

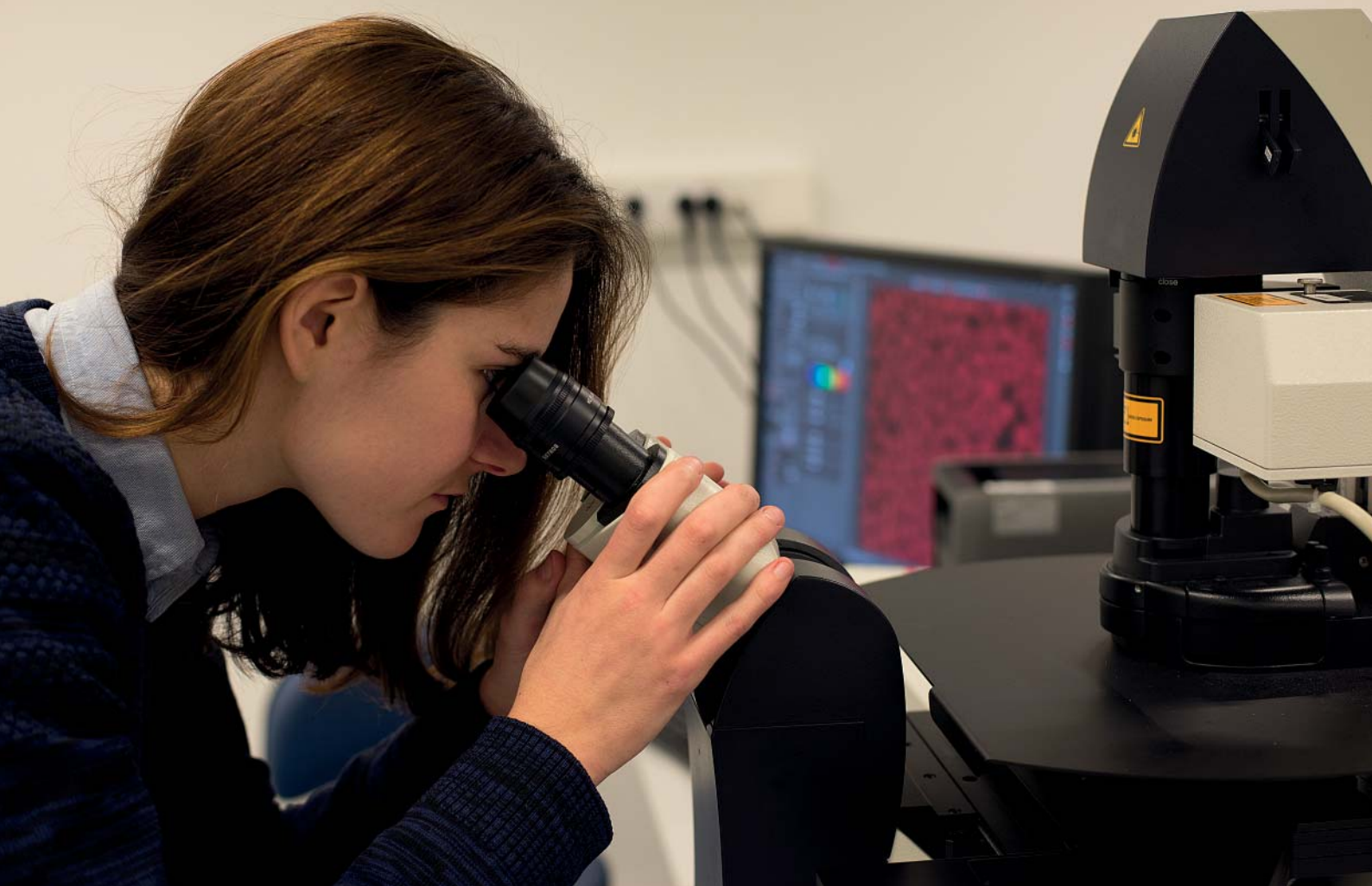


Foto: Mathias Porsmose Clausen

Om forfatterne



Morten Christensen er postdoc i biofysik
morten.christensen@sdu.dk



Mathias P. Clausen er postdoc i biofysik
mpc@sdu.dk



Ole G. Mouritsen er dr. scient. og professor i biofysik. Leder af centrene MEMPHYS og Smag for Livet.
ogm@memphys.sdu.dk

Alle er ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet og deltager i det nationale center Smag for Livet, støttet af Nordea-fonden.

Se ind i maden

Med de nyeste mikroskopiteknikker er det nu muligt at “se” ind i maden og visualisere, hvordan vand, fedtstoffer, proteiner og kulhydrater er placeret i forhold til hinanden, fx i mayonnaise, ost, flødeskum, marengs og smør. Det giver os mulighed for bedre at forstå madens struktur, som er afgørende for smagsoplevelsen.

Når vi beskriver madens smag, er det ofte en skøn blanding af indtryk fra alle vores fem sanser: at se, at høre, at smage, at lugte og at føle. Lugtesansen er normalt mest dominerende, især stimuleret af aromastoffer, som blæses fra munden ud gennem næsen. Af de fem sanser er følesansen måske den mest upåagtede, og vi bliver mest opmærksom på dens betydning, hvis den ikke er som forventet. Fx hvis vi oplever et surmælksprodukt, som er grynet i stedet for cremet, eller en kartoffelchip, som er blød i stedet for sprød.

Udtryk som grynet, blød, sprød, cremet, våd, tør, melet, fedtet, tyk, tynd, plastisk, elastisk, viskøs, klæg, prikkende, slimet osv. er mere eller mindre veldefinerede udtryk, vi bruger om, hvordan maden føles i munden, altså *mundfølelsen*. Disse sanseindtryk af maden er relateret til, hvordan vi sanser man-

dens *struktur*. Inden for de videnskaber, som beskæftiger sig med, hvordan vi sanser maden, kaldes mundfølelse for *tekstur*. Tekstur er den del af madens struktur, som mundens følenerver kan erkende.

Med de nyeste og mest avancerede mikroskopiteknikker er det nu blevet muligt i stor detalje og som funktion af tiden at visualisere aspekter af madens struktur, både flydende, halvfast og fast mad. Analyser af strukturen gør det muligt at se nye sammenhænge mellem struktur og tekstur og dermed opnå dybere forståelse af, hvordan denne sammenhæng giver maden smag.

Hvad er mad?

Alt, hvad vi spiser, er af biologisk oprindelse, og maden er derfor sat sammen af de samme byggesten som levende organismer, dvs. især kulhydrater,

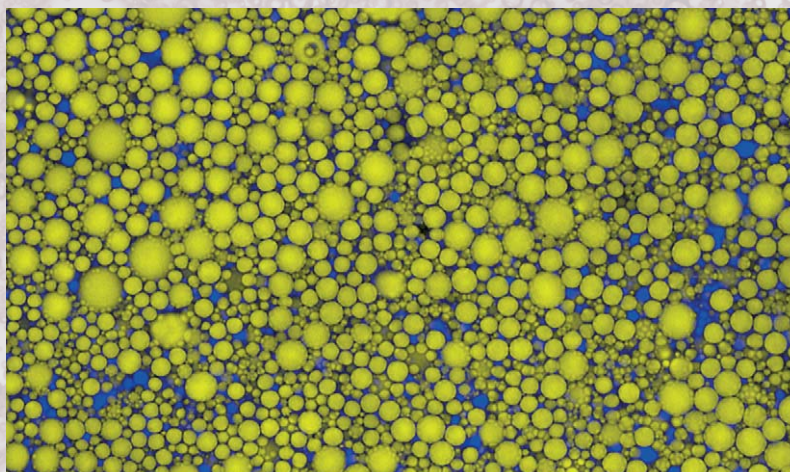
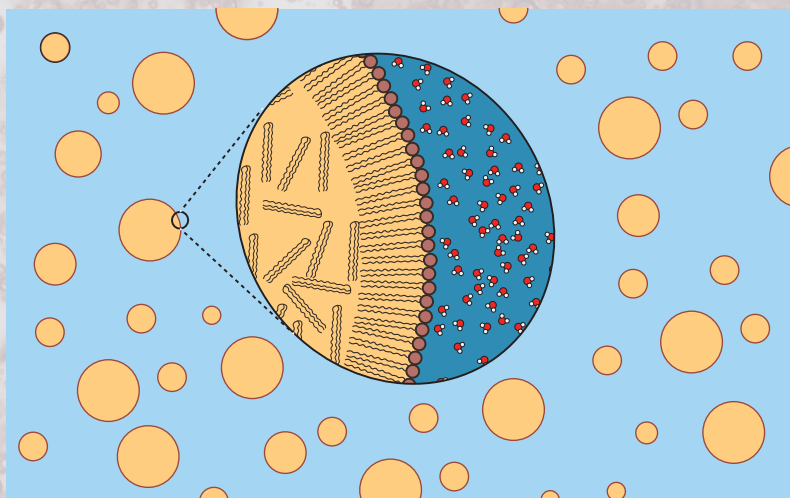
Emulsioner: at binde olie og vand sammen med emulgatorer

En emulsion er en blanding (dispersion) af to væsker, specielt vand og olie. Olie og vand blander ikke af sig selv, og når man ryster dem sammen, skiller de to væsker hurtigt fra hinanden igen med den lettere olie oven på vandet. Det er muligt ved hjælp af såkaldte emulgatorer at få olie og vand til at forene sig, fx med små vanddråber inden i en sammenhængende fase af olie (vand-i-olie-emulsion, fx smør eller margarine) eller med små oliedråber inden i en sammenhængende fase af vand (olie-i-vand-emulsion, fx mayonnaise og andre saucer).

En emulgator er et amfifilt stof, dvs. et stof, som i den ene ende kan opløses i vand og i den anden ende opløses i olie. Det kan fx være lecitin fra æggeblomme (som bruges i mayonnaise) eller glykoprotein fra skallerne på sennepsfrø (som bruges i vinaigrette).

I en emulsion er grænsefladen mellem olie og vand dækket af emulgatormolekyler, der vender deres hydrofobe del ind mod oliedråben og den hydrofile del ud mod vandfasen. Da overfladens areal har et forsvindende mål i forhold til emulsionens volumen, skal der kun meget små mængder af emulgator til at stabilisere emulsionen (fx en knivspids æggeblomme til at lave en mayonnaise).

Mayonnaise: Mikroskopibillede (CARS) af mayonnaise, som er en olie-i-vand-emulsion. De runde kugler er oliedråber, som typisk er 2-5 mikrometer i størrelse, og de blå områder mellem oliedråberne er vand.



fedtstoffer og proteiner. Desuden er der masser af vand, og det er ofte spillet mellem vandets aktivitet og disse byggesten, som er bestemmende for madens struktur, og hvordan den ændres i køkkenet, og når vi spiser maden.

Mad kan deles ind i tre forskellige grupper: (1) *“naturlig” mad* i den forstand, at vi på madens udseende nemt kan se, hvor råvarerne kommer fra (fx stegt kylling, kogte grøntsager og dampet fisk), (2) *formuleret mad*, dvs. mad, som er så stærkt forarbejdet, at man ikke uden forhåndskendskab kan afgøre, hvilke råvarer den kommer fra (fx ketchup, ost, sauce, juice, rørag og brød), og (3) *syntetisk mad*, som er mad, der er konstrueret ved at kombinere de rene byggesten kulhydrater, proteiner, fedtstoffer og vand. Det nyeste skud på stammen af det molekylære køkken, kaldet note-by-note cuisine,

beskæftiger sig netop med syntetisk mad.

Den store udfordring med især formuleret og syntetisk mad er at kunne kontrollere og tilføje en mundfølelse, som gør maden interessant og velsmagende. At kunne se ind i maden er en videnskabelig og fysisk måde at tage denne udfordring op. Den slags tilgang til mad, smag og gastronomi har nu fået navnet gastrofysik.

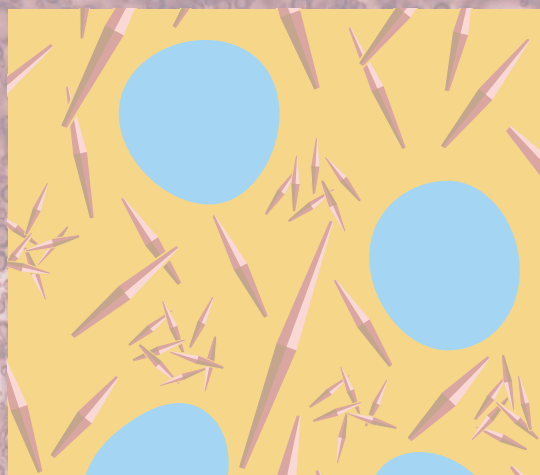
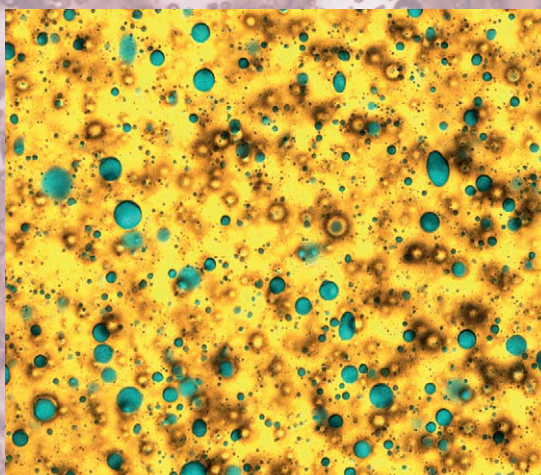
Formuleret mad

De fleste tænker næppe meget over, at dagligdags madvarer som brød, mejeriprodukter og saucer er stærkt forarbejdede produkter, og uden at kende baggrunden kan man næppe gætte, at brød kommer fra frø på kornplanter, at osten er skabt af mælk fra pattedyr, eller at en sauce er en kompleks blanding af vand og forskellige, stærkt forarbejdede råvarer. Alle disse produkter er formulerede, bløde materia-

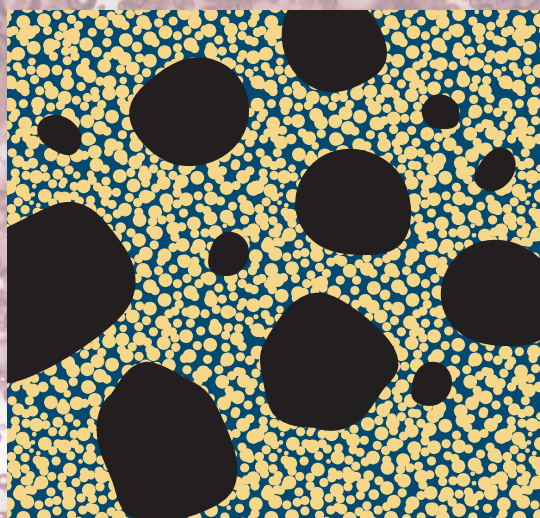
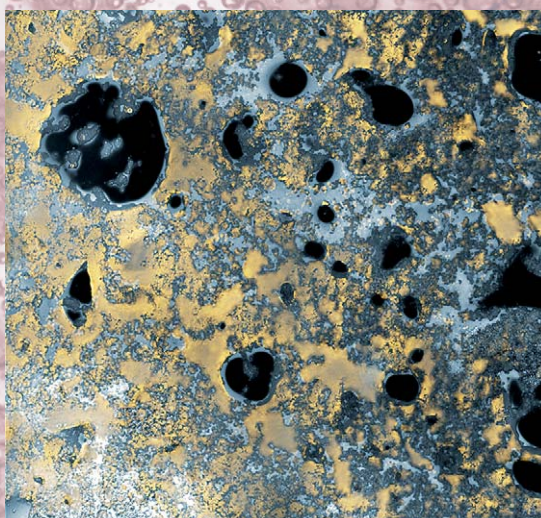
Mikroskopibilleder:
Mathias Porsmose Clausen og
Morten Christensen

Grafiske illustrationer:
Morten Christensen og Jonas
Drotner Mouritsen

Smør: Til venstre mikroskopibillede (CARS) og til højre skematisk illustration af smør. Det gule er fedtstof, og de blå dråber er vand. Fedtstoffet er delvis krystallinsk og halvfast. Vanddråberne har en størrelse, der ligger mellem 0,1 og 10 mikrometer.



Flødeskum: Til venstre mikroskopibillede (CARS) af flødeskum og til højre skematisk illustration af strukturen inden i flødeskum. De store, mørke bobler i strukturen er luft, og væggene mellem boblerne består overvejende af fedtstof. Luftboblerne er typisk 10-100 mikrometer store.

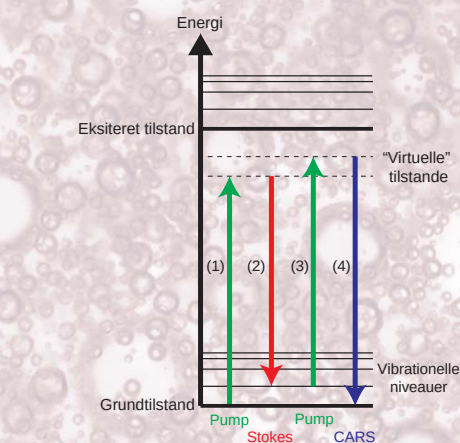


Sådan virker CARS-mikroskopi

CARS-mikroskopi (coherent anti-Stokes Raman scattering) er en type mikroskopi, der adskiller sig fra andre typer af avanceret mikroskopi ved ikke at kræve mærkning af prøven med et farvestof. Det har nogle åbenlyse fordele, idet man undgår blegning af farvestoffet og uønskede kemiske ændringer af prøven. Desuden spares tid i prøveforberedelsen.

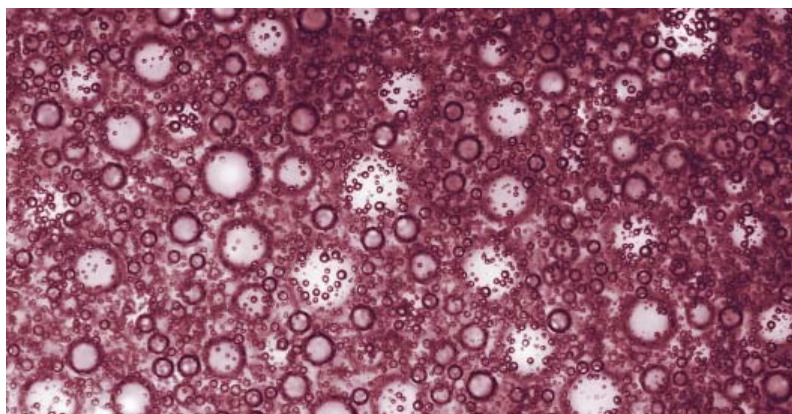
CARS-mikroskopi udnytter de spektroskopiske egenskaber af prøven. Man afbilder vibrationsniveauer af kemiske bindinger, og det er derved molekylerne selv, der giver kontrast i billedet. Afbildningen sker rent praktisk ved samtidigt at scanne to infrarøde lasere, kaldet hhv. pumpe- og Stokes-lasere, hen over prøven.

Pumpe-lasere exciterer en binding fra det laveste vibrationsniveau i grundtilstanden til en såkaldt virtuel energitilstand (1) (med lavere energi end den 1. exciterede tilstand, hvortil elektroner exciteres i fluorescensmikroskopi). Under virkning af Stokes-lasere henfalder elektronerne atter til grundtilstanden, men til et højere vibrationsniveau end tidligere (2). Pumpe-lasere exciterer igen elektronerne til en ny virtuel energitilstand med højere energi end den første virtuelle energitilstand (3). Fra dette energiniveau henfalder elektronerne spontant til det laveste vibrationsniveau i grundtilstanden, hvor-



ved der udsendes en lys-foton (4). Lys-fotonen er mere energirig end de absorberede fotoner, og lyset er derfor mere blåt end det indsendte lys.

Forskellige kemiske bindinger har forskellige vibrationsenergier, og man tuner derfor pumpe-lasere, så energiforskellen mellem denne og Stokes-lasere passer til den binding, som er karakteristisk for den type stof, man vil se på. På den måde kan man tune laseren til at synliggøre fx vand, fedt og protein, da de svarer til forskellige, karakteristiske kemiske bindingsvibrationer.



Marengs: Mikroskopi-billede (CARS) af pisket æggehvide og sukker (marengs). De lyse områder er luftbobler, hvoraf de største er omkring 80 mikrometer store.

ler, hvis struktur er bestemt af både de oprindelige råvarers egenskaber samt af de behandlinger, råvarerne har gennemgået på fabrik eller i køkken. Produkternes mundfølelse og smag er direkte forbundet med materialernes struktur.

Lad os rette mikroskopet mod nogle af disse fødevarer og se, hvilke hemmeligheder de bærer på.

Olie-i-vand emulsion: mayonnaise

Mayonnaise er en emulgeret, kold sauce, som laves af en blanding af vegetabilsk olie og citronsaft (eller vineddike), der er emulgeret med æggeblomme og smagt til med salt, peber og eventuelt krydderier. Man kan også emulgere ved hjælp af sennep. Mayonnaisen fremstilles ved at blende æggeblomme og citronsaft (eller vineddike) sammen med emulgatoren, hvorefter olien tilsættes langsomt under omrøring; i begyndelsen blot en dråbe ad gangen. Mayonnaisen skiller, hvis olien tilsættes for hurtigt, eller der er for lidt vand. I en god mayonnaise er de små oliedråber så tæt på hinanden, at de giver emulsionen en fasthed og en let elastisk mundfølelse.

De mange små oliedråber i mayonnaisen kan let glide forbi hinanden, og det er denne kugleleje-effekt, der gør, at en mayonnaise føles cremet. Samtidig giver pakningen af dråberne mayonnaisen en vis stivhed, som bevirker, at den kan stå og kun flyder trægt.

Vand-i-olie emulsion: smør og margarine

I mælk og fløde findes fedtstoffet i små fedtkugler, som holdes sammen af en membran af lipider og proteiner, der forhindrer, at fedtkuglerne løber sammen. Når man fremstiller smør, slår man i princippet disse membraner i stykker ved mekanisk omrøring (kærning), så fedtkuglerne samles i en fase af fedt med vanddråber inde i. At lave smør består altså stort set i at krænge vrangen ud på mælken forstået på den måde, at vi begynder med en olie-i-vand-emulsion (mælk og fløde) og ender med en vand-i-olie-emulsion (smør). I denne emulsion findes mælkefedtet på tre former: som frit og halvfast mælkefedt, der danner en sammenhængende fase, som krystalliseret mælkefedt og som ubrudte fedtkugler. Inden i denne komplekse blanding findes vanddråber af forskellig størrelse. Det krystalliserede mælkefedt

giver smørret sin fasthed ved stuetemperatur, og den sammenhængende fase af halvfast fedt giver smørrets gode evne til netop at "smøre". Margarine er ligesom smør en vand-i-olie-emulsion, men hvor der typisk bruges planteolier og forskellige emulgatorer.

Skum: flødeskum og marengs

Et skum er en væske, som er gjort stiv ved at indbygge luftbobler i væsken. Det kræver normalt et større piskearbejde at få luftbobler ind i en væske, og det kan være en kamp med tiden om at få de dannede bobler pisket i endnu mindre bobler, inden boblerne brister eller løber sammen. Da lufttrykket inde i små bobler er større end i store, er der en tendens til, at de små bobler brister og slutter sig sammen i større bobler, hvorved skummet ændrer tekstur.

Fordi luftboblerne i et skum ikke så let kan komme forbi hinanden uden at briste og væsken derfor ikke så let kan flyde, kan skummet "stå" og udøve en vis modstand mod påvirkning af fx en ske eller ved pres mellem tunge og gane. Efterhånden som væsken dræner fra, bliver skummet mere skørt, boblerne brister, og skummet falder sammen. Almindelige eksempler på skum er flødeskum og ølskum. Det er samspillet mellem antallet af luftbobler og deres størrelse på den ene side og stivheden af væsken på den anden side, som afgør, hvilken mundfølelse man oplever i et skum. Nogle kan være meget bløde og eftergivende, mens andre kan være sprøde og skøre, og andre igen meget faste.

Der findes skum med tynde vægge mellem luftboblerne (fx ølskum) og nogle med tykke vægge (fx flødeskum). Flødeskum er mere kompliceret end mange andre slags skum, fordi det i princippet er et hårdt pakket netværk af luftbobler, som holdes sammen af små fedtkugler, der lægger sig på overfladen af luftboblerne. Flødeskum kan blive stiv som et fast stof. Da det er fedstoffet, som holder skummet sammen, er det kun muligt at lave et stabilt flødeskum, hvis fedtprocenten i fløden er høj nok, mindst 30 % og helst mere.

En marengs er et skum af luftbobler adskilt af tynde hinder af en væske bestående af æggehvide med opløst sukker. Æggehvide består af 87 % vand. Jo mere sukker, der er i, og jo mere af vandet, der er dampet af, jo fastere bliver marengsen. Ved opvarmning (bagning) damper det meste af vandet af, og sukkeret danner en glas. Skummet er nu blevet til en tør marengs, fx en macaron.

Netværk af proteiner: Ost

Mælk er en væske, som har en kompliceret indre struktur, der bestemmer mælkenes mundfølelse som drikkevarer og er afgørende for egenskaberne af de mejeriprodukter, som den bruges til, fx fløde, ost, yoghurt og andre syrnede eller fermenterede produkter.

Vil du vide mere:
Mere om centret Smag for Livet:
www.smagforlivet.dk

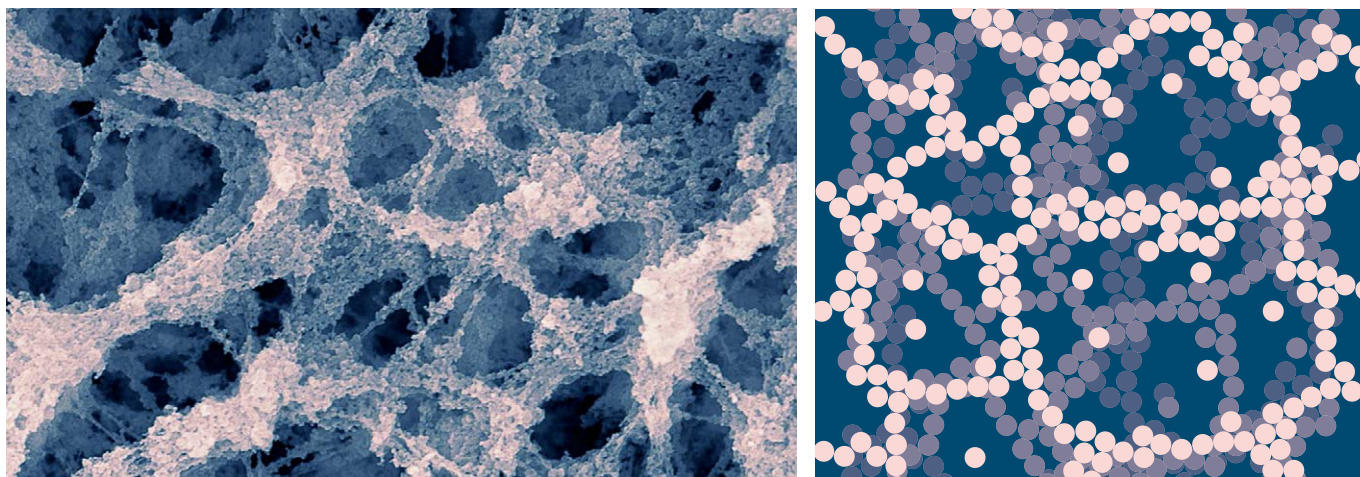
Bourne, M. 2002. Food Texture and Viscosity. Academic Press, London.

Clausen MP & J. Dreier. 2014. Nanoskopi – en verden af billeder. Aktuell Naturvidenskab 5, 18-22.

<https://da.wikipedia.org/wiki/Gastrofysik>

Mouritsen OG & J Risbo (eds.) 2015. The Emerging Science of Gastrophysics. SMAG #4, www.smagforlivet.dk/artikler/smag04-emerging-science-gastrophysics.

Mouritsen og K. Styrbæk. 2015. Fornemmelse for smag. Nyt Nordisk Forlag, København.



Ost: Til venstre et elektronmikroskopisk billede af en ostemasse, som er dannet ved, at kaseinmicellerne i mælk koagulerer i et netværk under indvirkning af osteløbe. Til højre en illustration af dette netværk. I netværkets hulrum, som typisk er 2-5 mikrometer i udstrækning, er der plads til kugler af mælkefedt.

Der findes en lang række måder at lave oste på, og de forskellige oste adskiller sig i høj grad ved smag og mundfølelse. Og det er ikke kun hullerne i osten, som gør forskellen. En fast ost har en struktur, der er bestemt af et netværk af koaguleret mælkeprotein (kasein), hvori der er bundet vand og kugler af mælkefedt. At se ind i en ost på lille skala er som at se ind i et porøst materiale med vægge på kryds og tværs, og mellem væggene ligger vand og fedtstof.

Hvad kan det bruges til?

Der er lavet forbavsende lidt arbejde på en kvantitativ beskrivelse af fødevarer på en lille skala, hvor

madens forskellige komponenter af kulhydrater, fedtstoffer og proteiner kan skelnes. Årsagen her-til er primært, at det har krævet udvikling af nye mikroskopiteknikker. De nye typer af avanceret mikroskopi åbner nu et helt nyt vindue til at se ind i maden, og den videre udvikling vil også gøre det muligt at se, hvordan madens struktur ændres som funktion af tiden (ved bearbejdning, lagring, osv.) og som funktion af de behandlinger (kogekunst), man underkaster den. En dybere forståelse af, hvad der giver maden struktur, vil også give en større indsigt i, hvad der giver maden mundfølelse (tekstur) og dermed smag. ■

Annonce