citroenzuuresters worden onder andere toegepast in margarine als emulgator.



Figuur 38 Monoglyceriden

Monoglyceriden worden gebruikt om emulsies als ijs en margarine te stabiliseren.

### Opgave 7

In hoofdstuk 2 "de basis" is de zeepwerking uitgelegd met behulp van een figuur.

Teken de structuurformule van het zeepmolecuul stearaat (stearinezuur), zie BINAS tabel 67B1. Geef in de tekening aan waar het hydrofiele en het hydrofobe gedeelte van dit molecuul zich bevinden. Geef ook aan hoe het molecuul gepositioneerd is op het grensvlak lucht-water.

### Bron 5

#### Detergent op peptidebasis is via pH aan en uit te zetten

door: Arjen Dijkgraaf

Woensdag 22 augustus 2007

Australische onderzoekers hebben oppervlakte-actieve stoffen op basis van peptides ontwikkeld, die aan en uit zijn te schakelen door de zuurgraad van de oplossing te veranderen. Ze denken er onder meer een machinewasmiddel mee te kunnen maken dat toe kan met een zeer korte spoelcyclus, zo vertelden Annette Dexter en Anton Middelberg (University of Queensland) tijdens het congres van de American Chemical Society in Boston.

Het idee is dat de detergents in wasmiddelen al zo in elkaar zitten dat de pH tijdens het wassen anders is dan tijdens het spoelen. Als je er wat 'pepfactants' doorheen doet die tijdens het spoelen de zeepwerking uitschakelen, heb je veel minder water nodig om het reeds losgeweekte vuil weg te spoelen.

De pepfactants zouden ook zijn te verwerken in oogdruppels. Ze zijn sowieso milder dan de gebruikelijke oppervlakteactieve stoffen, en ze zijn bovendien zo in te stellen dat de emulsie meteen breekt bij de pH van het oog.

Weer een andere toepassing ligt in het scheiden van aardolie en water. Zulke emulsies zijn altijd erg moeilijk te breken. Dankzij de pepfactants zou je veel meer olie uit een bijna uitgeputte bron moeten kunnen 'spoelen', waarbij je de gebruikte detergents telkens kunt hergebruiken.

Het probleem is volgens Dexter nog wel dat de pepfactants 500 dollar per kilo kosten. Gewone detergents heb je al voor 10 dollar.

**Bron:** [www.c2w.nl](http://www.c2w.nl)

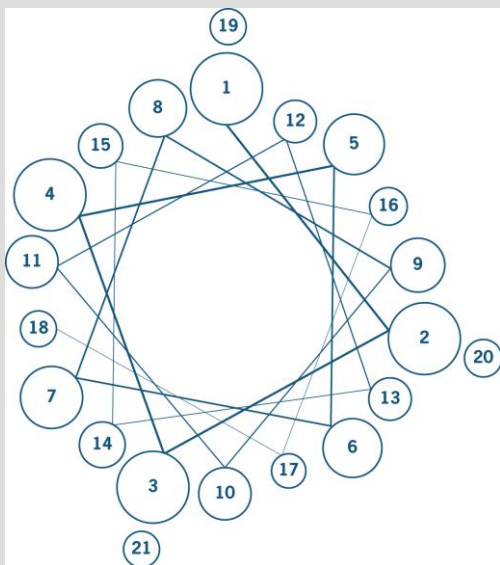
### Opgave 8 Zap-zeep (uit: Chemie Aktueel jaargang 19, nr 57)

Lees bron 5.

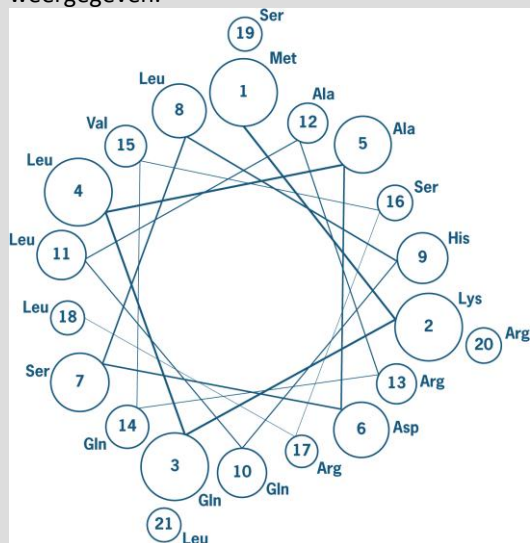
Annette Dexter en Anton Middelberg hebben een "pepfactant" gemaakt. Het woord pepfactant is een samentrekking van de woorden peptide en surfactant (oppervlakreactieve stof). Het peptide bestaat uit 21 aminozuren met de afkorting Ac- M K Q L A D S L H Q L A R Q V S R L E H A -CNH<sub>2</sub>. Hierin stelt Ac het carboxyluiteinde voor en CNH<sub>2</sub> het aminouiteinde van het peptide. De letters ertussen geven de aminozuren weer waaruit het peptide is opgebouwd. Zie voor de codering van de aminozuren tabel 67C1 in BINAS.

1. Teken het stukje "SLHQ" uit de keten van het peptide in structuurformule.
2. Een peptide vormt een helixstructuur. Leg uit waardoor een peptide een helixstructuur kan vormen. (Zie hoofdstuk 2.4.3)

Hieronder zie je een weergave van een helixwiel waarmee je de 3D-structuur van een peptide goed kunt bestuderen. Neem het peptide Ac- M K Q L A D S L H Q L A R Q V S R L E H A -CNH<sub>2</sub> over op een papier en nummer van links naar rechts de aminozuren. Vergelijk dit met het helixwiel. Het "wiel" is wat je ziet als je kijkt langs de as van de helix.



In de volgende figuur staan de drieletter-afkortingen voor de aminozuren in het helixwiel van de pepfactant weergegeven.



3. Geef in het helixwiel met een A of een P aan of de zijgroep van het aminozuur een hydrofoob dan wel een hydrofiel karakter heeft. (A=apolair P=polair). Zie BINAS.
4. Leg aan de hand van je antwoord op vraag 3 uit dat de helix als een zeep kan functioneren.
5. Waarom zal de pepfactant niet op korte termijn uitgebreid toegepast worden?

### Opgave 9 HLB-waarden

1. Een emulsie is stabiel wanneer de emulgator goed oplost in de continue fase. Leg uit welk type emulsie (W/O) of (O/W) gevormd wordt bij emulgatoren met een lage HLB-waarde en welk bij emulgatoren met een hoge HLB-waarde.
2. Kijk naar de ingrediëntenetiquetten van AdeZ, Chocolademelk en Becel light (Figuur 39 t/m Figuur 41). Vul in onderstaande tabel in (Tabel 6):
  - a. Welk ingrediënt de emulgator is. De namen van de ingrediënten met E-nummers kun je vinden in BINAS tabel 82C.
  - b. Of het product een olie-in-water-emulsie of een water-in-olie-emulsie is (Gebruik hiervoor het HLB-nummer dat al is ingevuld in de tabel).
  - c. Naast dat er moleculaire emulgatoren in de producten zitten, zijn er ook eiwitten als emulgator aanwezig. Schrijf per product op welk eiwit ook als emulgator zou kunnen dienen.

Tabel 6 Emulgatoren

Product	Emulgator	HLB	Type emulsie	Eiwitten
Chocolademelk Frische Vlag		8.0		
AdeZ		8.0		
Becel light		3-6		

3. Een kok komt bij jou met een plan om een garnalenmayonaise te maken. Omdat sommige klanten allergisch zijn voor ei-eiwit, wil hij geen eieren in zijn mayonaise verwerken. Hij zoekt een andere emulgator. Geef de kok een onderbouwd advies welke emulgator geschikt zou kunnen zijn.

#### Ingrediënten:

Water, vruchtensappen uit concentraat (16,5%) (druif\*\*, appel\*\*, mango (1,8%), perzik (1,5%)), suiker, soja-eiwit (1,1%), voedingszuur (citroenzuur), mineralen (calciumcarbonaat, magnesiumcarbonaat), vitaminen (C, B6, B2, B1), stabilisator (pectine), sojaolie, kleurstof (bèta-caroteen), aroma's, emulgator (sojalecithine), kunstmatige zoetstoffen (acesulfaam-K, sucralose).

\*\*in wisselende verhoudingen

Figuur 39 Ingrediënten AdeZ

#### Ingrediënten

Ingrediënten: magere melk, wei, suiker, room, cacao (1,7%), stabilisatoren: E471, carrageen en guargom, aroma

Figuur 40 Ingrediënten Chocolademelk

#### Ingrediënten

Water, plantaardige oliën en vetten, gelatine, emulgatoren (E322, E471), conserveermiddel E202, voedingszuur E330, vitaminen (E, B6, A, foliumzuur, D, B12), aroma's, kleurstof E160a.

E-nummer = door de E.G. goedgekeurde hulpstof

Figuur 41 Ingrediënten Becel light

## Magere mayonaise kan veel lekkerder

Nr 1. Maart 2010

Bron 6

Emulsies, zoals mayonaise, worden magerder, lekkerder en duurzamer dan zij een veelbelovende nieuwe technologie. Koen van Dijke ontwikkelde de methode voor de leerstoelgroep Levensmiddelenproceskunde van Wageningen University. Waar hij in november 2009 promoveerde.

Emulsies van niet-mengbare vloeistoffen, zoals olie en water, komen voor in dagelijkse voedingsmiddelen als melk, halvarine en mayonaise. “Gangbare methoden van mengen, kosten veel energie en hebben lang niet altijd optimaal resultaat”, zegt van Dijke. “Met dit nieuwe systeem op microschaal laten we een heel dun filmpje olie in water stromen. Zo ontstaan oliedruppels, wel tweeduizend per seconde, die mengen met water.”

Deze emulsies blijken homogener dan gangbaar geproduceerde emulsies, en de productie ervan kost veel minder energie. Bovendien zijn hiermee dubbele emulsies te maken. Zo zou je een supermagere mayonaise kunnen maken, die toch hetzelfde smaakt.

**Bron: Wageningen World**

### Opgave 10 Dubbele emulsies

Lees het bovenstaande krantenartikel.

Je hebt nu al gekeken naar o/w en w/o emulsies, maar er wordt nog steeds veel met emulsies geëxperimenteerd. Eén van de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van emulsies is een zogenaamde dubbele emulsie, zoals in het krantenartikel ook wordt beschreven.

1. Teken de microstructuur van de dubbele emulsie die in de tekst wordt genoemd. Maak duidelijk wat water en wat olie is.
2. Hoe zou je deze dubbele emulsie noemen? Een o/w/o emulsie of een w/o/w emulsie?

Bij de dubbele emulsie uit de tekst wordt veel kracht gebruikt om extra kleine olie druppels te maken. Er bestaat nog een andere manier om dubbele emulsies te maken, met de HLB-waarden van emulgatoren.

3. Hoe denk je dat je met kennis van de HLB-waarden een dubbele emulsie zou kunnen maken?
4. Zal de microstructuur van deze dubbele emulsie hetzelfde zijn als van de emulsie die je bij 1. getekend hebt?
5. Welke van deze 2 methoden lijkt je het meest geschikt om dubbele emulsies te maken?

### Opgave 11 Hoeveel eigeel is nodig voor mayonaise?

1. Je hebt maar relatief weinig eigeel nodig om veel mayonaise te kunnen maken, je gaat nu uitrekenen hoeveel mayonaise je precies kan maken met één ei. Ga uit van de volgende gegevens:
  - a. In een ei zit ongeveer 5 gram emulgator (dit is 0.025 mol)
  - b. De emulgator beslaat ongeveer  $1 \text{ nm}^2$  per molecuul
  - c. De olie druppels in de mayonaise hebben een straal van 10 micron ( $= 1 \times 10^{-5}$  meter)
  - d. Ga ervan uit dat het complete oppervlak van de olie druppels bedekt is met emulgator.
2. In de vorige vraag ben je ervan uit gegaan dat alleen de hoeveelheid emulgator in het eigeel uitmaakt hoeveel mayonaise je kunt maken, dit is niet helemaal waar. Wat denk je dat je nog meer zou moeten toevoegen om zoveel mayonaise te maken met één ei?
3. Als je ervan uit gaat dat de dikte van de laag water om de oliedruppels heen 0.1 micron is ( $= 0.1 \times 10^{-6}$  meter) en er ongeveer 100 ml water in eigeel zit, hoeveel liter mayonaise kun je dan maken zonder water toe te voegen?  
(Denk eraan, de hoeveelheid water die je per druppel nodig hebt is het oppervlak van die druppel maal de dikte van de laag water)

### Beroepsveldblok 3

#### **Een emulsie is overal hetzelfde**

*Interview met Koen van Dijke, werkzaam bij Danone Research in Wageningen als procestechnoloog. Van Dijke heeft aan de Wageningen Universiteit levensmiddelentechnologie gestudeerd en een PhD (promotieonderzoek) gedaan met als onderwerp emulsies en microstructuren.*

Op de vraag wat Danone Research nu precies doet legt Van Dijke uit dat een paar jaar geleden Danone de vestiging in Wageningen heeft overgenomen van Numico. Van Dijke is dus niet zozeer bezig met toetjes (wat misschien je eerste ingeving zou zijn als je aan Danone denkt) maar met producten die oorspronkelijk vanuit Numico komen. Wat voor soort producten zijn dit dan? “We werken hier globaal aan 2 productcategorieën, namelijk babyvoeding en medische voeding. In Nederland zijn deze producten bekend onder de naam Nutricia. Zelf houd ik me bezig met emulsies en de productie van poeders”. Bij Nutricia babyvoeding kun je je waarschijnlijk wel iets voorstellen; melkpoeders met specifieke nutriënten voor baby’s en peuters. Maar wat is medische voeding dan precies? “Eigenlijk zit medische voeding tussen voeding en medicijn in, het is voeding voor patiënten die gewoon voedsel niet meer kunnen verdragen of die specifieke nutriënten nodig hebben, gerelateerd aan hun ziekte. Het is een uitdaging om dit soort voedingsmiddelen zo lekker mogelijk te maken, iets waaraan door R & D veel tijd wordt besteed, en met succes. Deze medische voeding is vaak beschikbaar in de vorm van een emulsie, dat wil zeggen een mengsel van niet-mengbare vloeistoffen zoals olie en water. Je kan zo’n mengsel maken door de olie in de vorm van kleine druppeltjes in het water te verdelen. Voorbeelden van emulsies zijn melk, mayonaise, dressings en sauzen maar ook zalf of verf.

Van Dijke’s promotie heeft uiteindelijk geresulteerd in een techniek die het mogelijk maakt om emulsies te maken met veel minder energie dan normaal. Wat houdt dit nu precies in? Van Dijke legt uit “als je in de keuken een emulsie wil maken zul je flinke kracht moeten gebruiken, door hard te roeren. De emulsie die je dan krijgt is redelijk stabiel, maar niet voor lang”. Dit hoeft natuurlijk ook niet, emulsies die je in de keuken maakt zijn meestal bedoeld om zo snel mogelijk gegeten te worden. Als ze niet dagenlang stabiel zijn merk je dat toch niet. “In de industrie is de huidige techniek om emulsies te maken eigenlijk vergelijkbaar met wat je in de keuken doet, dat wil zeggen veel energie gebruiken en dus met brute kracht een emulsie maken”. Alleen heb je hier een probleem, emulsies die voor consumenten gemaakt worden moeten veel langer stabiel zijn, dus zal je extreem veel energie toe moeten voegen om een redelijk stabiele emulsie te krijgen. Dit is een flinke uitdaging, kijk maar naar de vast wel bekende instructie ‘schudden voor gebruik’. Deze geeft al aan dat er toch nog een klein beetje energie vlak voor gebruik nodig is om een mooie emulsie uit de verpakking te krijgen.

Wat is dan precies de nieuwe technologie van Van Dijke? “Het idee is dat je de oliedruppels meteen op de goede grootte maakt, met ook nog eens minder energie. Doordat de druppels meteen de goede grootte hebben zijn de emulsies die je met deze techniek maakt extreem monodispers (dat wil zeggen: gelijke druppelgrootte), hierdoor neem je een groot deel van de drijvende kracht tot instabiliteit weg, waardoor ze dus heel stabiel zijn”. Hoe werkt deze techniek dan precies? Dat is misschien een nogal ingewikkeld verhaal, maar heel simpel gezegd laat je olie over een soort chip lopen met daarin microkanaaltjes. Hierdoor worden extreem kleine oliedruppels gevormd. Wordt deze technologie nu ook al in de industrie toegepast? “Nog niet, maar zoals uit het onderzoek voor mijn promotie bleek lijkt opschaling van deze methode goed mogelijk. Het zal alleen nog wel een aantal jaar duren”.

Terug naar Van Dijke’s werk bij Danone. Wat doe je als procestechnoloog nu eigenlijk precies bij Danone Research? “Ik werk aan een aantal verschillende projecten met verschillende afdelingen in Nederland en in het buitenland, zoals productontwikkeling, engineering en marketing. Er zijn verschillende soorten projecten zoals projecten waarin een proces ontwikkeld wordt voor een nieuw product, projecten waarin heel specifiek kennis opgedaan wordt over nieuwe processen, maar ook projecten die zich bezig houden met het oplossen van structurele problemen bij bestaande processen. De duur van projecten verschilt nogal, maar projecten van een half jaar tot een jaar zijn voor mij korte projecten”.

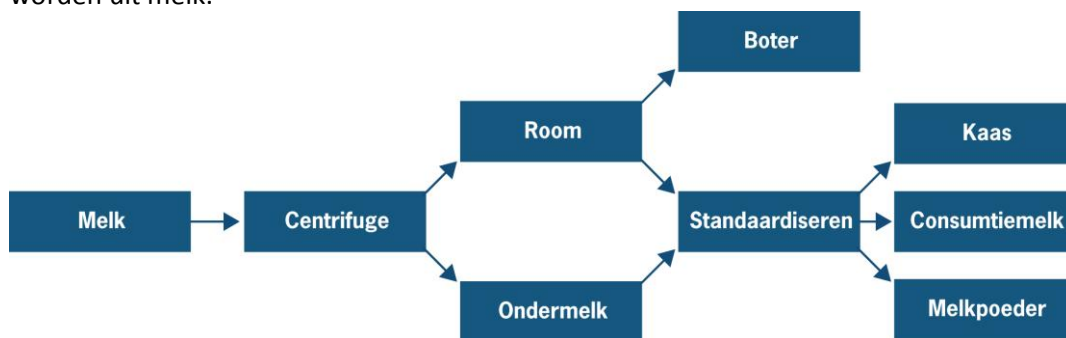
Waarom is Van Dijke eigenlijk levensmiddelentechnologie gaan studeren? “Levensmiddelentechnologie is een mooie mix van bèta-vakken en techniek. Levensmiddelen bevatten veel meer technologie dan veel mensen beseffen. Kijk bijvoorbeeld naar hoe we hier poeders maken, daar gebruiken we torens voor van 20 meter hoog en een diameter van 8 meter, en dat zijn nog kleintjes, in Nieuw-Zeeland hebben ze torens van wel 40 meter”. Naast de technologie spreekt ook de complexiteit van levensmiddelen Van Dijke aan. Een belangrijk punt hierbij is dat je niet alleen iets te eten maakt, er komen ook emotie en traditie bij kijken voor de consument. Consumenten moeten soms wennen aan nieuwe producten of processen. Als je echt iets nieuws met technologie wilt doen is het in het begin altijd moeilijk, eng en nieuw. “Kijk maar naar het eerste vliegtuig, dat bleef ook niet in de lucht hangen, nu vinden we het normaal dat we al vliegend naar de andere kant van de wereld kunnen”.

### 3.5 Emulsies in de keuken

In de vorige paragraaf heb je op moleculair niveau naar emulsies gekeken. In deze paragraaf ga je naar een aantal voorbeelden van emulsies in de keuken kijken.

#### 3.5.1 Room en boter

Van melk kan kaas worden gemaakt of vla, yoghurt, roomijs, melkschuim (voor op de cappuccino), melkpoeder, gecondenseerde melk en niet te vergeten boter en room, de zuivelproducten waar je in deze paragraaf naar gaat kijken. In Figuur 42 is weergegeven hoe enkele zuivelproducten gemaakt worden uit melk.



Figuur 42 Melk en melkproducten.

De melk wordt eerst gecentrifugeerd, waardoor ze wordt gescheiden in room en ondermelk. Van de room kan boter worden gemaakt. De room kan ook weer met de ondermelk gemengd worden. Dit mengen wordt ook wel standaardiseren genoemd, omdat het in een vaste verhouding gebeurt. Zo kan men melk met precies bekende vetpercentages te maken: volle melk bevat meer room dan halfvolle melk.

Boter is een emulsie, maar wel een bijzondere: het is namelijk een emulsie die niet vloeibaar is, maar vast.

In deze paragraaf ga je dieper in op de microstructuur van boter en de manier waarop water, olie en de emulgator in boter zijn geordend.

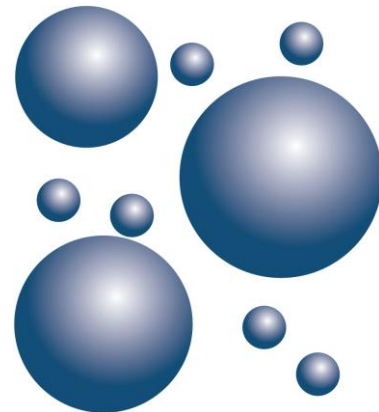
Tabel 7 geeft de samenstelling van room en van boter. Net zoals mayonaise is room een olie in water (O/W) emulsie. Boter is een water in olie (W/O) emulsie.

Tabel 7 Samenstelling van room en van boter

Component	Hoeveelheid in room (%)	Hoeveelheid in boter (%)
Water	69.5	17.2
Vet	20.0	82.0
Lactose	5.0	0.2
Eiwit	3.5	0.6



De microstructuur van room is zichtbaar in Figuur 443. De belangrijkste componenten zijn de vetdruppels (disperse fase) en het water (continue fase). In het water zijn o.a. melkeiwitten en lactose opgelost; deze vloeistof wordt ook wel het plasma van de melk genoemd. Een speciaal membraan dat is opgebouwd uit meerdere lagen eiwitten zit tussen de vetdruppels en de waterfase in. Dit membraan is in feite de emulgator in de room, vergelijkbaar met de moleculaire emulgatoren in de vorige paragraaf. De eiwitten zitten op het grensvlak van het plasma en de vetdruppels.



Figuur 43 Microstructuur van room

Boter is een vaste water in olie (W/O) emulsie en room is een vloeibare olie in water (O/W) emulsie.

Hoe kun je van room boter maken?

- Je moet van een vloeibare emulsie een vaste emulsie maken.
- Je moet ervoor zorgen dat de olie-in-water-emulsie een water-in-olie-emulsie wordt.

Hoe kun je ervoor zorgen dat deze veranderingen plaatsvinden? Door gebruik te maken van de eigenschappen van de componenten die we hebben.

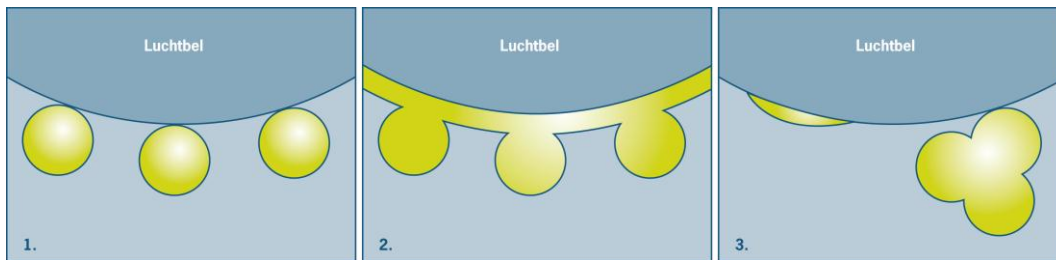
Je begint met de eigenschappen van de vetmoleculen. De vetten in melk bestaan voornamelijk uit verzadigde vetzuren, net zoals dierlijke vetten in het algemeen. Plantaardige vetten bestaan voor het merendeel uit onverzadigde vetzuren. Verzadigde vetten hebben een hoog smeltpunt. Tabel 8 geeft een overzicht van de vetzuren die aanwezig zijn in room en hun smeltpunt. De molecuulformules van de vetzuren kunnen gelezen worden als Ca:b. De a is het aantal koolstofatomen in de keten, de b is het aantal dubbele bindingen in de keten. Door het verschil in smeltpunt is in de melk altijd een gedeelte van het vet in vloeibare vorm aanwezig en een gedeelte in vaste vorm. De vaste vorm wordt ook wel kristalvorm genoemd. Deze fractie (het aandeel vet in kristalvorm) wordt groter als de temperatuur daalt. Als je de room afkoelt tot ongeveer 14 °C zal een zodanig percentage van de vetten vast worden (= de kristalvorm aannemen), dat de vloeibare emulsie een vaste emulsie wordt.

Tabel 8 De vetzuursamenstelling van roomvet

Vetzuren	Molecuulformule van de vetzuren	Percentage van het totaal vet (%)	Smeltpunt (°C)
Boterzuur	C4:0	9.5	-8
Capronzuur	C6:0	4.1	-4
Caprylzuur	C8:0	0.8	16
Caprinezuur	C10:0	3.2	31.5
Laurinezuur	C12:0	2.9	44
Myristinezuur	C14:0	11.5	54
Palmitinezuur	C16:0	26.7	63
Stearinezuur	C18:0	7.6	70
Archidinezuur	C20:0	1.8	75
Palmitoleïnezuur	C16:1	4.3	0
Elaïdinezuur	C18:1	22.4	43
Linolzuur	C18:2	3.1	-5

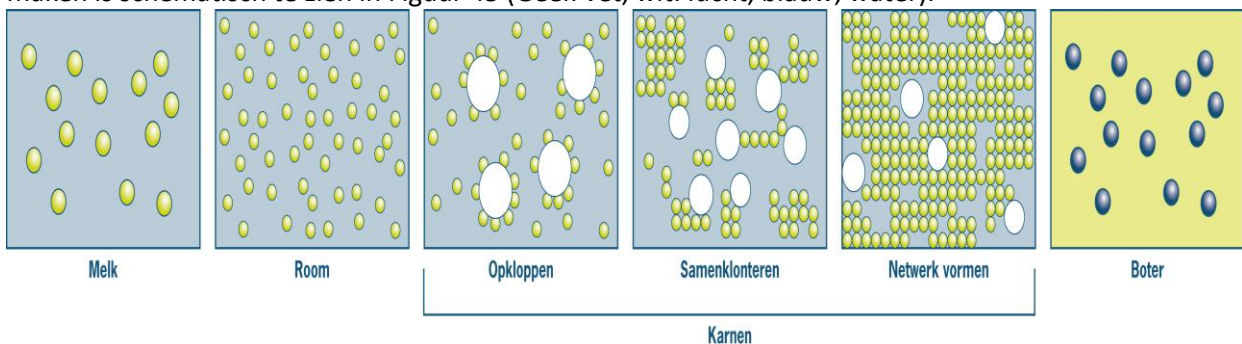
Om de O/W emulsie te veranderen in een W/O emulsie, gebruik je een andere eigenschap van het vet. Het vet in de room heeft meer affiniteit voor een luchtfase dan voor een waterfase. Het is dus een keuze uit twee slechten, waarbij de vetdruppels in room de voorkeur geven aan de lucht. Wanneer je luchtballen in de room klopt, zal het vet zich dus op het grensvlak van de lucht en de room gaan begeven (Figuur 44 stap 1; de strepen op de vetbollen stelt gedeeltelijk hard vet voor).

Op het grensvlak water-lucht spreiden ze enig van hun vloeibaar vet en een deel van hun membraam over de luchtbel (Figuur 44. stap 2). Door de hoge concentratie van het vet hechten meerdere vetbolletje aan één luchtbel. De luchtbellen bewegen door de vloeistof en botsen tegen elkaar. De films van de luchtbellen zijn door het vetlaagje instabiel, waardoor twee luchtbellen in elkaar overgaan (coalesceren). Hierdoor wordt hun oppervlakte kleiner en worden de aanwezige vetbolletjes naar elkaar toe gedreven. Het vloeibaar vet werkt nu als kleefstof, waarmee de vetbolletjes aan elkaar klonteren (Figuur 44. stap 3; er kan nog een beetje vloeibaar vet achterblijven). Zet men het opkloppen nu voort, dan krijgt het klonteren de overhand: het opkloppen wordt **karnen** genoemd.



Figuur 44 Het karnen van boter

De klonters doen nu ook mee aan het karnproces, zodat grotere klonters ontstaan. Naarmate ze groter worden, komt directe botsing ertussen steeds meer voor en groeien er klonters aan zonder dat luchtbellen daarbij nog een belangrijke rol spelen. Er komt meer vloeibaar vet vrij en op het eind van het karnen is, zijn er weinig luchtbellen over, doordat er te weinig vetbolletjes over zijn om de luchtbellen te stabiliseren. Zo wordt er een netwerk van geklonterde vetbolletjes gevormd dat de waterfase als het ware insluit. Aan het einde van het karnen heb je een continue fase van vet gevormd, met daartussen nog enkele water druppels. De emulsie is omgeslagen van een O/W emulsie in een W/O emulsie, de room is omgezet in boter. Een complete uitwerking van het boter maken is schematisch te zien in Figuur 45 (Geel: vet, wit: lucht, blauw; water).



Figuur 45 Van room tot boter

### Opgave 12 Vele vormen van boter

Wanneer je door een supermarkt loopt valt het op dat er zeer veel verschillende soorten boter zijn. Het valt ook op dat er tegenwoordig steeds meer "light" soorten boter (denk aan halvarine, Becel light en dergelijke) op de markt komen.

1. Reken uit hoeveel kcal per 100g er in boter en in light boter zal zitten als je ervan uitgaat dat boter ongeveer 80% vet en 20% water bevat, light boter 40% vet en 60% water en dat vet 9 kcal per gram bevat en water 0 kcal per gram.
2. Deze light boter soorten worden gemaakt door emulsies om te keren, je krijgt dus een o/w emulsie. Wat zal hierbij een belangrijke rol spelen om deze boter soorten stabiel te houden? (iets dat nauwelijks een rol speelt bij normale boter, denk aan wat er mis kan gaan bij mayonaise).

Boter wordt behalve voor op brood ook veel gebruikt om in de keuken mee te koken. Als ingrediënt of om in te bakken. Hier wordt nooit light boter voor gebruikt.

3. Waarom denk je dat het niet mogelijk is om een light boter te gebruiken voor het koken?
4. Hoe zou je dit probleem oplossen?

Naast boter en light boter bestaat er ook nog margarine. Margarine bevat net als gewone boter ook rond de 80% vet. Het grote verschil is dat margarine gemaakt wordt van plantaardige olie en boter van melk.

5. Wat is het voordeel van plantaardige olie gebruiken in plaats van melkvet zoals bij boter?
6. Zou je met margarine wel gewoon kunnen koken?

### **Maak zelf boter!**

Verwarm 500 mL rauwe melk tot 40 graden, laat afkoelen en zet de melk een nacht in de koelkast. De volgende dag kun je de room van de ondermelk (de melk zonder vet) scheiden. Doe de room in een jampotje en ga schudden. Het vet in de room zal gaan samenklonteren en je hebt boter gemaakt. Rauwe melk kan je bij de boer halen.

### **3.5.2 Vinaigrette**

Vinaigrette is een Franse dressing voor over de sla. De basis bestaat uit ongeveer één derde water en tweederde olie. De waterfase bestaat meestal uit azijn. De vinaigrette wordt op een simpele manier gemaakt. De olie, de azijn en de overige ingrediënten, zoals zout, peper en kruiden, worden door elkaar geschud, waardoor een ondoorzichtige emulsie ontstaat. Direct daarna, nog voordat de emulsie weer kan scheiden, giet men de vinaigrette over de sla.

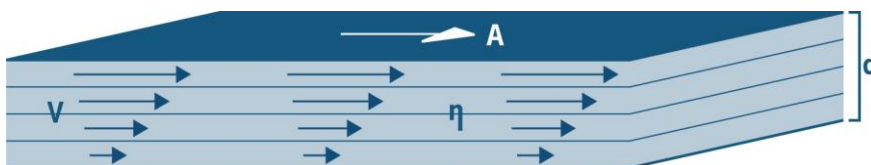
Een vinaigrette kan een olie-in-water of een water-in-olie-emulsie zijn.

#### **Opgave 13 Vinaigrette**

1. Slabladeren zijn enigszins hydrofoob. Beargumenteer welk type vinaigrette (W/O of O/W) het meest geschikt is om sla mee aan te maken
2. Maak een tekening van de microstructuur van deze vinaigrette. Geef de plaats van de olie, het water en de emulgator aan.
3. Wanneer sla gesneden is komt het celvocht, dat voornamelijk uit water bestaat, vrij uit de slacellen. Leg uit welk type vinaigrette (W/O of O/W) geschikt is voor gesneden sla.
4. Maak een tekening van de microstructuur van deze vinaigrette. Geef de plaats van de olie, het water en de emulgator aan.

De O/W emulsie en de W/O emulsie lijken niet veel op elkaar. De eerste variant is dik, lobbig en wit en de laatste is doorzichtig en veel dunner. De producteigenschap dikte, wordt ook wel **viscositeit** genoemd. De viscositeit is een maat voor de hoeveelheid energie die verloren gaat bij het stromen van een vloeistof. De energie gaat verloren doordat de vloeistofmoleculen wrijving ondervinden wanneer ze langs elkaar bewegen. Hoe groter de wrijving, des te hoger de viscositeit.

Je kunt de viscositeit van een vloeistof op de volgende manier uitrekenen. Stel je hebt twee platen, met daartussen een vloeistof (Figuur 46). De ene plaat beweegt wel en de andere niet.



Figuur 46 Twee platen met een vloeistof ertussen. Afgebeeld de factoren die invloed hebben op de kracht.

Wanneer er geen sprake zou zijn van wrijving, hoef je geen kracht uit te oefenen op de bewegende plaat. In de praktijk is er wel wrijving. Er is dus wel een kracht nodig.

Deze kracht hangt van de volgende factoren af:

- De oppervlakte van de platen – A
- De afstand tussen de platen – d
- De snelheid waarmee de platen bewegen – v
- Een constante, die afhangt van de mate van wrijving tussen de moleculen. Deze constante wordt ook wel viscositeit genoemd –  $\eta$

Bovenstaande kan ook in een formule uitgedrukt worden:

$$F = \frac{A \cdot v \cdot \eta}{d}$$

#### Opgave 14 Viscositeit

Rangschik de volgende producten op volgorde van hoge naar lage viscositeit: mayonaise, water, tomatenketchup, pindakaas, sladressing, melk

### 3.6 Stabiliteit van emulsies

Een emulsie is stabiel als de twee fasen die met elkaar gemengd zijn, niet weer ontmengen. Het proces van ontmengen wordt ook wel 'schiften' genoemd. In het geval van mayonaise zijn de twee fasen olie en water. Als de olie- en de waterfase van de mayonaise ontmengen, krijg je geschifte mayonaise. Deze ziet er onaantrekkelijk uit.

Wanneer je een moleculair gastronomisch gerecht wilt maken met nieuwe ingrediënten is het belangrijk om kennis te hebben van de factoren die invloed hebben op de stabiliteit van je levensmiddel. Je kunt nog zo'n mooie saus op tafel zetten met nieuwe ingrediënten of smaken, maar als die saus binnen vijf minuten gaat schiften heb je er niets aan.

De stabiliteitsfactoren kun je uitrekenen. Je begint met na te gaan welke krachten werken op één enkele oliedruppel in mayonaise of in een sladressing. Welke fysische krachten hebben invloed op deze druppel?

Denk aan een stilstaande druppel olie in een waterige omgeving. Twee krachten werken altijd op de druppel. De zwaartekracht trekt de druppel naar beneden en de opwaartse kracht duwt de druppel naar boven. Deze laatste kracht is gelijk aan het gewicht van het verplaatste water en moet dus groter zijn dan de zwaartekracht want olie is lichter dan water. De druppel moet dus in beweging komen. In iets natuurkundiger bewoordingen: Er is een resultante die voor een versnelling naar boven zorgt.

De druppel krijgt dus snelheid en die snelheid neemt toe. Maar bewegende objecten in een medium ondervinden altijd een weerstandskracht. Dit komt omdat de moleculen van het voorwerp en van het medium krachten op elkaar uitoefenen.



In de Figuur 47 zijn de krachten op de druppel getekend.

Opwaartse kracht en zwaartekracht veranderen niet en hangen alleen af van de grootte van de druppel en de dichtheden van de beide vloeistoffen. De weerstandskracht verandert wel: hoe groter de snelheid, hoe groter de weerstandskracht. De resultante en dus ook de versnelling worden kleiner als de weerstandskracht toeneemt.

Het merkwaardige is hier dat de versnelling er voor zorgt dat de versnelling afneemt. De versnelling graaft zijn eigen graf!

De weerstandskracht reageert heel snel op veranderingen in snelheid en dus vinden de aanpassingen vrij snel plaats. In de praktijk zie je druppels olie in water dan ook met constante snelheid naar boven gaan.

Figuur 47 De krachten die een rol spelen op een omhoog gaande emulsiedruppel.

Waar hangt deze constante snelheid van af?

Hiervoor moet je de bovenstaande analyse met formules uitbreiden.

Met behulp van Figuur 47 en de bovenstaande analyse kan worden vastgesteld dat bij eenparige beweging van de oliedruppel geldt:

$$F_o - F_z = F_w \quad (1)$$

Als je deze krachten kunt beschrijven als functie van straal, dichtheden, snelheid en van de viscositeit van het water, krijg je een vergelijking. Hiermee is af te leiden hoe de snelheid afhangt van de straal en de dichtheden van olie en water en van de viscositeit van het water.

### De zwaartekracht

Voor de zwaartekracht geldt:

$$F_z = m_{olie} \cdot g$$

$$F_z = \rho_{olie} \cdot V \cdot g$$

$$F_z = \rho_{olie} \cdot \left(\frac{4}{3} \pi \cdot r^3\right) \cdot g$$

Dus

$$F_z = \frac{4}{3} \pi \cdot \rho_{olie} \cdot g \cdot r^3 \quad (2)$$

### De opwaartse kracht

Voor de opwaartse kracht geldt de wet van Archimedes:

#### **De wet van Archimedes**

*“Wanneer een lichaam geheel of gedeeltelijk ondergedompeld is in een vloeistof, dan ondervindt dit lichaam een opwaartse kracht die gelijk is aan het gewicht van de hoeveelheid verplaatste vloeistof”.*

$$F_o = m_{water} \cdot g$$

$$F_o = \rho_{water} \cdot V \cdot g$$

$$F_o = \rho_{water} \cdot \left(\frac{4}{3} \pi \cdot r^3\right) \cdot g$$

Dus

$$F_o = \frac{4}{3} \pi \cdot \rho_{water} \cdot g \cdot r^3 \quad (3)$$

### De wrijvingskracht

Hoeveel wrijving zal de oliedruppel ondervinden en van welke factoren is deze wrijving afhankelijk?

De volgende factoren spelen een rol:

- De viscositeit van de vloeistof.  
Een dikke vloeistof geeft namelijk meer wrijving dan een dunne vloeistof.
- De snelheid van de oliedruppel.  
Een hogere de snelheid, hoe meer wrijving er plaats vindt.
- De grootte van de oliedruppel.  
Hoe groter de druppel, hoe groter de wrijvingskracht.

In de **wet van Stokes** zijn deze drie factoren samengevat. Stokes heeft vastgesteld dat het verband tussen de wrijvingskracht ( $F_w$ ) en de genoemde factoren, de viscositeit van de vloeistof ( $\eta$ ), de snelheid ( $v$ ) en de grootte ( $r$ ) van de emulsiedruppel - als volgt luidt:

$$F_w = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad (4)$$

Uit de vergelijkingen 1 t/m 4 volgt nu:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_w \cdot g - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_o \cdot g = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad (5)$$

Gebruik je in plaats van de straal ( $r$ ) de diameter ( $d$ ) dan valt af te leiden dat geldt:

$$v = \frac{(\rho_w - \rho_o) \cdot g \cdot d^2}{18 \cdot \eta} \quad (\text{probeer dit zelf af te leiden}) \quad (6)$$

Symbol	Betekenis	Eenheid
$v$	snelheid	$\text{ms}^{-1}$
$\rho_w$	dichtheid continue fase	$\text{kgm}^{-3}$
$\rho_o$	dichtheid opgeloste fase	$\text{kgm}^{-3}$
$g$	gravitatieversnelling	$\text{ms}^{-2}$
$d$	diameter van de druppel	m
$\eta$	viscositeit	Pa s

#### Opgave 15

Vul voor alle symbolen in de afgeleide formule de eenheid in en kijk of je ook op de eenheid van snelheid uitkomt.

Deze formule om de snelheid uit te rekenen is geldig voor alle emulsies met druppels die groter zijn dan  $1\ \mu\text{m}$ . De formule is dus geldig voor vetdruppels in melk, mayonaise en vinaigrettes.

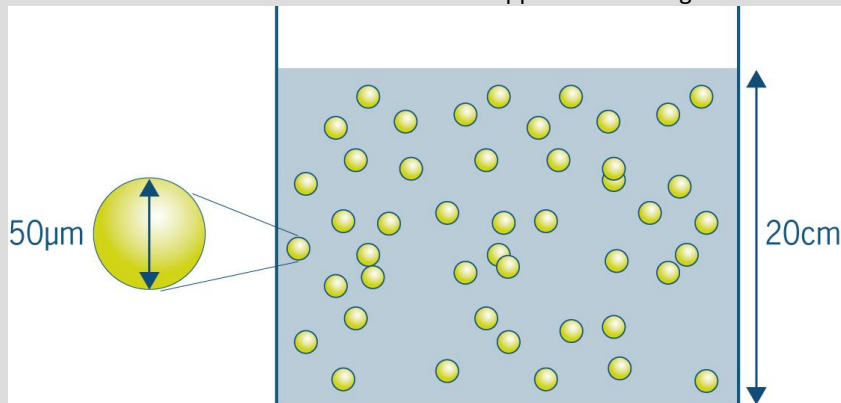
### Opgave 16 Vinaigrettes maken

Korte tijd nadat een kok een vinaigrette heeft gemaakt, zal hij/zij merken dat deze niet stabiel is. De tijd die verloopt tussen het maken van de vinaigrette en het moment dat deze op tafel komt, mag dus niet te lang zijn.

1. Beschrijf in je eigen woorden wat er gebeurt met een vinaigrette wanneer deze niet langer stabiel is.

De vinaigrette wordt als volgt gemaakt:

- I. Men pakt een kom en mengt hierin één eetlepel azijn, één eetlepel koude sterke bouillon, een halve theelepel zout en peper naar smaak.
  - II. Vervolgens wordt er langzaam olijfolie toegevoegd.
2. Leg aan de hand van deze omschrijving uit welk type emulsie gevormd wordt (W/O of O/W).
  3. De kok wil graag weten hoe lang hij/zij de vinaigrette kan laten staan, voordat deze gaat schiften. Hiervoor moet de snelheid van de oliedruppels in de vinaigrette bekend zijn. De oliedruppels in de vinaigrette hebben een diameter van  $50\ \mu\text{m}$  (Figuur 48). De viscositeit van water is  $1 \cdot 10^{-3}\ \text{Pa s}$ . Reken de snelheid uit van de oliedruppels in de vinaigrette.



Figuur 48 Vinaigrette

4. Reken uit hoe lang het duurt voordat de vinaigrette compleet gescheiden is. De bak waarin de vinaigrette zit is 20 cm hoog. De oliedruppels zijn uniform verdeeld, dus de gemiddelde afstand die een druppel aflegt is 10 cm.
5. Kant-en-klare vinaigrettes uit de winkel moeten langer staan dan die in de keuken. De industrie gebruikt daarom verdikkingsmiddelen, zoals xanthaan, om de vinaigrette dikker te maken. Door het toevoegen van xanthaan wordt de viscositeit van de continue fase hoger. Reken uit hoe hoog de viscositeit moet zijn om de vinaigrette een half jaar stabiel te houden.

## 3.7 Emulsies in de moleculair gastronomische keuken

Met je kennis van de moleculaire eigenschappen van vetten, water en emulgatoren, ga je kijken naar enkele moleculair gastronomische emulsies.

### 3.7.1 Moleculaire boter maken

Roomboter heeft de lastige eigenschap dat deze te hard is om op je brood te smeren als hij net uit de koelkast komt. Hoe kan de moleculaire gastronomie de kok een handje helpen, zodat hij de producteigenschap hardheid van zijn boter kan aanpassen aan zijn gerecht? Hervé This heeft in zijn boek *Molecular Gastronomy* beschreven hoe dit mogelijk is.



Kijk nog eens goed naar Tabel 8 in paragraaf 3.5.1. In deze tabel staan de verschillende vetten die in boter zitten met hun smeltpunten. In tegenstelling tot water, dat smelt bij 0 °C, heeft boter dus niet één smeltpunt, maar meerdere; men noemt dit een smelttraject. Het smelttraject van boter loopt van -50 °C tot +40 °C. Bij 4 °C is 70% van de boter in vaste vorm aanwezig en bij 30 °C is 10% in vaste vorm.

Roomboter kun je in drie fracties verdelen op basis van smeltpunt:

- De eerste fractie bestaat uit korte vetzuren met dubbele bindingen, waarvan de smeltpunten liggen tussen -50 °C en de 10 °C.
- De tweede fractie bestaat uit korte vetzuurketens met hier en daar een enkele binding. Deze vetten hebben smeltpunten tussen de 10 °C en de 20 °C.
- De derde fractie bestaat uit verzadigde vetten, die smeltpunten hebben tussen de 20 °C en de 40 °C.

De Franse fysisch chemici Frédéric Lavigne en Michel Ollivon en hun collega's hebben niet het smelten onderzocht, maar juist het hard worden van de boter. Dit proces wordt ook wel kristalliseren genoemd. Ze hebben boter eerst verwarmd en daarna langzaam laten afkoelen. Door het verschil in smeltpunt van de vetten konden ze de verschillende vetfracties uit de boter halen. Caprylzuur bijvoorbeeld kristalliseert bij een temperatuur van 16 graden en kan dan uit de boter gehaald worden, en caprinezuur bij 31.5 graden.

#### **Opgave 17 Hoe maak je de perfecte boter?**

Stel je wilt een zachte roomboter maken, die goed smeerbaar is als hij net uit de koelkast komt. Welke vetfracties zou je hiervoor gebruiken?

Stel je wil een harde boter maken. Welke fracties zou je hiervoor gebruiken?

#### **Moleculaire boter maken**

*Je kunt thuis zelf met behulp van een pak boter en een pannetje je eigen boter creëren. Om de verschillende vetfracties te scheiden, verwarm je de boter en laat deze dan weer langzaam afkoelen. Dit wordt ook wel gefractioneerde kristallisatie genoemd. Wanneer je de gesmolten boter langzaam laat afkoelen, kan je de kristallen (vaste gedeeltes) isoleren die bij eenzelfde temperatuur verschijnen en die allemaal uit hetzelfde soort moleculen bestaan. Haal de verschillende vetfracties uit de boter. Wanneer je een aantal vetfracties hebt, kun je ze weer met elkaar gaan mengen om de perfecte boter te maken. Zo kan je een boter creëren die smeerbaar uit de koelkast komt.*



### 3.7.2 Mayonaise.... Maar dan anders!

Zoals je nu weet bestaat mayonaise uit olie, water en een emulgator. Naast deze componenten zitten er nog een aantal andere ingrediënten in, namelijk mosterd, zout, citroensap en/of azijn: zij zijn onmisbaar, want zij zijn de smaakmakers van de mayonaise. Je weet nu waardoor een mayonaise stabiel is en welke ingrediënten er zeker in moeten zitten. In de volgende opgave ga je zelf nieuwe mayonaises verzinnen door de verschillende ingrediënten te veranderen.

#### Opgave 18 Mayonaise, maar dan anders

1. Als eerste gaan we kijken naar verschillende smaakstoffen die je kunt toevoegen. Je weet dat mayonaise bestaat uit een olie en een water fase en dat smaakstoffen oplossen in één van deze twee fases (zie hoofdstuk 2 paragraaf 1.2). Bedenk hoe je een hartige mayonaise zou kunnen maken, beschrijf het proces stap voor stap (hint: kippenboullion geeft een prima hartige smaak).

Nadat je hartige mayonaise een grote hit is geworden wordt je gevraagd of je ook een mayonaise kan maken met garnalensmaak.

2. Hoe zou je een mayonaise met garnalensmaak maken? (Denk eraan dat smaak voor een groot gedeelte bestaat uit aroma moleculen!)

Nu we naar een aantal verschillende smaken hebben gekeken gaan we kijken naar het eigeel, de emulgator.

3. Is het misschien mogelijk om zonder dit eigeel een mayonaise te maken? En wat moet je dan doen?

Zoals je ziet kun je met je kennis van emulsies en kennis uit de moleculaire gastronomie compleet andere sauzen maken, zoals een mayonaise voor mensen die allergisch zijn voor kippeneiwit.

### 3.7.3 Aioli

Aioli is een emulsiesaus uit de Provence, een regio in Frankrijk. Het wordt gemaakt van olijfolie en geperste knoflook. Maar normaal gesproken mengen olie en water toch niet met elkaar? Hoe kan deze emulsiesaus stabiel zijn zonder dat er een emulgator zoals eidooier of melkeiwit aan is toegevoegd?

Hervé This heeft ook onderzoek gedaan naar aioli. Het blijkt dat knoflook oppervlakteactieve moleculen bevat. Deze moleculen gaan - net als de andere emulgatoren die je bent tegengekomen - op het grensvlak van olie en water zitten.

Als je met alleen knoflook en olie een emulsie kunt maken, zou het dan ook met andere groenten kunnen?

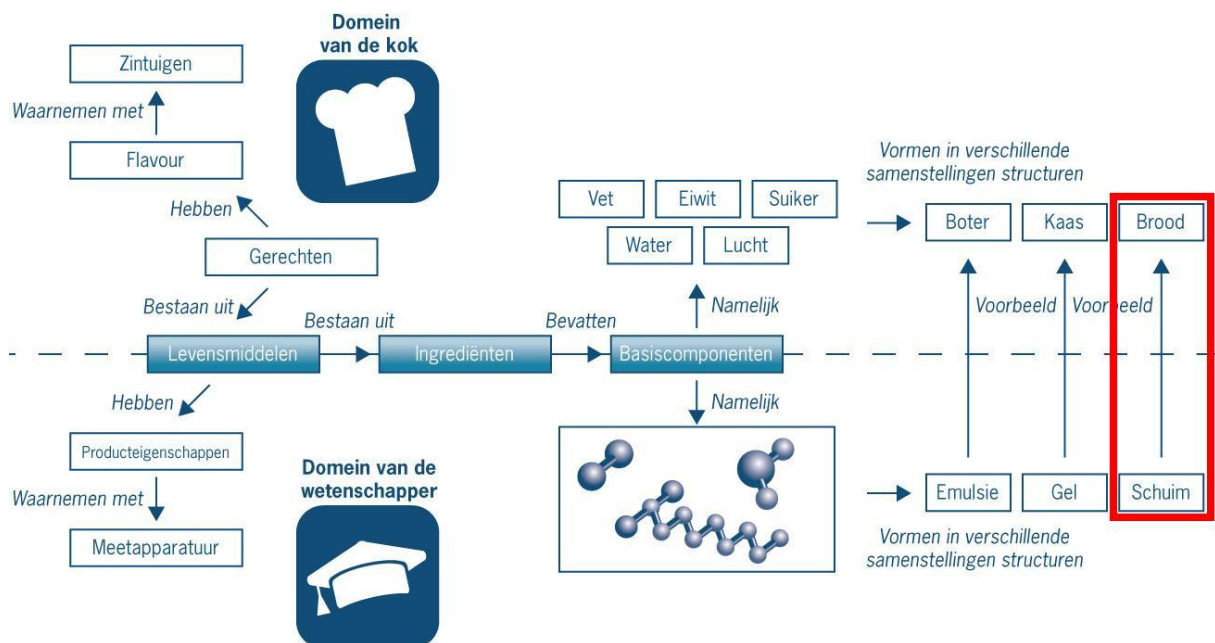
Het antwoord ligt voor de hand. Zoals uit de biologie bekend is, bevatten alle dierlijke en plantaardige cellen water en eiwitten. De eiwitten die van nature in groenten voorkomen zijn prima geschikt om als emulgator te dienen. De enige voorwaarde is dat je deze oppervlakteactieve moleculen uit de cellen haalt. Je zult dus de cellen kapot moeten maken, zoals je de knoflook perst om er aioli mee te maken, dan krijgen de emulgatoren de vrijheid om te kunnen werken.

Ook vlees en vis zijn geschikt om sauzen mee te maken. Het leuke is dat je helemaal geen extra eiwit hoeft toe te voegen, omdat de emulgator er al in zit! Een vleesmayonaise of een visaioli zijn prima te bereiden in de keuken.

## 4 Schuimen

Voor de handliggende voorbeelden van **schuimen** in de keuken zijn slagroom, chocolademousse en cappuccinoschuim. Maar wist je dat brood, krentenbollen en ijs ook schuimen zijn? Al deze levensmiddelen hebben als overeenkomst dat er gas in zit.

Ferran Adrià is een van de beroemdste koks ter wereld. Tussen 2006 en 2009 is hij vier maal op rij verkozen tot beste chef ter wereld. Hij kookt in het trendsettende Spaanse restaurant El Bulli. Het unieke aan de filosofie van de keuken van El Bulli is dat men bestaande gerechten als het ware uit elkaar trekt en ze vervolgens op een heel nieuwe manier weer in elkaar zet. Hiervoor worden nieuwe ingrediënten en materialen gebruikt. Kijk naar het volgende filmpje ([URL-2](#)) om een indruk te krijgen van wat er allemaal gebeurt bij El Bulli.



Figuur 319 De rode draad

De Nederlandse kok Moshik Roth heeft naar aanleiding van de filosofie van El Bulli een 'nieuwe' hutspot gecreëerd. Met de verschillende levensmiddelen uit de hutspot (wortel, aardappel, ui en rookworst) is een schuimstructuur gemaakt. Dit maakt het eten van het gerecht hutspot tot een nieuwe beleving.

Hoe kun je een schuim wetenschappelijk gezien definiëren?

**Een schuim is een dispersie van gas in een continue fase.** De continue fase bestaat uit een combinatie van de basiscomponenten water, eiwitten, koolhydraten en vetten. Niet alle basiscomponenten zitten in elk schuim. Een bierschuim bijvoorbeeld bestaat alleen uit water, eiwit en koolhydraten. De gasbellen in het schuim variëren in grootte van enkele millimeters (slagroom), tot enkele centimeters (brood). De continue fase in een schuim vormt vaak een dunne laag, die ook wel een **filmlaag** wordt genoemd. Je kunt de schuimen indelen in twee categorieën, afhankelijk van de moleculen in de continue fase:

- Schuimen die gebaseerd zijn op eiwitten en koolhydraten.
- Schuimen die gebaseerd zijn op eiwitten en vetten.

### Het verschil tussen een emulsie en een schuim

De disperse fase in een emulsie een vloeistof is en in schuim een gas.

Een vloeistofdruppel in een emulsie is een factor 1000 kleiner dan een gasbel in een schuim.

Verschillen tussen vloeistoffen en gassen die in dit verband van belang zijn:

- Gassen en vloeistoffen verschillen een factor 1000 in dichtheid.
- Een gas kun je meer samenpersen dan een vloeistof.
- De oplosbaarheid van gassen in water is groter dan de oplosbaarheid van olie in water.

In dit hoofdstuk zal de nadruk liggen op schuimen die gebaseerd zijn op eiwitten en koolhydraten. Schuimen kunnen vloeibaar zijn (bv. bierschuim), maar ook vast (bv. broodschuim). Daarnaast zijn er nog heel veel schuimen die er tussenin zitten: ze zijn niet geheel vast, maar ook niet geheel vloeibaar (bv. brooddeeg, slagroom en chocolademousse). De onderverdeling in vaste en vloeibare schuimen is ook terug te vinden in Figuur 50, een tabel die je ook hebt gezien in hoofdstuk 2.

		Disperse fase (opgeloste stof)		
		Gas	Vloeibaar	Vast
Continue fase (oplosmiddel)	Gas	[geen] alle gassen zijn goed oplosbaar in elkaar	vloeibare aerosol <i>mist</i>	vaste aerosol <i>rook</i>
	Vloeibaar	schuim <i>bierschuim</i>	emulsie <i>mayonaise, melk</i>	suspensie <i>zetmeeloplossing</i>
	Vast	vast schuim <i>brood</i>	vaste emulsie (gel) <i>kaas, gelatine</i>	vaste stof <i>legeringen (brons)</i>

Figuur 50 Soorten dispersies

### Leerdoelen

Nadat je dit hoofdstuk hebt doorgenomen ken/kun je:

1. de moleculaire interacties tussen eiwitten en koolhydraten die aan de basis staan van een schuim.
2. met de kennis opgedaan in dit hoofdstuk de vorming van andere schuimen die niet zijn behandeld begrijpen.
3. drie processen die voor de stabiliteit van schuimen zorgen.
4. de ideeën achter moleculair gastronomische schuimen.

### Indeling van dit hoofdstuk

Paragrafen:

- 4.1 *De rol van eiwitten in een schuim*  
Verdieping in de interacties van eiwitten in schuim.
- 4.2 *De rol van suikers in een schuim*  
Verdieping in de interacties van koolhydraten in schuim.
- 4.3 *De stabiliteit van schuimen*  
Beschrijving van de drie mechanismen die voor de stabiliteit van een schuim zorgen.
- 4.4 *Voorbeelden van schuimen in de moleculair gastronomische keuken*  
Moleculair gastronomische schuimen en enkele voorbeelden van schuimen.

## 4.1 De rol van eiwitten in een schuim

Als voorbeeld in dit hoofdstuk ga je kijken naar de meringue. Een meringue is een luchtig en knapperig schuimpje dat vaak als dessert wordt opgediend. De belangrijkste ingrediënten zijn eiwit en suiker. Er doen meerdere verhalen de ronde over de geschiedenis van de meringue. Het schuimpje zou volgens de overlevering uitgevonden zijn in de Zwitserse stadje Meiringen door een Italiaanse chef. Het recept voor een meringue werd al in 1692 opgetekend door de Franse kok François Massialot. Er zijn vele variaties op het recept. De meest bekende meringue is de harde en luchtige variant. Ter illustratie vind je hieronder een van de recepten om meringue te maken. Je hoeft het niet uit te voeren.



Figuur 51 Een meringue (Van der Linden, 2008)

### Recept Meringue

#### Ingrediënten

- 2 eiwitten (d.w.z. het wit van twee eieren)
- 100 gram suiker
- 1 tl azijn

#### Benodigheden

- oven
- Bakpapier

**Bereiding** Verwarm de oven voor op 100 graden.

Klop de eiwitten stijf en voeg ondertussen beetje bij beetje de suiker toe totdat het een mooie stijve massa wordt. Voeg de azijn toe en klop alles goed door elkaar. Vorm met 2 lepels ongeveer 12 ovale vormpjes op een met bakpapier bekleed bakblik of spuit de massa met een spuitzak in vormpjes op het bakblik. Bak de schuimgebakjes ongeveer 1 uur voor kleine vormpjes tot 1 uur en 20 minuten voor grote. De buitenkant moet droog zijn en gemakkelijk van het bakpapier loslaten.

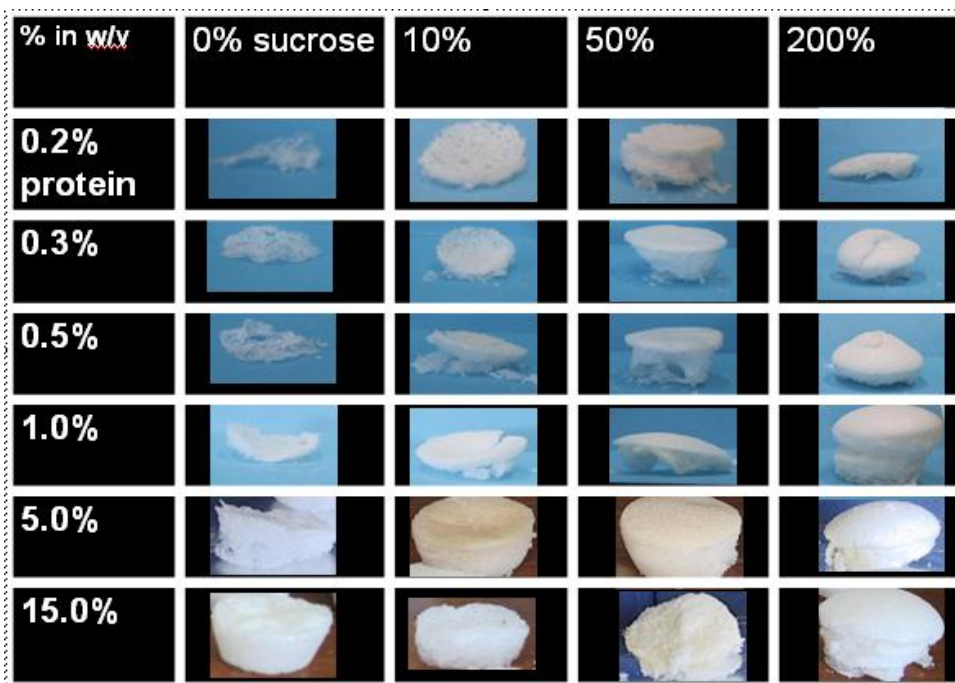
### Opgave 1 De microstructuur van een meringue

1. Zoek in de online voedingswaardetabel ([URL-3](#)) op welke hoofdbestanddelen er in het wit van een ei zitten. (Mocht je geen computer bij de hand hebben kun je de docent vragen om een uitgeprinte versie). Maak een tekening van de microstructuur van een meringue na het stijfkloppen, voordat deze de oven ingaat. Geef in de tekening aan wat de disperse en wat de continue fase is.
2. Geef aan welke moleculen in de disperse en welke in de continue fase zitten.
3. Het eiwit treedt op als emulgator. Teken het eiwit in het schuim. Geef schematisch aan waar het hydrofiele en waar het hydrofobe gedeelte zit.

Onderzoekers van de Wageningen Universiteit hebben samen met Jonnie Boer, eigenaar van het driesterrenrestaurant de Librije, onderzoek gedaan naar de meringue. De Librije wilde schuimen maken die vergelijkbaar zijn met de meringue, maar met een andere smaak. Jonnie Boer wist uit ervaring dat je bv. met appel wel een schuim kunt maken, maar niet met meloen. De koks van de Librije wilden graag een standaardrecept voor het maken van een schuim, waarmee ze schuimen zouden kunnen maken met alle mogelijke ingrediënten.

De wetenschappers en de koks waren geïnspireerd door ijs. Ijs is namelijk ook een schuim en het bestaat in honderden variaties in smaken en kleuren. Zou het mogelijk zijn om met de meringue ook zoveel variaties te maken? Kun je de smaak veranderen en toch de structuur hetzelfde houden bij meringues? Om antwoord op deze vraag te krijgen, ga je kijken naar de wetenschap achter de meringue.

Figuur 52 laat meringues zien die met verschillende concentraties eiwit en suiker (sucrose) zijn bereid. In dit hoofdstuk kom je erachter hoe de variatie in de concentratie van de basiscomponenten ervoor zorgt dat deze meringues er zo verschillend uitzien.



Figuur 52 Meringues met verschillende sucrose- en eiwitconcentraties.

In de meringue worden de basiscomponenten eiwit, suiker en lucht met elkaar gemengd.

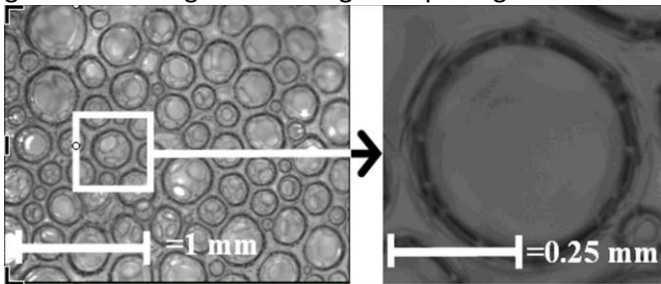
Het eiwit heeft drie functies in de meringue:

1. Het dient als emulgator, ook wel een oppervlakteactieve stof genoemd.
2. Het zorgt ervoor dat het schuim stabiel blijft wanneer het is opgeklopt.
3. Door de denaturatie van het eiwit in de warme oven, wordt het schuim nog stabiel.

Al deze drie functies zul je later nog tegenkomen in dit hoofdstuk.

Je begint bij het maken van een meringue met het kloppen van het eiwit (het wit van een ei). Je slaat dan met een garde lucht, de disperse fase, in het water van het eiwit. Waarom gaan de luchtballen die je op deze manier in de waterfase slaat, er niet meteen weer uit? Zoals in het hoofdstuk "emulsies" al behandeld is, zitten er in het wit van een ei emulgatoren (oppervlakteactieve stoffen). De emulgatoren in het wit van een ei zijn eiwitten (proteïnen).

In de mayonaise gingen de emulgatoren op het grensvlak van water en olie zitten. In de meringue is geen olie. Hier gaat de emulgator op het grensvlak van water en lucht zitten, net zoals bij zeepsop.



Figuur 53 De meringue op microschaal

Er zit wat tijd tussen het opkloppen van het schuim en het in de oven zetten. In deze tijd zorgt het eiwit er samen met de suiker voor dat het schuim niet inzakt. Ze vormen samen als het ware stevige wanden tussen de luchtbelletjes, waardoor het samengaan van meerdere kleine luchtbelletjes tot een grotere wordt voorkomen.

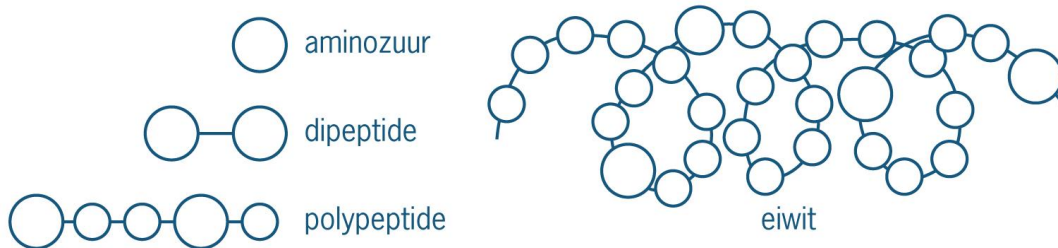
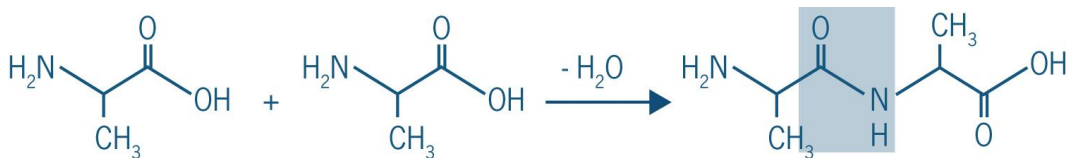
### Opgave 2 Hoeveel eiwit is er nodig

1. Een kok gaat een meringue maken. Hij heeft nog maar een paar eieren. Deze wil hij zo optimaal mogelijk gebruiken om zoveel mogelijk meringue te maken. Reken uit hoeveel luchtbelletjes er in één liter meringue schuim zitten. Maak hierbij gebruik van de volgende gegevens:
  - a. De diameter van de luchtbelletjes in de meringue is 0.4 mm.
  - b. 80% van het schuim bestaat uit lucht.
2. Het eiwit gaat helemaal op het grensvlak van de lucht en de vloeistof zitten. Reken uit hoeveel eiwit er per m<sup>2</sup> luchtbel nodig is voor het grensvlak. Je hebt de volgende gegevens:
  - a. Met 150 mg eiwit kun je een halve liter meringue schuim maken (totaal volume).
  - b. Ga er weer vanuit dat 80% van het schuim uit lucht bestaat.
3. Bepaal nu hoeveel liter meringue je kunt maken met 1 ei. In 1 ei zit 1000 mg eiwitten.

Wanneer de meringue in de oven wordt verwarmd, gaan de eiwitten die erin zitten denatureren.

**Eiwitdenaturatie** is de verandering van de structuur van eiwitten onder invloed van warmte, zuur, alcoholen, zout of kloppen. Eiwitten denatureren dus als ze blootgesteld worden aan hogere temperaturen en ook door het kloppen van het eiwit.

Door het denatureren van de eiwitten en door de toegevoegde suiker wordt het vloeibare schuim een vast schuim. Om het begrip eiwitdenaturatie te begrijpen moet je inzoomen op de secundaire en tertiaire structuur van eiwitten.

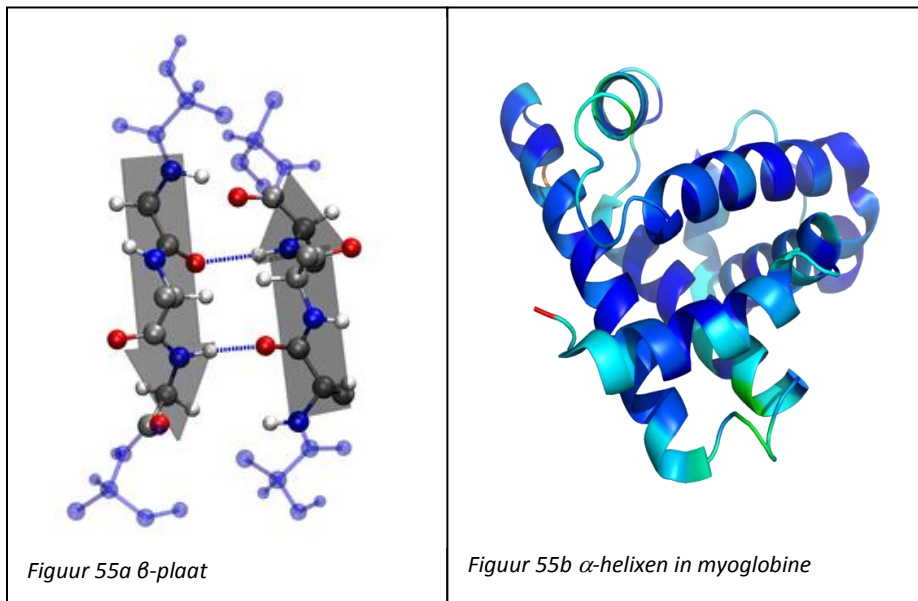


Figuur 54 Eiwitten



In hoofdstuk 2 is de bouw van eiwitten behandeld en de primaire, secundaire, tertiaire en quaternaire structuur van eiwitten uitgelegd. Met de secundaire structuur van een eiwit wordt bedoeld hoe de aminozuurketen waaruit het eiwit bestaat zich in de ruimte 'oprolt', 'krult', kortom welke ruimtelijke vorm hij aanneemt. Welke vorm ontstaat wordt grotendeels bepaald door de waterstofbruggen die de aminozuren met elkaar aangaan.

Ten eerst ontstaat er een spiraalstructuur. Deze vorm wordt de  $\alpha$ -helix genoemd (Figuur 55b). Myoglobine (een eiwit dat in spierweefsel voorkomt) is een voorbeeld van een eiwit dat voornamelijk uit helixen bestaat is. Wanneer de eiwitketen zich niet door middel van waterstofbruggen tot een perfecte spiraal kan 'opkrullen', ontstaat een  $\beta$ -plaat (Figuur 55a).



De manier waarop deze  $\beta$ -platen en  $\alpha$ -helixen driedimensionaal (= ruimtelijk) gerangschikt zijn, wordt de tertiaire structuur van een eiwit genoemd. In figuur 56 is de tertiaire structuur te zien van het eiwit alfa lactalbumine, dat in melk voorkomt. De rode spiralen zijn de  $\alpha$ -helixen en de gele pijlen de  $\beta$ -platen.

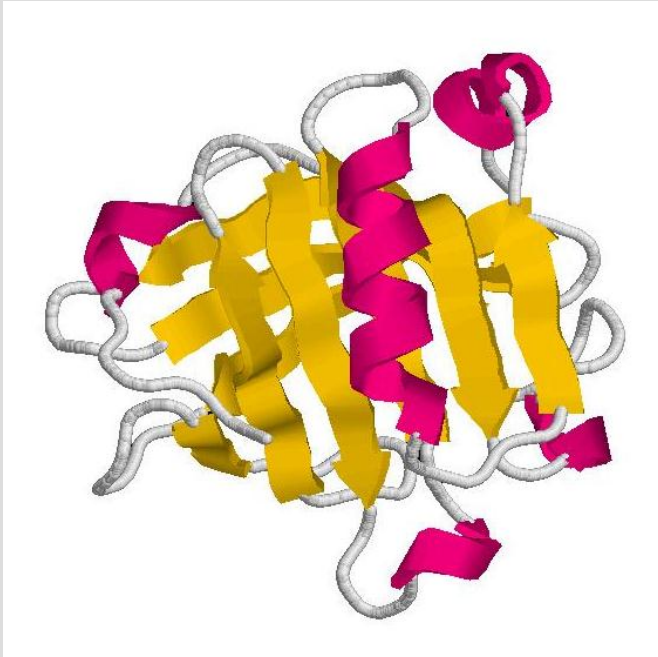


Figuur 56 Alfa lactalbumine

### Opgave 3 De tertiaire structuur van beta-lactoglobuline

Het eiwit beta-lactoglobuline komt veel in melk voor.

Ook dit eiwit heeft  $\beta$ -platen (de gele pijlen) en  $\alpha$ -helixen (de rode spiralen).

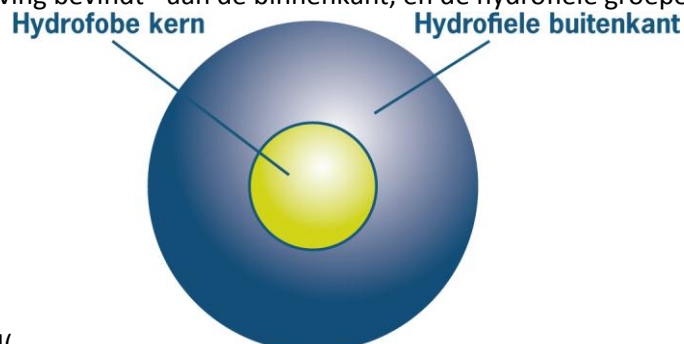


1. Uit dit eiwit zijn twee stukken aminozuurketens geknipt.  
DALFKAL  
ENKVKDT  
Schrijf de namen van deze aminozuren (in drieletterafkortingen) naast elkaar. Gebruik tabel 67C uit BINAS.
2. Teken de structuur van deze twee aminozuurketens met behulp van de structuurformules uit BINAS.
3. Bepaal op basis van het type aminozuren of de twee aminozuurketens a en b ruimtelijk een  $\beta$ -plaat of een  $\alpha$ -helix zullen vormen.

De optelsom van de secundaire en tertiaire structuur van het eiwit wordt ook wel de conformatie van het eiwit genoemd. Omdat deze conformatie gestabiliseerd wordt door met name waterstofbruggen, is hij minder sterk dan de covalente bindingen die tussen de aminozuren zitten. Gebaseerd op de conformatie kunnen twee typen eiwitten onderscheiden worden.

- Globulaire eiwitten
- Random coil eiwitten

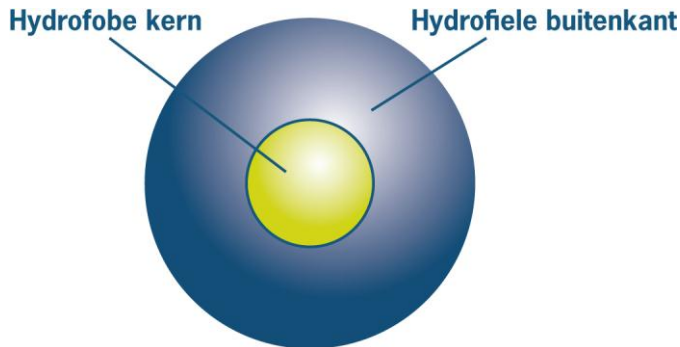
Alfa lactalbumine is een voorbeeld van een globulair eiwit (*Figuur 56*). Globulaire eiwitten hebben veel secundaire en tertiaire structuur. De hydrofobe groepen van het eiwit zitten - als het eiwit zich in een waterige omgeving bevindt - aan de binnenkant, en de hydrofiële groepen aan de buitenkant



van het eiwitmolecuul(

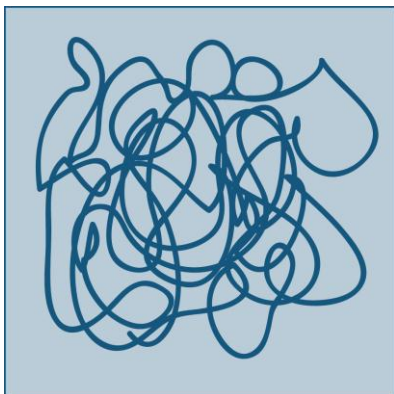


Figuur 57). Een globulair eiwit heeft dus een hydrofobe kern en een hydrofiële buitenkant. Globulaire eiwitten zijn erg compact; daarom zwellen ze niet op in water. Voorbeelden van globulaire eiwitten zijn glyadine (graaneiwit),  $\beta$ -lactoglobuline (melk-eiwit) en ovalbumine (ei-eiwit).



Figuur 57 Globulair eiwit schematisch

Random coil eiwitten zijn lange lineaire ketens, zonder secundaire en tertiaire structuur. Deze random coil eiwitten zijn grofweg in een ronde vorm opgerold. De afmetingen van deze eiwitten hangen af van de temperatuur, de buigbaarheid van de keten en het type oplosmiddel (bijvoorbeeld water met of zonder zout). Sommige eiwitten zijn van nature random coil eiwitten, bijvoorbeeld caseïne of gelatine. Een schematische tekening van een random coil eiwit is te zien in Figuur 58.



Figuur 58 Random coil eiwit schematisch

Bij denaturatie worden globulaire eiwitten omgezet in random coil eiwitten. Het eiwit in de meringue bestaat grotendeels uit ovalbumine (ei-eiwit), een globulair eiwit. Naast waterstofbruggen spelen ook andere bindingen spelen een rol in de stabilisatie van het molecuul, namelijk:

- Covalente zwavelbindingen
- Hydrofobe interacties
- Vanderwaalsbindingen
- Ion-bindingen

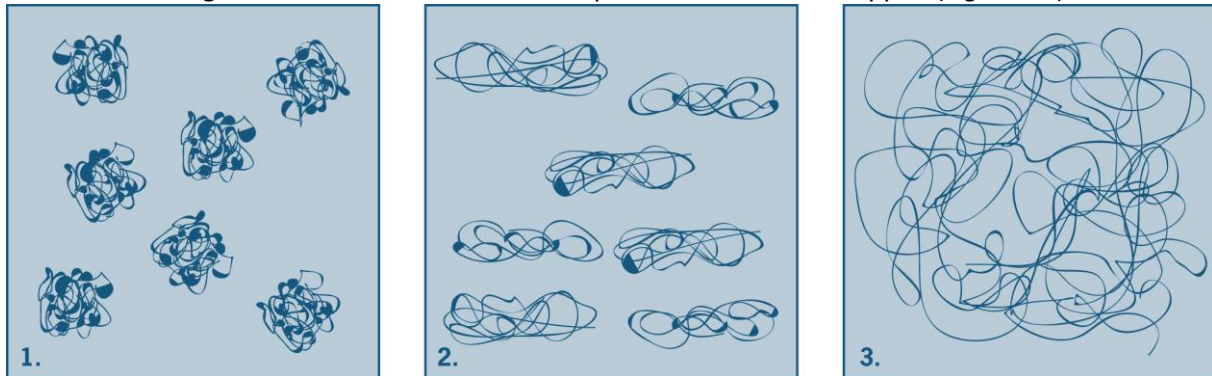
Het kloppen van het eiwit veroorzaakt denaturatie. Wanneer de garde tijdens het kloppen door het eiwit gaat, worden er krachten op de eiwitmoleculen uitgeoefend die ervoor zorgen dat het eiwitmolecuul open gaat.

Bij het verhitten van het meringueschuim in de oven treden nog meer veranderingen op. De warmte heeft tot gevolg dat waterstofbruggen, ion-bindingen, vanderwaalsbindingen en covalente

zwavelbindingen worden verbroken. Daardoor wordt het eiwit uit zijn globulaire structuur getrokken en verandert het in een random coil eiwit.

De veranderingen die plaatsvinden op moleculair niveau zijn ook met het blote oog te zien. Het meringueschuim wordt namelijk wit en hard, wanneer het verhit wordt. Maar hoe kun je deze verandering verklaren?

Deze verandering heet eiwitdenaturatie en vindt plaats in een aantal stappen (Figuur 59):



Figuur 59 Eiwitdenaturatie in drie stappen

In stap één zijn de eiwitten nog globulair. In de tweede stap zijn er een aantal bindingen zoals waterstofbruggen verbroken. De eiwitten gebruiken de plaatsen waar bindingen zijn verbroken om nieuwe bindingen aan te gaan met andere eiwitten. Hierdoor ontstaat een netwerk van eiwitten. Dit is te zien in stap drie. Een voorbeeld van zo'n netwerk is een gekookt ei. Dit netwerk zorgt voor de stevigheid van het gekookte ei. Eiwitdenaturatie kan ook wel als volgt weergegeven worden:

Eiwit (stap 1)  $\rightleftharpoons$  Gedeeltelijke denaturatie (stap 2)  $\rightarrow$  Onomkeerbare denaturatie (stap 3)

Tot op zekere hoogte is eiwitdenaturatie een omkeerbaar proces. Er bestaat aanvankelijk een evenwicht tussen het eiwit en het gedeeltelijk gedeneatureerde eiwit. Maar op een gegeven moment is de reactie aflopend en is er sprake van een onomkeerbaar proces. Dit vindt ook plaats bij het koken van een ei.

Waardoor ontstaat de witte kleur van een gekookt ei? In hoofdstuk 3 heb je kunnen lezen dat emulsies wit zijn omdat de vetdruppels groter zijn dan de golflengte van licht. De eiwitten in een ei daarentegen zijn niet groter dan de golflengte van het licht (ze zijn ongeveer 5 nm). Hier normale eiwit in een ei is dus doorzichtig. Toch wordt het wit als het gekookt wordt. Door het koken gaan de eiwitten uit het eitje denatureren en aan elkaar plakken. Hierdoor ontstaat een cluster. Deze clusters bestaan uit heel veel moleculen, waardoor de grootte van het eiwitcluster bijna een micrometer wordt. Deze grootte is groter dan de golflengte van licht, en daardoor is een gekookt ei wit van kleur.

#### Opgave 4 Eiwitdenaturatie

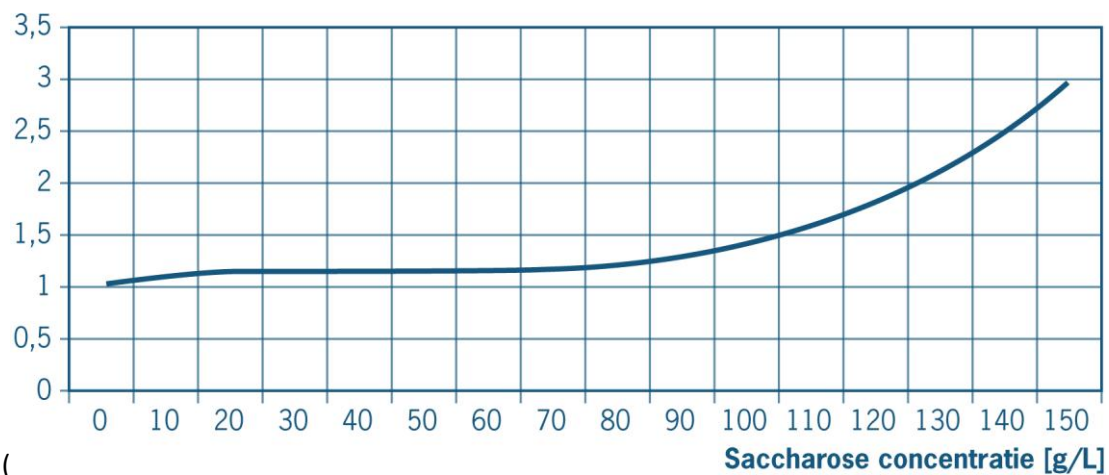
Bekijk het volgende filmpje ([URL-4](#)) voor meer uitleg over eiwitdenaturatie. Worden bij eiwitdenaturatie de covalente bindingen tussen de koolstofatomen in de aminozuurketen verbroken? Leg je antwoord uit.

## 4.2 De rol van suikers in een schuim

In de meringue is naast het basismolecuul eiwit ook het basismolecuul suiker aanwezig. Voor een meringue wordt sacharose, ofwel tafelsuiker, gebruikt. Dit is een disacharide, die bestaat uit glucose en fructose. Mono- en disachariden worden in schuimen toegepast om ze zoeter te maken. Daarnaast zorgen ze ervoor dat het schuim, wanneer het gebakken is, knapperig wordt. Ook spelen

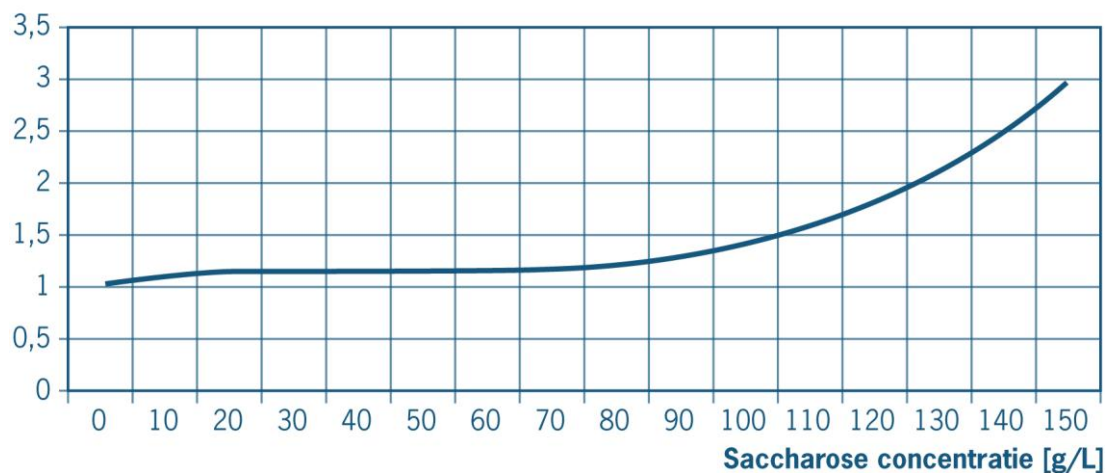
sachariden een belangrijke rol in de dikte van het schuim. Wanneer de meringue nog niet in de oven staat, voorkomt de sacharose dat het schuim inzakt door vloeistofuitloop. De suiker verhoogt de viscositeit van het schuim

#### Relatieve viscositeit [cP]



(  
Figuur 60). Sacharose is in moleculair opgeloste vorm aanwezig in de continue fase van de meringue.

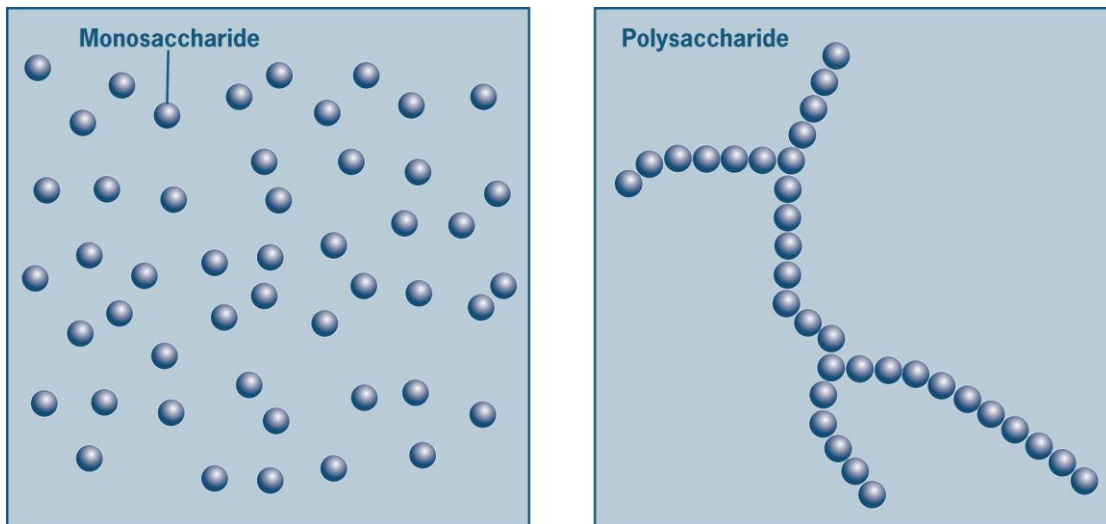
#### Relatieve viscositeit [cP]



Figuur 60 Relatie tussen sacharose-concentratie en viscositeit

Als je de meringue verwarmt in de oven, verdampt het water en stijgt de suikerconcentratie. Hierdoor neemt de viscositeit nog meer toe. Dit zorgt er samen met de eiwitdenaturatie voor dat het vloeibare schuim een vast schuim wordt.

Bij andere vaste schuimen, zoals brood, beschuit en cake, is er nog een ander mechanisme naast eiwitdenaturatie dat ervoor zorgt dat het schuim niet in elkaar zakt. Deze producten bevatten polysachariden. Omdat polysachariden macromoleculen zijn, geven ze al bij veel lagere concentraties dan sacharose een hoge viscositeit. Polysachariden vormen in deze levensmiddelen een netwerk, dat vergelijkbaar is met het netwerk dat bij eiwitdenaturatie wordt gevormd. In dit ruimtelijk netwerk wordt het water als het ware gevangen. Zie Figuur 61.



*Figuur 61 Het verschil tussen een monosaccharide en een polysaccharide in oplossing op moleculaire schaal.*

#### **Opgave 5 Suiker in schuim**

1. Teken een schematische grafiek waarin je het verband aangeeft tussen suikerconcentratie en viscositeit. Geef voor de volgende soorten koolhydraten aan welk verband je verwacht: sacharose, glucose en zetmeel.
2. Bij sommige recepten voor een meringue wordt naast tafelsuiker ook nog maïzena gebruikt. Maïzena bestaat voornamelijk uit maïszetmeel. Waarom wordt dit ingrediënt gebruikt?
3. Is alle suiker uit de meringue te vervangen door maïszetmeel?

#### Beroepsveldblok 4

##### **Een echte meester-kok heeft iets magisch**

*Interview met Adrian Bradshaw, geboren Australiër en al 11 jaar werkzaam bij Mars International, sinds 2 jaar werkzaam bij Mars Nederland (bekend van Mars®, Snickers®, Twix®, M&M's®) in Veghel als proces manager. Bradshaw heeft in Australië gestudeerd voor chemisch ingenieur en had altijd al interesse in levensmiddelen.*

Bradshaw begint meteen enthousiast te vertellen over de verschillen tussen koks in de keuken en werken in de levensmiddelenindustrie. "Koks hebben iets magisch" aldus Bradshaw, "zoals een echte meester-kok ingrediënten kan mengen en dan met een unieke smaakcombinatie tevoorschijn kan komen". Dat mensen hier een maandsalaris voor willen betalen kan hij wel begrijpen. Volgens Bradshaw is wat iemand in de industrie doet helemaal anders, hier is het doel om te zorgen dat voedsel dat dagelijks wordt gebruikt van goede en constante kwaliteit is. Als voorbeeld geeft hij een Mars®, dit product moet een constante kwaliteit hebben, of je het nu op dezelfde dag dat je het koopt op eet, of 12 maanden laat liggen en daarna pas eet, de smaak moet (bijna) hetzelfde zijn.

Op de vraag of "kennis uit de keuken" dan geen plaats heeft in de industrie begint Bradshaw te lachen. Hij legt uit dat elk nieuw project begint in de keuken. Onderzoekers bedenken een nieuw product en een kok maakt dit in de keuken. Wanneer dit product voldoet aan bepaalde eisen (lang genoeg stabiel, lekker, prijs etc.) moet het product op grotere schaal gemaakt worden (dit heet scale-up). Dit is waar Bradshaw om de hoek komt kijken, hij vormt een soort schakel tussen de technici die de scale-up uitvoeren en de onderzoekers. Volgens Bradshaw zijn er in dit scale-up proces 3 belangrijke stappen. Allereerst de zogenaamde pilot-scale. In de keuken wordt het nieuwe product nog per stuk gemaakt (een zogenaamd batch proces), de pilot-scale is iets groter dan de keuken en al een continu proces, dit betekent dat het een doorlopend proces is, je zou dit kunnen zien als een lopende band. Als het product goed gemaakt kan worden op pilot-scale, wordt alles ongeveer 10 keer zo groot gemaakt, dus 10 keer zoveel productie. Dit heet de conceptline-scale. Deze conceptline-scale kan al genoeg produceren om één land te voorzien van het nieuwe product. Bij Mars gebruiken ze hier vaak België voor, dat met ongeveer 10 miljoen inwoners goed te bevoorraden is vanuit Noord-Brabant. Als alles goed werkt op de conceptline-scale en het product verkoopt goed dan kan worden besloten om het proces nog eens 5 keer groter te maken. Deze laatste fase wordt de industrial-scale genoemd, en vanaf dan kan het nieuwe product overal ter wereld verkocht worden.

Volgens Bradshaw is dit scale-up proces en het verschil met de keuken goed te vergelijken met het beklimmen van een berg. De kok en Bradshaw willen allebei naar dezelfde top (een nieuw product), alleen de manier hoe ze daar komen is anders. De kok zal dit lopend doen, terwijl Bradshaw zal proberen een kabelbaan te bouwen. De kok zal er dus wel als eerste zijn, maar zal dit niet veel vaker doen (ofwel, zijn product blijft op kleine schaal). Als Bradshaw z'n kabelbaan eenmaal af is kunnen heel veel mensen naar de top (ofwel, zijn product is beschikbaar op grote schaal, en nog belangrijker; betaalbaar).

Je zult je ondertussen misschien af vragen waarom dit interview nu precies in een hoofdstuk over schuimen staat. Bradshaw heeft in zijn 11 jaar dat hij nu bij Mars werkt regelmatig met schuimen gewerkt, onder andere aan meringue's en het schuim in de Mars®. Hoe zit het dan met kennis van schuimen uit de keuken? Bradshaw legt uit dat stabiliteit van een schuim op industrie schaal erg belangrijk is, maar dat vaak al op "keuken" - schaal gezorgd moet worden dat de stabiliteit zeer hoog is, omdat het anders bijna onmogelijk is om een schuim door een continu proces te laten lopen. Schuimen zijn erg kwetsbaar en kunnen niet goed tegen kracht, en kracht is juist de manier waarop iets door een continu proces wordt bewogen, terwijl je in de keuken een schuim heel voorzichtig kunt behandelen. Vanwege deze moeilijkheden met het transporteren, worden schuimen ook altijd zo laat mogelijk in het proces pas toegevoegd aan het product, want vanaf dat moment moet er heel voorzichtig met het product om gegaan worden. In de industrie heb je dus dezelfde problemen als in de keuken, zelfs in een grotere vorm.

Echter, Bradshaw ziet ook voordelen aan werken met schuimen op industrie schaal. Je krijgt een veel gelijkmatigere schuimstructuur, die dus vanzelf ook al stabielere is (denk aan disproportioneering). Daarnaast is bijvoorbeeld nougat (de vulling in Mars®) een schuim dat eigenlijk alleen op grote schaal echt goed gemaakt kan worden. Ook kun je makkelijker dingen als hoge druk gebruiken, iets dat een heel andere bubbel structuur geeft.

Dan legt Bradshaw uit hoe zijn gemiddelde dag eruit ziet. “Ik kom ’s ochtends binnen en kijk of ik m’n baas zie, zo ja, dan ren ik zo snel mogelijk weg.” Iets serieuzer vertelt hij dat zijn dagen nogal verschillen. Meestal werkt hij aan één groot project, wat meestal zo’n 4 weken in beslag neemt. Hij werkt dan naar een grote proef toe (bijvoorbeeld testdraaien op pilot-scale), hier gaat veel voorbereiding in zitten aangezien een dag proefdraaien al snel zo’n 20.000 euro kan kosten. Hij moet dus zorgen dat er zo efficiënt mogelijk gewerkt kan worden. Op de dag (of dagen) van het proefdraaien, maakt hij lange dagen en hierna begint het eigenlijk weer opnieuw met de nieuwe kennis van dit proefdraaien. Een belangrijke taak voor hem is het zorgen dat alles goed verloopt.

Voor zijn functie moet Bradshaw redelijk veel reizen, aangezien hij verantwoordelijk is voor het opstarten van nieuwe vestigingen van Mars over de hele wereld. Hij zegt dat hij zo’n 40% van z’n tijd aan het reizen is, maar dat 15% het gemiddelde is van een medewerker bij Mars.

Als laatste komt de vraag waarom je zou kiezen voor een bètaopleiding, en specifiek werken in de levensmiddelenindustrie. Volgens Bradshaw is een belangrijke reden dat het gewoon goed verdiend. Als afgestudeerde kun je iets wat niet iedereen kan, je bent gewild. Dit is zeker in de levensmiddelenindustrie zo, waar start salarissen gemiddeld 10 tot 20% hoger liggen dan in overige industrieën. Naast salaris is volgens Bradshaw een technische baan ook vaak uitdagend en afwisselend (zoals ook wel blijkt uit de indeling van Bradshaw z’n werk, elke keer is toch weer een ander project waar hij aan werkt met andere mensen, andere locaties en andere omstandigheden). “Natuurlijk moet je ook passie hebben voor wat je doet” vertelt Bradshaw, “Wat je leert op een universiteit is belangrijk, maar het echte leren begint pas met een baan. Gelukkig is dit wel heel anders dan leren op een universiteit.”

### 4.3 De stabiliteit van schuimen

De tijd die zit tussen het maken van de meringue en het moment dat je het in de oven zet, mag niet te lang zijn. Als je te lang wacht zakt het schuim in. Een bierschuim staat ook maar een paar minuten en zakt dan langzaam in: doodslaan wordt dit genoemd. Een broodschuim daarentegen zal nooit inzakken.

Een schuim is stabiel, wanneer niet alle lucht er meteen uit gaat. Bij een broodschuim zal dit niet zo'n probleem vormen, maar bij bierschuim is doodslaan een veelvoorkomend probleem.

Waardoor is het ene schuim wel stabiel en het andere niet? En hoe kun je voorkomen dat een schuim gaat inzakken?

Er zijn drie processen die grotendeels de stabiliteit van het schuim bepalen:

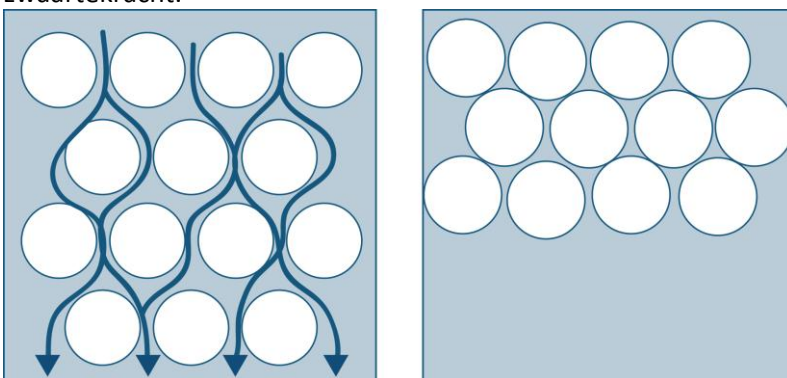
- **Drainage**
- **Disproportionatie**
- **Coalescentie**

#### 4.3.1 Drainage

Drainage is het verschijnsel dat de vloeistof die de continue fase van het schuim vormt, tussen de gasbellen uit loopt (*Figuur 62*) Het gevolg is dat het schuim sneller in elkaar zakt en dus minder lang stabiel is. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat de zwaartekracht de vloeistof naar beneden trekt.

$$F_z = m \cdot g$$

De snelheid waarmee drainage plaatsvindt, hangt af van de hoeveelheid vloeistof die aanwezig is in het schuim. Is er veel vloeistof aanwezig, dan is de massa van de vloeistof in het schuim groot en dus de kracht waarmee de vloeistof naar beneden getrokken wordt ook. Omdat de kracht groot is, zal de snelheid van drainage hoog zijn. Wanneer er al een gedeelte van de vloeistof uit het schuim gelopen is, neemt de snelheid van drainage af. Drainage kan worden voorkomen door de viscositeit van de vloeistof te verhogen. De hogere viscositeit zorgt voor een kracht die tegengesteld is aan de zwaartekracht.



*Figuur 62 Drainage*

Drainage kan op een simpele manier *gemeten* worden, namelijk door het volume van de vloeistof die zich onder het schuim bevindt op te meten.

Met de volgende formule kun je de drainagesnelheid *uitrekenen*:

$$Q = \frac{2 \cdot \rho \cdot g \cdot 0.4 \cdot d \cdot \delta}{3\eta}$$

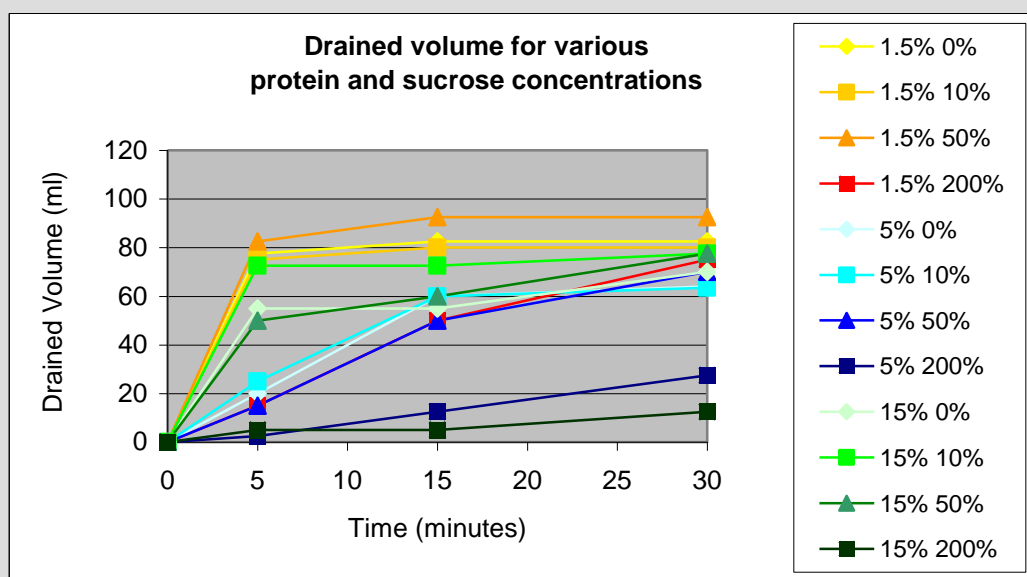
Symbol	Betekenis	Eenheid
Q	Drainagedebiet	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
ρ	Dichtheid	kgm <sup>-3</sup>
d	Diameter schuimbel	m
δ	Dikte van continue fase tussen de bellen	m
η	Viscositeit van continue fase	Pa.s
g	Gravitatieconstante	Ms <sup>-2</sup>

#### Opgave 6 De drainage van meringueschuim

Gebruik bij deze opgave de formule voor de drainage.

In het onderzoek naar de meringue van driesterrenrestaurant De Librije (§ 1.2) is ook onderzoek gedaan naar drainage. Men wilde weten wat de invloed van de eiwitconcentratie en de suikerconcentratie op de drainagesnelheid is..

1. Leg in je eigen woorden uit wat drainage is
2. Leg uit welke twee krachten invloed hebben op de drainagesnelheid van de meringue.
3. Kijk naar Figuur 60. Leg uit wat de relatie is tussen de concentratie suiker in de meringue en de viscositeit van de vloeistof.
4. In figuur 63 (hieronder) is de hoeveelheid drainage van de meringue uitgezet tegen de tijd. Er is gebruik gemaakt van verschillende concentraties eiwit en sacharose. (In de eerste kolom achter het symbooltje staat de eiwitconcentratie - van boven naar beneden van 1.5 tot 15% - en in de tweede kolom de suikerconcentratie - van boven naar beneden van 0 tot 200%). Welk schuim is het langst stabiel gebleven? Zie ook Figuur 52 voor een foto van de 'meringues' die bij de verschillende eiwit- en sucroseconcentraties ontstaan.
5. Leg met behulp van figuur 60 uit waarom de meringue met een lage suikerconcentratie veel drainage heeft en de meringue met de hoogste suikerconcentratie de minste.



Figuur 63 Drainage in de meringue



### Opgave 7 Rekenen met drainage

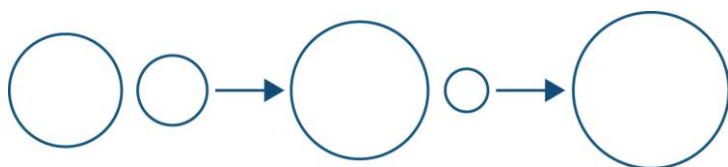
1. Beredeneer aan de hand van de formule voor de drainage op welke manier de drainagesnelheid verminderd kan worden
2. Een kok wil het meringueschuim graag langer laten staan dan normaal. Daarom voegt hij carrageen toe als verdikkingsmiddel aan de meringue. Reken uit hoeveel carrageen je moet toevoegen om het schuim een half uur te laten staan. De relatie tussen de concentratie carrageen en de viscositeit kun je vinden in de tabel. Maak gebruik van de volgende gegevens:

Concentratie carrageen (%)	Viscositeit (mPa*s)
1	57
2	397
3	4411
4	25356
5	51425

- a. Het schuim heeft een totaal volume van 200 mL.
- b. Het schuim bestaat voor 85% uit lucht en 15% uit carrageen/water.
- c. Het schuim is niet meer stabiel als alle vloeistof er uit gelopen is.
- d. De diameter van de gasbellen is 0.5 millimeter.
- e. De dichtheid van de continue fase is  $1000 \text{ kgm}^{-3}$ .
- f. De dikte van de filmlaag is 100 micrometer.

### 4.3.2 Disproportionering

Wanneer je badschuim in een bad vol water doet, zijn in het begin alle gasbellen klein. Maar na enige tijd zie je de gasbellen groter en groter worden. Dit verschijnsel wordt ook wel disproportionering genoemd. Het wordt veroorzaakt door een verschil in druk tussen de grote en de kleine gasbellen in een schuim. Dit verschijnsel treedt ook op in bierschuim, champagneschuim en in de meringue. Disproportionering is in belangrijke mate verantwoordelijk voor het doodslaan van bier.



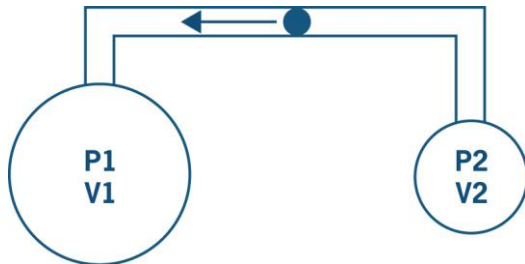
Figuur 64 Disproportionering

Bij disproportionering verplaatst het gas in de luchtballen zich. De verplaatsing kan in twee richtingen gebeuren:

- Van een kleine luchtbel naar een grotere luchtbel
- Van luchtbel naar de lucht buiten het schuim, die in feite een oneindig grote luchtbel vormt.

Disproportionering kan geïllustreerd worden met een simpele proef. Stel je een buis voor met twee zeepbellen (Figuur 65). De ene zeepbel is groter opgeblazen dan de andere zeepbel. Er zit een kraantje tussen de twee zeepbellen zodat de lucht van beide zeepbellen niet met elkaar in contact komt. Zodra het kraantje wordt opengezet stroomt de lucht van de kleine naar de grote bel. Waarom gaat de lucht stromen?

Er is een **drukverschil** tussen de kleine en de grote zeepbel.



Figuur 65 Proefopstelling met twee zeepbellen.

De hoeveelheid gas dat oplost in de continue fase is een functie van de druk in de luchtbel. De druk in de luchtbel kan berekend worden volgende de Laplace vergelijking:

$$\Delta p = p_{in} - p_{buiten} = \frac{2\gamma}{r}$$

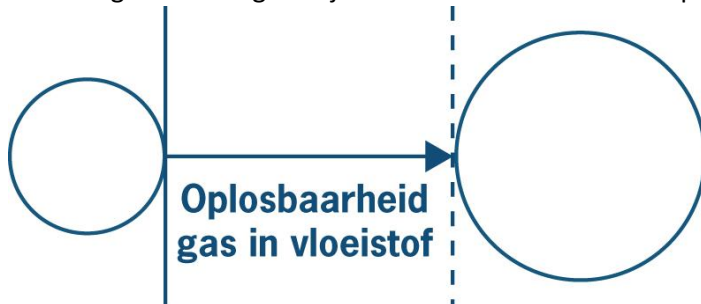
Hier is  $r$  de straal (m) en  $\gamma$  de oppervlaktespanning (N/m) van de bel. De twee  $p$ 's staan voor de druk in en buiten de luchtbel (in Pascal). Volgens deze vergelijking is de druk in een kleine bel groter dan de druk in een grote bel. Wanneer de druk smaller is in de kleine bel, zal meer gas uit deze bel oplossen in de continue fase. De concentratie gas is dan hoger rondom deze kleine luchtbel. Door dit verschil in concentratie tussen de luchtbellen, zal er diffusie van het gas plaatsvinden van de kleine naar de grote luchtbel. Het resultaat is dat de kleine luchtbel krimpt en de grote luchtbel groeit.

#### Opgave 8 Volume van luchtballen

De gasballen in een meringue zijn niet van gelijke grootte. De ene luchtbel heeft een straal van 0.5 millimeter, de andere luchtbel van 1 millimeter.

1. Reken het volume van deze twee gasballen uit.
2. Hoeveel gasballen zitten er in 1 mL schuim?
3. De luchtbel van 1 millimeter heeft een drukverschil van 1 bar. Reken de druk in de andere luchtbel uit. De luchtballen hebben een oppervlaktespanning van 50 N/m.
4. Wat is het verband tussen de grootte van de luchtbel en de druk in de luchtbel?

De proef die met de zeepbellen beschreven is, wordt iets ingewikkelder wanneer je naar bierschuim of meringue schuim gaat kijken. Naast het drukverschil speelt ook de **oplosbaarheid** van het gas in de vloeistof een rol. Het ene gas is beter oplosbaar in water dan het andere (Tabel 9). De gasmoleculen verplaatsen zich namelijk door de vloeistof van de kleine luchtbel naar de grote luchtbel (Figuur 66). Het gas moet de weerstand oplosbaarheid overwinnen om zich te kunnen verplaatsen.



Figuur 66 Schematische afbeelding disproportionering

Tabel 9 Oplosbaarheid gassen in water

ml /ml water	0°C	15°C	30°C
N <sub>2</sub>	0,0235	0,0177	0,0149
CO	0,0354	0,0268	0,0222
CO <sub>2</sub>	1,713	1,075	0,760
O <sub>2</sub>	0,0492	0,0365	0,0274
N <sub>2</sub> O	0,0235	0,0177	0,0149

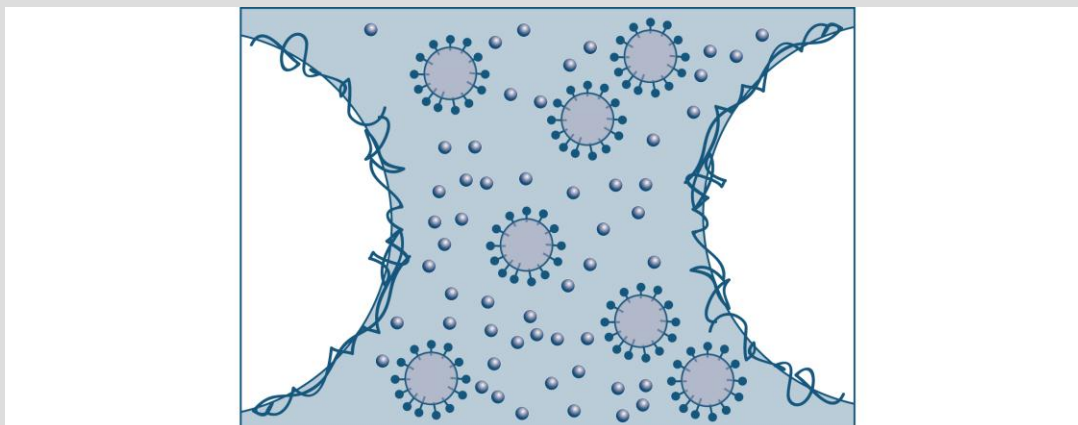
### Opgave 9 Slagroom

De productontwikkelaars van Friesche Vlag ontwikkelen slagroom in spuitbussen.

- Schrijf op wat de functies van de verschillende ingrediënten van de slagroom zijn.



- Geef met namen aan waar de verschillende ingrediënten in het product zitten in de volgende tekening



- Van welke twee eigenschappen van de gasbellen en van het gas is disproportioneerig afhankelijk?
- Waarom hebben de productontwikkelaars gekozen voor N<sub>2</sub> als gas in de slagroom en niet voor CO<sub>2</sub>?

Als je zelf slagroom wilt maken begin je met melkroom (melk met meer vet dan gewone melk) en ga je dit opkloppen (lucht erin slaan dus). Eigenlijk doe je dus hetzelfde als bij het maken van boter (zie paragraaf 3.5.1) alleen ga je nu niet door tot het vet in de room begint met samenklonteren en je een w/o emulsie krijgt. Je krijgt bij slagroom een netwerk van luchtbellens die gestabiliseerd worden door het vet in de room. Het vet vult ook voor het grootste deel de vloeistof op die tussen de luchtbellens zit (zoals je ziet in de bovenstaande afbeelding). Slagroom is een schuim op basis van koolhydraten en olie, en niet op basis van koolhydraten en eiwitten (zoals de meringue). In slagroom zal het vet dus de taak van de eiwitten overnemen om de luchtbellens te stabiliseren.

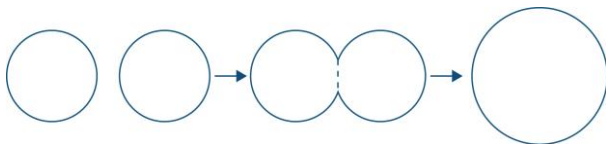
1. Waarom gebruik je voor het maken van slagroom melkroom in plaats van melk?
2. Waarom moet je de room die je gebruikt niet homogeniseren?

Het opkloppen van slagroom doe je bij lage temperatuur (tussen de 4 en 7 graden). Ook moet je slagroom niet bij een temperatuur lager dan 0 graden bewaren.

3. Waarom ligt de optimale temperatuur om slagroom te maken zo laag? (Hint: Het vet is hier belangrijk)
4. Waarom moet je slagroom niet bij een temperatuur lager dan 0 graden maken of opslaan? (Hint: Hier speelt het water tussen de luchtbellens een belangrijke rol)

### 4.3.3 Coalescentie

Coalescentie is het samengaan van twee luchtbellens in het schuim waartussen een erg dunne laag vloeistof zit (afstand tussen de bellens: 10-100 nm). De dunne film tussen de twee luchtbellens breekt en de druppels vormen samen één nieuwe druppel. Dit verschijnsel is weergegeven in Figuur 67. Eiwitten spelen een rol in het tegengaan van coalescentie. Doordat er eiwitten rondom de luchtbel gaan zitten, ontstaat een soort elastische laag. Deze laag beschermt de luchtbel tegen het samensmelten met een andere luchtbel. Net zoals twee stuiterballens elkaar afstoten, stoten de gasbellens elkaar ook af. Het samengaan kan ook voorkomen worden door de laag vloeistof tussen twee gasbellens groter te maken.



Figuur 67 Coalescentie

Coalescentie en disproportionering hebben tot gevolg dat de gasbellens in een schuim groter worden. Coalescentie en disproportionering treden niet alleen op tussen de gasbellens in het schuim onderling. Beide processen vinden ook plaats tussen de gasbellens in het schuim enerzijds en de lucht buiten het schuim anderzijds. Door deze twee processen zullen de gasbellens uiteindelijk verdwijnen: het schuim wordt onstabiel, de schuimstructuur verdwijnt.

#### Opgave 10 Stabiliteit van schuimen en emulsies vergelijken

Schuimen en emulsies zijn eigenlijk redelijk gelijk. Het zijn allebei mengels van water met iets wat eigenlijk niet met water mengt. Bij schuimen lucht, en bij emulsies olie. In deze opgave ga je wat verder in op hoe dit verschil van invloed is op de stabiliteit. Denk bij deze opgave steeds aan chocolade mousse voor een schuim en mayonaise voor een emulsie.

Allereerst gaan we kijken naar de oplosbaarheid van olie in water (emulsie) en lucht in water (een schuim).

1. Welke van de twee (olie of lucht) lost beter op in water?
2. Wat betekent dit voor de stabiliteit, wat zal minder stabiel zijn, een emulsie of een schuim? (denk hier vooral aan disproportionering zoals beschreven in paragraaf 4.3.2)
3. Wat denk je dat er zal gebeuren als je een paar druppels olie op de schuimkraag van een biertje laat vallen?

De bellens in een schuim zijn over het algemeen groter dan de bellens in een emulsie

4. Wat zal dit betekenen voor de stabiliteit? Welke is stabiel?
5. Wat is je eindconclusie, welke van de twee is het meest stabiel?

## 4.4 Voorbeelden van schuimen in de moleculair gastronomische keuken

Je weet nu wat een schuim is en wat de rol van eiwitten en koolhydraten in een schuim zijn. Verder weet je nu ook welke processen de stabiliteit van schuimen beïnvloeden. Deze kennis kun je nu gaan toepassen op moleculair gastronomische schuimen in de moleculaire keuken.

### 4.4.1 Hoe eiwitten ervoor zorgen dat het mooiste champagneschuim gevormd wordt

Een van de onderzoeken die is uitgewerkt door Hervé This in zijn boek “Molecular Gastronomy” gaat over champagneschuim. In dit onderzoek is door champagneproducent Moët et Chandon het schuim van champagne onder de loep genomen. De kwaliteit van de schuimkraag was namelijk de laatste jaren minder geworden. Het hoort een stabiel schuim te zijn met fijne gasbellen. Maar het was een schuim met grote bellen geworden. Dat ziet er minder mooi uit en bovendien verdween de schuimkraag snel. Het doel van het onderzoek was om te ontdekken wat voor die mooie, stabiele schuimkraag op de champagne zorgde. In het onderzoek werd gekeken naar de invloed van eiwit op het schuimen. Sinds een aantal jaren gebruikt men bij champagnefabrikanten een filtratieapparaat om de helderheid van de champagne te verbeteren. De champagnefabrikanten dachten dat dit wel eens de oorzaak van het probleem zou kunnen zijn.

#### Opdracht 11 Champagneschuim

1. Champagneschuim bevat de volgende componenten: water, eiwitten, koolhydraten en lucht. Maak een tekening van het schuim. Geef aan waar de componenten zich bevinden.
2. Wat is de rol van het eiwit in het champagneschuim?
3. Bij de filtratie wordt een gedeelte van het eiwit verwijderd. Wat zou de invloed hiervan kunnen zijn op het schuim?

### 4.4.2 De sabayon

Een sabayon is een van oorsprong Italiaans/Frans gerecht. Het wordt gemaakt door een mengsel van eierdooiers en suiker met elkaar te kloppen. Na het kloppen wordt het mengsel verwarmd en wordt er een dessertwijn aan toegevoegd. Door te blijven kloppen ontstaat een vloeibaar schuim. Vaak wordt de sabayon opgediend met stukjes fruit, zoals aardbei. Een heerlijk luchtig dessert!



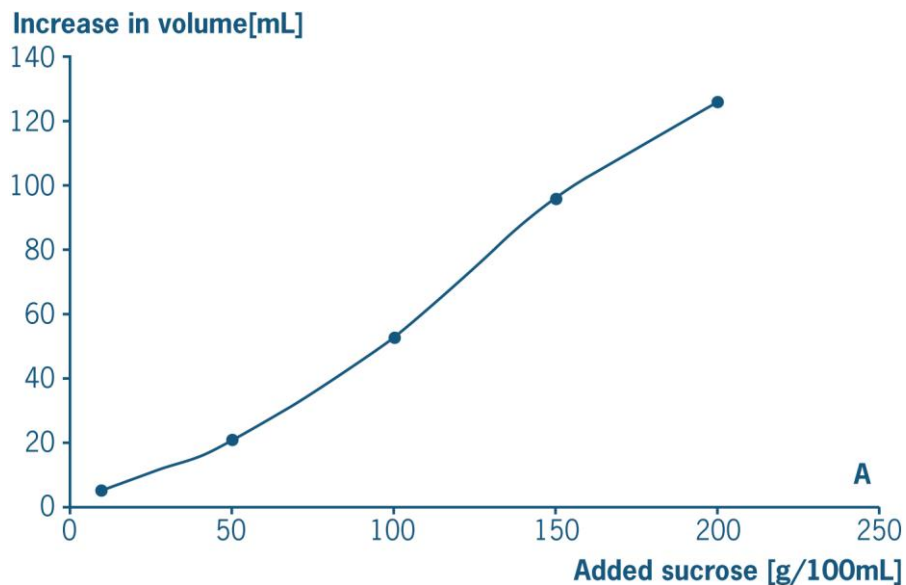
Figuur 68 Sabayon

#### Opgave 12 Sabayons

1. Leg uit wat er op moleculair niveau met het eiwit gebeurt, wanneer je dit gaat verwarmen.
2. De denaturatietemperatuur van eigeel is 68 °C. Volgens koks moet de sabayon niet tot 100°C verwarmd worden. Waarom niet?
3. Leg uit tot welke temperatuur het eigeel dan wél verhit moet worden.

#### 4.4.3 Hetzelfde schuim met andere eiwitten

Hoe is het afgelopen met het meringue onderzoek van restaurant de Librije en Wageningen Universiteit? Uit het onderzoek is gebleken dat de hoeveelheid eiwit niet beperkend is voor de hoeveelheid schuim die gevormd kan worden. Ongeveer 10 gram eiwit per liter vloeistof is voldoende om een stabiel schuim te maken. De hoeveelheid vloeistof is wel beperkend in de meringue. Minder vloeistof betekent dat er minder vloeistof tussen de bellen aanwezig is. Om een schuim te kunnen vormen moet er een minimale hoeveelheid vloeistof tussen de gasbellen in zitten. De hoeveelheid vloeistof kan vergroot worden door water toe te voegen of door extra suiker toe te voegen. De suiker bindt het water met waterstofbruggen en zorgt voor een vergroting van het volume van het schuim (Figuur 69). De suikermoleculen komen net als het water tussen de gasbellen te zitten. Daarnaast zorgt suiker ook voor de juiste viscositeit.



Figuur 69 Invloed suiker op schuimvolume

Wanneer er alleen eiwit wordt gebruikt als ingrediënt voor de meringue, ontstaat er een rubberachtige textuur, terwijl juist de knapperigheid van de meringue belangrijk is. De knapperigheid hangt af van de hoeveelheid toegevoegde suiker. Hoe meer suiker, des te knapperiger de meringue!

Hoe kun je deze kennis toepassen om de meringue te vernieuwen? Zou het bijvoorbeeld mogelijk zijn om een meringue te maken met magere melk in plaats van met eiwit, zodat je net als bij ijs allerlei smaakvariaties kunt maken? Het antwoord is ja! Magere melk bevat ook eiwitten. De hoeveelheid eiwit in magere melk is voldoende om het hele oppervlakte van de luchtbellen met eiwitmoleculen te bedekken. Het is nu mogelijk om verschillende meringues te maken door grondstoffen toe te voegen aan de melk! Wat dacht je van een bosbessenmeringue, een sinaasappelmeringue of een caramelferingue? Het is allemaal mogelijk dankzij de moleculaire gastronomie!

#### 4.4.4 Espuma's maken met de kidde

Een nieuw apparaat in de keuken waarmee tegenwoordig veel verschillende schuimen worden gemaakt is de kidde (*Figuur 70*). Een kidde is eigenlijk een soort slagroomsput, alleen dan een stuk flexibeler. Met de kidde kun je slagroom maken, maar je kunt er ook allerlei nieuwe verrassende schuimen mee maken. De kidde wordt vooral gebruikt om de populaire espuma's mee te maken. Espuma's zijn schuimen gemaakt van bijvoorbeeld fruitsap, komkommersap of koffie. Een kidde is een stalen kan waar je alle ingrediënten van het schuim in doet. Op de kidde zit een ventiel, waarop je een gaspatroon kunt aansluiten. Het gas uit dit patroon wordt in het ingrediëntenmengsel gespoten, waardoor de schuimstructuur ontstaat. Bekijk de volgende twee filmpjes ([URL-5](#) en [URL-6](#)), waarin een bietenschuim en een cappucinoschuim met behulp van een kidde gemaakt worden.



*Figuur 70 Kidde*

#### Opgave 13 Espuma's maken

Een voorbeeld van een recept waarbij de kidde wordt gebruikt is de aardbeien espuma (*figuur 71*):

##### Aardbeien espuma

##### Benodigheden

- 900 g aardbeien
- 110 g suiker
- 8,5 g gelatine (5 blaadjes van 0,85 %)

##### Bereidingswijze

Laat de gelatine in koud water wellen. Kook de aardbeien met de suiker. Pureer ze en doe ze door een fijne zeef. Verwarm 200 mL van de aardbeienpuree tot 60 graden en roer de gelatine hier doorheen. Voeg de overige puree toe en laat dit mengsel afkoelen. Klop het afgekoelde mengsel met een garde en doe het in de kidde. Gebruik 1 patroon met stikstofgas.

1. Waarom is gelatine geschikt om een schuim mee te maken?
2. Wat is de rol van de overige ingrediënten in het schuim?
3. Waarom wordt de gelatine verwarmd tot 60 graden?
4. Waarom wordt er in de kidde gebruik gemaakt van stikstofgas?



*Figuur 71 Aardbeien espuma*



## 5 Tot slot

Je bent de afgelopen weken bezig geweest met twee verschillende structuren, schuimen en emulsies. Misschien herinner je nog wel dat in de rode draad ook de structuur gel genoemd wordt, maar dat hier verder niets mee gedaan is. Om je toch een beeld te geven hoe een gel vernieuwend gebruikt zou kunnen worden in de keuken is het volgende experiment zeer geschikt.

### Alginaat bolletjes

#### Benodigheden

- 250 ml water
- 1,3 gram citras
- 1,8 gram alginaat
- 250 ml mango puree
- Calcium bad met 1 liter water en 5 gram calcium

#### Uitvoering

- Los de citras op in het water
- Voeg de alginaat toe er mix opnieuw. Zorg dat je de alginaat langzaam toevoegt zodat het niet samenklontert
- Verhit dit mengsel kort tot maximaal 90 graden
- Voeg de mango puree toe aan de afgekoelde oplossing (zet de oplossing eventueel in ijs om het afkoelen te versnellen)
- Meet de pH. De pH moet 4 zijn, is dit niet het geval voeg citras toe tot je een pH van 4 bereikt
- Maak het calcium bad door 1 liter water in een kom te doen en hier de 5 gram calcium in op te lossen

De alginaat bolletjes kun je nu maken door voorzichtig met een spuit een beetje van de alginaat oplossing in kleine druppels in het calcium bad te laten vallen. Laat de druppels hier ongeveer 20 tot 30 seconden in liggen om hard te worden, en haal ze er dan voorzichtig uit met een zeefje (tip: het is handig om het zeefje al in het calcium bad te hangen en hier de druppels voorzichtig op te laten vallen). Haal de hard geworden alginaat bolletjes nog even door schoon water.



Je zult zien dat je kleine gel bolletjes krijgt die aan de buitenkant hard zijn en van binnen een sterke mango smaak hebben. Je kunt de mango natuurlijk vervangen door allerlei andere smaakstoffen, zoals sap uit de supermarkt of zelfs bouillon om een hartig bolletje te maken!

*“Moleculaire gastronomie is een tak van wetenschap die zich bezighoudt met het bestuderen van natuurkundige en chemische transformaties van eetbare materialen tijdens het koken, en de sensorische fenomenen die geassocieerd worden met hun consumptie”.*

Moleculaire gastronomie maakt onderdeel uit van een wetenschapsgebied dat nog verder kijkt dan alleen de keuken, namelijk levensmiddelentechnologie. Binnen de levensmiddelentechnologie wordt naar levensmiddelen gekeken, niet alleen in de keuken, maar ook op grotere schaal (zoals in het interview met Adrian Bradshaw al naar voren kwam). Ook de levensmiddelentechnologie is op te delen in een toegepast gedeelte, waarin kennis wordt gebruikt om bestaande processen te verbeteren of nieuwe processen te verzinnen en een wetenschappelijk deel, waarbij het zoeken naar nieuwe kennis centraal staat. Bij levensmiddelentechnologie combineer je kennis van natuurkunde, scheikunde en biologie, maar altijd vanuit een levensmiddel. Zoals je ziet, levensmiddelentechnologie is meer dan alleen moleculaire gastronomie, en ook meer dan alleen maar onderzoek.



## 6 Begrippenlijst

<b>Aminozuren</b>	Moleculen die aan het ene uiteinde een aminogroep hebben en aan het andere uiteinde een carboxylgroep. Aminozuren zijn de bouwstenen van eiwitten.
<b>Amphifiel</b>	Een amphifiel molecuul heeft zowel interactie met hydrofiele als met hydrofobe moleculen (Water en olieminnend).
<b>Chemische verandering</b>	Bij chemische veranderingen ontstaan er nieuwe stoffen.
<b>Coalescentie</b>	Twee gasbellen worden één, waarbij de filmlaag tussen de druppels verdwijnt
<b>Colloïde</b>	Een deeltje dat groter is dan een molecuul, maar te klein om met het blote oog zichtbaar te zijn. Colloidale deeltjes zijn tussen 0.001 en 10 micrometer groot.
<b>Conformatie</b>	De ruimtelijke structuur van een eiwit, die voornamelijk bepaald wordt door de secundaire en tertiaire structuur van het eiwit.
<b>Continue fase</b>	De fase dat als oplosmiddel dient in een dispersie.
<b>Disacharide</b>	Twee aan elkaar gekoppelde monosachariden.
<b>Disperse fase</b>	De fase met de opgeloste stof(fen) in een dispersie.
<b>Dispersie</b>	Een dispersie is een mengsel van stoffen die op microschaal (fijn verdeeld) gemengd zijn. Ze bestaan uit een continue fase en een disperse fase.
<b>Disproportionatie</b>	Het verplaatsen van gas van kleine luchtbelletjes naar grote luchtbelletjes, door een verschil in druk.
<b>Drainage</b>	Het verschijnsel dat de vloeistof uit een schuim loopt.
<b>Drempelwaarde</b>	De ondergrens van de concentratie van een smaakstof waarbij deze nog kan worden waargenomen.
<b>Eiwitten</b>	Een keten van meer dan 50 aminozuren, die vaak als secundaire structuur een spiraalvorm heeft en meestal ook een tertiaire en quaternaire structuur.
<b>Eiwitdenaturatie</b>	De verandering van de tertiaire structuur van een eiwit, door het verbreken van waterstofbruggen, covalente zwavel bindingen, Hydrofobe interacties, Van der Waals bindingen, en ion-bindingen.

<b>Emulgator</b>	Een emulgator wordt ook wel een oppervlakactieve stof genoemd. Het is een amphifiel molecuul dat zowel interactie heeft met de hydrofobe moleculen, zoals vet, als met de hydrofiele moleculen, zoals water.
<b>Emulsie</b>	Een dispersie van twee niet mengbare stoffen die onder normale omstandigheden geen stabiel en homogeen mengsel vormen. De meest voorkomende emulsie is een dispersie van olie in water of water in olie op microschaal.
<b>Filmlaag</b>	De laag vloeistof, die aanwezig is, tussen de gasbellen in het schuim.
<b>Flavour</b>	De optelsom van de waarneming van smaak, geur en textuur bij het proeven van een gerecht.
<b>Fysische verandering</b>	Bij fysische veranderingen ontstaat er geen nieuwe stof, alleen de fase waarin de moleculen zich bevinden verandert.
<b>Geur</b>	De waarneming van vluchtige moleculen met behulp van receptoren in de neus.
<b>Globulaire eiwit</b>	Een eiwit dat over veel secundaire en tertiaire structuur beschikt.
<b>Grenswaarde</b>	De ondergrens van de concentratie van een geurstof waarbij het nog waargenomen kan worden.
<b>Harden</b>	Een chemisch proces waarbij een onverzadigde binding wordt omgezet in een verzadigde binding door additie van waterstof. Dit proces kan bij onverzadigde vetzuren worden toegepast.
<b>Heteroglucaan</b>	Een polysacharide dat uit 2 of meer soorten monosachariden bestaat.
<b>HLB nummer</b>	Het getal dat aangeeft of de emulgator er de voorkeur aan geeft om in olie of in water op te lossen. Aan de hand van het HLB getal kan bepaald worden welk type emulsie er gevormd wordt.
<b>Homoglucaan</b>	Een polysacharide dat uit één soort monosachariden bestaat.
<b>Hydrofiel</b>	Stoffen die goed met water mengen (waterminnend). De moleculen van deze stof kunnen voldoende waterstofbruggen met de watermoleculen vormen.

<b>Hydrofoob</b>	Stoffen die niet met water mengen (watervrezend). De moleculen van deze stof kunnen onvoldoende/geen waterstofbruggen met de watermoleculen vormen.
<b>Hydrofobe interacties</b>	Moleculaire interacties, veroorzaakt door een beperking in bewegingsvrijheid van watermoleculen, die ervoor zorgen dat oliedruppels gaan samenvloeien
<b>Hydrogeneren</b>	Het verbreken van dubbele bindingen in onverzadigde vetten, waardoor de vetten meer verzadigd worden. Dit proces wordt ook wel harden genoemd.
<b>Hydrolyse</b>	De splitsing van een chemische binding waarbij water wordt opgenomen.
<b>Interacties</b>	De balans tussen afstotende en aantrekkende krachten tussen moleculen en andere deeltjes. Op colloïdale schaal wordt hierdoor de stabiliteit van emulsies en schuimen bepaald.
<b>Ingrediënt</b>	De bouwstenen van een levensmiddel of gerecht. Ingrediënten zijn terug te brengen naar basiscomponenten: eiwitten, vetten, water, koolhydraten en lucht.
<b>Lipofiel</b>	Stoffen die goed in vet/olie oplossen (vetminnend). Ander woord voor hydrofoob.
<b>Macromoleculen</b>	Een molecuul dat bestaat uit 10-10.000 aan elkaar gekoppelde moleculen.
<b>Microschaal</b>	microschaal omvat deeltjes met een grootte tussen 0.001 en 10 micrometer.
<b>Microstructuur</b>	De manier waarop koolhydraten, vetten, eiwitten, lucht en water in een levensmiddel of product geordend zijn op microschaal ( $10^{-6}$ m).
<b>Moleculaire gastronomie</b>	Een tak van wetenschap die zich bezighoudt met het bestuderen van natuurkundige en chemische transformaties van eetbare materialen tijdens het koken, en de sensorische fenomenen die geassocieerd worden met hun consumptie.
<b>Moleculair gastronomisch gerecht</b>	Een gerecht waarbij de kennis van natuurkunde en scheikunde gebruikt is om dit gerecht te vernieuwen. Deze gerechten vernieuwen onze kijk op eten en gastronomie.

<b>Monosacharide</b>	Een enkelvoudig suikermolecuul. Bevat drie tot zes C-atomen, en minimaal 1 hydroxylgroep en 1 aldehyde- of ketongroep.
<b>Neuronen</b>	Zenuwcellen. Cellen die informatie verwerken en doorgeven door middel van elektrochemische signalen.
<b>Oligosacharide</b>	Een keten waarin 3 tot 10 monosachariden aan elkaar gekoppeld zijn.
<b>Onverzadigde vetten</b>	Vetten met een hoog gehalte aan onverzadigde vetzuren. Dit zijn vetzuren met dubbele bindingen in hun lange koolstofketen.
<b>Oproming</b>	Een vorm van ontmenging van vet en water in melk, waarbij het vet bovenop de melk gaat drijven.
<b>Opwaartse kracht</b>	Een omhoog gerichte kracht op een lichaam dat in een vloeistof is ondergedompeld veroorzaakt door die vloeistof, zoals een oliedruppel in het water. De opwaartse kracht in een vloeistof is gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.
<b>Partiticoëfficiënt</b>	De verhouding waarin een stof zich als disperse fase verdeelt over de continue fasen water en olie.
<b>Peptide</b>	Een keten van 2 tot 50 aminozuren.
<b>Plasma</b>	Van melk: de waterige vloeistof waarin eiwitten, melksuiker en andere stoffen zijn opgelost.
<b>Polysacharide</b>	Een keten bestaande uit 200 tot 5000 aan elkaar gekoppelde monosachariden.
<b>Random coil eiwit</b>	Een eiwit dat niet over veel secundaire en tertiaire structuur beschikt.
<b>Reactie</b>	Een proces dat leidt tot een chemische verandering.
<b>Relatieve viscositeit</b>	De viscositeit van een oplossing ten opzichte van een referentieoplossing (bijvoorbeeld water).
<b>Schuim</b>	Een dispersie van luchtbelletjes in een continue fase die bestaat uit de basiscomponenten water en eiwitten in combinatie met koolhydraten of vetten. De luchtbelletjes zijn op microschaal opgelost in de continue fase.
<b>Sensorische test/onderzoek</b>	Een sensorische test of onderzoek is bedoeld om aan de hand van zintuiglijke waarnemingen meer te weten komen over verschillende kenmerken van het product.

<b>Smaak</b>	Het waarnemen van niet-vluchtige stoffen met behulp van receptoren op de tong.
<b>Textuur</b>	Alle fysische en structurele kenmerken die kunnen worden waargenomen door aanraking en die zijn gerelateerd aan deformatie wanneer er een kracht op wordt uitgeoefend.
<b>Uitstraling</b>	Hoe een gerecht eruitziet.
<b>Umami</b>	Een van de vijf smaken, naast zout, bitter, zoet en zuur. De smaak is afkomstig van glutamaat.
<b>Verestering</b>	De koppeling van 3 vetzuren en een glycerolmolecuul waardoor een vet ontstaat (triglyceride).
<b>Verzadigde vetten</b>	Vetten met een allen maar verzadigde vetzuren. Dit zijn vetzuren met alleen maar enkele bindingen in hun lange koolstofketen.
<b>Viscositeit</b>	De viscositeit is een maat voor de weerstand bij het vloeien van een vloeistof. Energie wordt afgegeven doordat de vloeistofmoleculen wrijving ondervinden, wanneer ze langs elkaar bewegen, tijdens het vloeien. Hoe groter de wrijving, des te hoger de viscositeit.
<b>Waterstofbruggen</b>	Moleculaire interactie tussen watermoleculen, die veroorzaakt worden door een verschil in elektronegativiteit tussen de waterstofatomen en de zuurstofatomen. De waterstofbruggen zijn een gevolg van interacties door het verschil in elektronegativiteit tussen het dipoolkarakter van de moleculen. Kunnen vormen tussen moleculen die een OH en NH groep bevatten.
<b>Wrijvingskracht</b>	Wrijving (schuifwrijving) is het natuurkundige begrip dat de weerstandskracht aanduidt, die ontstaat als twee oppervlakken langs elkaar schuiven, terwijl ze tegen elkaar aan gedrukt worden.

## 7 URL-Lijst

URL-1:

[http://www.youtube.com/watch?v=S8S\\_F4clWVQ](http://www.youtube.com/watch?v=S8S_F4clWVQ)

URL-2:

[http://www.youtube.com/watch?v=UEzDmmfDHU&feature=PlayList&p=D56E3EBD8EF0BC9F&playnext=1&playnext\\_from=PL&index=37](http://www.youtube.com/watch?v=UEzDmmfDHU&feature=PlayList&p=D56E3EBD8EF0BC9F&playnext=1&playnext_from=PL&index=37)

URL-3:

<http://www.voedingswaardetabel.nl/>

URL-4:

[http://www.youtube.com/watch?v=3IL\\_Df5ouUc](http://www.youtube.com/watch?v=3IL_Df5ouUc)

URL-5:

<http://www.youtube.com/watch?v=hhfQlvIVg7A>

URL-6:

<http://www.youtube.com/watch?v=zUyJzQmcKK0>