

Smag på naturvidenskaben *)

OLE G. MOURITSEN, SMAGforLIVET, Syddansk Universitet og KLAVS STYRBÆK, STYRBÆKS, Odense

Smag og smagsdannelse i forbindelse med mad og måltider er vedkommende for os alle og er et tilstrækkeligt 'neutralt' emne til, at forskellige fagtraditioner kan mødes og overskride de barrierer, der mere eller mindre bevidst oprettholdes mellem fagene. Smag kan bruges som en motor til læring i folkeskolen, bl.a. i det nye fag Madkundskab, og til integration af de naturvidenskabelige fag i STX og HTX.

Hvad er smag?

Smagssansen er en af vores vigtigste sanser, og den har gennem evolutionen holdt os fra bitre, sure og giftige råvarer og styret os mod velsmagende og næringsholdig føde, der har været en evolutionær forudsætning for *Homo sapiens*. Mennesket er den eneste art, som tilbereder sin mad (Wrangham 2009), og det fælles måltid og den velsmagende mad har gennem tiden udviklet sig til at blive et bindende element i sociale strukturer, fx familien, og dermed et grundvilkår først for overlevelse og dernæst for et sundt og godt liv.

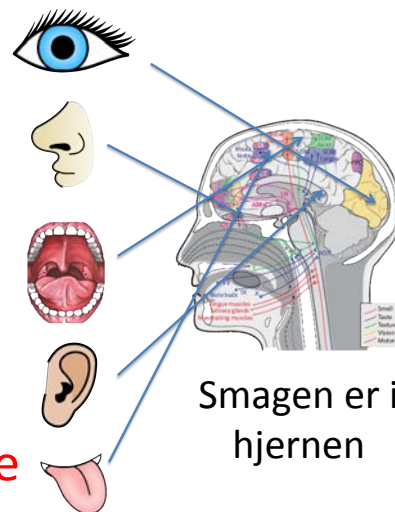
Den fysiologiske del af smagen er multimodal, og smagsoplevelsen er en konsekvens af en integreret multisensorisk proces i hjernen omfattende kemisk smag, lugt, mundfølelse, syn og hørelse (Shepherd 2012). Men smagsoplevelsen er ikke alene en sansefysiologisk hændelse; den har også en social, psykologisk og kulturel dimension, som er forbundet med normer, (ud)dannelse, livsstil, æstetik, værdier og identitet (Thrane og Eriksen 2014).

Når det sansefysiologiske indtryk foldes sammen med erfaring, erindring og social kontekst, bliver smagen en kompleks

*) Denne artikel bygger på et foredrag ledsaget af smagsprøver (se Figur 8) afholdt på LMFKs årsmøde den 31. oktober 2014 på Syddansk Universitet. En del af materialet er hentet fra forfatternes kommende bog *Fornemmelse for smag* (2015), som har fokus på fysikken i smagsoplevelsen.



- At se
- At lugte
- At føle
- At høre
- At smage



Smagen er i hjernen

størrelse, der, selvom vi spiser og smager på maden hver dag, står som et begreb, vi har svært ved at beskrive sprogligt for os selv og for hinanden. Vores sprog om smag er dårligt udviklet, og når det kommer til at beskrive smagen af en råvare eller et måltid, mangler vi ofte ord. Hvor tit befinder vi os ikke i den situation at mangle sprog til at beskrive smagen ved en ny ret, vi netop har nydt, og vi må nøjes med at ty til ufuldstændige sammenligninger med velkendte smage, som vi formoder, at også andre kan forbinde noget med? Hvor ofte ser vi ikke i supermarkedet fødevarer beskrevet og deklareret med alle mulige detaljer om varenes indholdsstoffer og oprindelse, hvorimod der næsten aldrig står noget om smagen? Samtidig bliver vi dagligt bombarderet med en myriade af smagsindtryk fra slik, nydelsesmidler og fastfood, som også sætter sit tydelige aftryk på vores sundhed.

Figur 1

Alle sanser er i brug, når vi smager på et æble. Sansende trykninger går til de respektive sansescentre i hjernen, hvor de integreres til den endelige bedømmelse af æblets 'smag', som i de fleste tilfælde er domineret af lugt og mundfølelse.

Smagens fysiologi og dens makrosensorer

Som sagt er smagen multimodal, dvs. smagsoplevelsen er en konsekvens af en integreret multisensorisk proces i hjernen omfattende kemisk smag, lugt, mundfølelse, syn og hørelse. Det betyder, at vi ofte mere eller mindre ubevidst blander sansende trykninger, nogen gange således, at vi fx siger, at et æble lugter sødt. Vi har også alle oplevet, at madens smag afhænger meget stærkt af lugtesansen, og synssansen giver os en bestemt forventning om, hvordan et stykke mad eller en farvet væske som rødvin smager. Ordet 'smag' er altså ikke et præcist udtryk.

Et eksperiment: 'jellybean-testen'

Alle kender det, når næsen er stoppet af en forkølelse: Maden smager anderledes. Men det er ikke maden, som har ændret smag, men det forhold at lugtesansen er blevet påvirket. Men man behøver ikke at være forkølet for at opleve, hvor meget lugt betyder for smagsoplevelsen. Bare tag et stykke slik, fx et stykke vingummi, en jelly-bean eller et bolsje med smag af frugt, kanel eller anis, hold dig for næsen og anbring

slikket i munden, tyg på det og undgå at ånde ud. Det smager sødt, fordi der er sukker eller et andet sødemiddel i slikket. Slip så grebet om næsen og ånd ud gennem næsen (den orthonasale rute) og forbered dig på en overraskelse. Nu 'smager' slikket pludselig helt anderledes og af de aromastoffer, som fabrikanten har tilsat, og som nu med luften strømmer fra munden og ud gennem næsen.

Lad os tage et æble som eksempel (Figur 1) og se på, hvorledes vores makrosensorer – øjne, næse, hud/muskler, ører og tunge – registrerer smagen. Når vi ser på æblet, bedømmer vi allerede dets smag, ved at synssansen knytter an til tidligere erfaringer om, at fx et rødt æble smager sødt. Vi bruger også følesansen i fingrene til at bedømme, om æblet er fast, og det giver os forventninger med hensyn til, om æblet er sprødt og saftigt. Når vi bringer æblet tættere til ansigtet, vil luftbårne aromastoffer gå gennem næsen ad den såkaldt orthonasale rute til næsens loft, og det olfaktoriske system registrerer lugten, og giver os måske en forventning om, at æblet vil smage sødt eller surt. Når vi bringer æblet til læberne, bruger vi igen følesansen. Det er endnu ikke for sent at afvise det at spise æblet.

Hvis vi endelig beslutter os for at tage æblet i munden, går både følesans (tunge, tænder og gane), hørelse (mekaniske vibrationer gennem kæbe og kranium) smagssans (smagsløgene) og lugtesans (denne gang ad den såkaldt retronasale rute, som er langt mere effektiv end den orthonasale) i sving. Specielt vil vandopløselige stoffer i æblesaften sammen med mundvandet registreres i smagsløgene, og flygtige luftbårne aromastoffer rives løs fra æblet og hvirvles op i og ud gennem næsen, når vi ånder ud. Først nu ved vi, om vores forventninger til æblets smag er opfyldt, og vi kan endnu nå at spytte det ud, inden vi synker. Vi kan blive vældig skuffede, hvis vores forventning var, at æblet var sprødt og saftigt, men viste sig at være melet og tørt.

‘Smag’ er altså ikke bare smag. På engelsk har man et særligt udtryk, *flavour*, som betegner det samlede smagsindtryk. *Flavour* omfatter ikke kun det, vi almindeligvis kalder smag, dvs. sansning af smagsstoffer på tungen, men også lugt, dvs. sansningen af aromastoffer i næsen, og så endelig mundfølelse. Desuden indgår der også kemiske påvirkninger af slimhinderne (*kemestesi*, fx den brændende fornemmelse af chili, peberrod og

De fem grundsmage	
Grundsmag	Her finder vi den bl.a.
sur	eddike, citron
sød	husholdningssukker (sukrose)
salt	køkkensalt (NaCl)
bitter	valnød, kaffe, humle
umami	dashi, solmodne tomater, lagret ost

sort peber) og snerpning (*astringens*, fx fra garvesyre-stoffer i umoden frugt, ung rødvin og sort te).

Smagens neurologi

Alle disse former for sansning har rod i vores nervesystem. Ligesom det motoriske system er alle sanserne forbundet med hjernen eller hjernestammen. Det foregår ved hjælp af tolv par nerver eller nervelignende forbindelser, som kaldes kranienervene. Kranienervene er enten sensoriske og fører signaler fra sanseapparatet til hjernen, eller motoriske og fører signaler fra hjernen til muskler og kirtler.

Flere af kranienervene er i spil, når det kommer til smag og bedømmelse af mad. Alle komponenter af *flavour* benytter sig af kranienerver til at kommunikere med hjernen, og det foregår på et højt niveau, hvilket fortæller os, at alle aspekter af smag er vigtige for overlevelse. Den første kranienerve er lugtenerven, den anden er synsnerven, og den femte er den såkaldt trigeminale nerve. Alle tre nerver spiller en stor rolle for *flavour*. Lugtesansen er direkte forbundet med hjernen på det højeste kognitive niveau. Smagssansen og mundfølelsen går indirekte til hjernen gennem hjernestammen, som er dér, hvor andre vitale automatiske funktioner som hjerterytme og åndedræt er kontrolleret fra. Det at ‘smage’ på maden går altså ind på det mest vitale niveau i vores centralnervesystem.

De mange forskellige komponenter af smag, inklusiv mundfølelse, er gennem

evolutionen tilpasset de forhold, som den daglige udfordring med at finde føde har udsat os for. Disse forhold er bestemt af de kemiske og fysiske egenskaber af råvarerne og den tilberedte mad.

Af alle de forskellige bidrag til *flavour* er mundfølelsen nok det mest oversete. Vi skænker sjældent det mekaniske ved smagen megen opmærksomhed, og tygning, tungens bevægelser og undersøgelser af maden, vejtrækningen samt selve synkningen foregår mere eller mindre ubevidst og automatisk, med mindre maden afviger meget fra, hvad vi forventer, fx hvis den er for varm, for sej, for blød eller for hård. Alligevel er mundfølelsen en meget vigtig del af den samlede smagssansning.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at smagssansen, på samme måde som andre sanser, især er indrettet til at registrere ændringer og forskelle. Efter nogen tid med at have registreret den samme smag, vænner vi os til den. Dette fænomen kaldes adaptation. Det samme gælder lugt. Man lægger ikke mærke til den specielle lugt i sit eget hus, men registrerer straks, at der lugter anderledes, når man træder ind gennem døren til naboen.

Det at være god til at registrere forskelle og ændringer i smag er en vigtig fysiologisk funktion for overlevelse. Det er også en vigtig egenskab for at kunne skærpe opmærksomheden over for forskellig slags mad med forskellige smage. Det stimulerer interesse og appetit.

Smagens neurologi

LUGT er den fineste og vigtigste del af *flavour*. Lugtesansen stimuleres af luftbårne stoffer, som enten frigøres i mundhulen, når vi tygger maden og ad den vej finder vej til næsesvælget (retronasalt), eller som frigøres direkte fra maden, inden den kommer ind i munden, og bliver inhaleret gennem næseborene (orthonasalt). Den retronasale vej er den vigtigste og mest veludviklede rute hos mennesker, mens det modsatte er tilfældet for eksempel for hunde. I begge tilfælde når lugtstofferne (aroma) til næsens loft, hvor specielle lugtceller registrerer lugtstofferne med hundredevis af forskellige receptorer, der formidler en elektrisk impuls gennem den første kranienerve direkte til lugtcenteret i hjernen (lugtekolben og den *orbifrontale cortex*, som er en del af tindingelapperne). En mindre del af signalet går til det limbiske system (krybdyrhjernen), som indeholder hjernens centre for erindring, følelser og beslutninger om belønning. Lugt er derfor en ældgammel sans, som er vigtig for overlevelse og kobling til det underbevidste. Eftersom en given lugt kan aktivere mange lugtreceptorer, er vi i stand til at skelne mellem et enormt stort antal forskellige lugte. Forskere har for nylig argumenteret for, at mennesket kan skelne 10^{12} forskellige lugte. Lugtesansen er meget mere følsom end smagssansen, og nyere forskning har vist, at lugtesansen hos mennesket danner et rumligt billede i hjernen (i lugtekolben) på samme måde, som synssansen gør det på den visuelle cortex. I forhold til andre arter, fx hunden, har vi en meget mindre følsom lugtesans, fordi receptortætheden i næsen er væsentligt mindre. Til gengæld er det område i hjernen, hvor vi behandler sanseindtrykkene fra næsen, meget større og mere sofistikeret. Derfor er vores lugtesans måske meget mere veludviklet, end vi havde regnet med. 'Billedet' i hjernen af en lugt kan måske sammenlignes med det visuelle billede af et kendt ansigt. Det kan være med til at forklare, hvorfor lugte og erindringer tit er koblet sammen.

SMAG i betydningen, hvad vi sanser direkte på tungen og i mundhulen, er en kemisk-fysiologisk størrelse. Smagssansen er især lokaliseret i tungens næsten 9000 smagsløg. Smagen forudsætter, at smagsstofferne er opløst i mundvæsken og kan finde adgang, gennem smagsløgenes porer, til de mange smagscel-

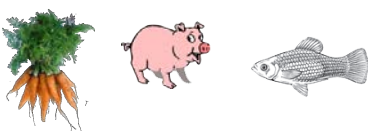
ler, som er en særlig slags nerveceller, der ligger tæt pakket i smagsløget som de enkelte fed i et hvidløg. I smagscellernes membraner sidder de forskellige receptorer, som er følsomme over for de fem forskellige grundsmage: *sur, sød, salt, bitter og umami*. Når smagsstofferne genkendes af og bindes til receptorerne, udløses der, via en række biokemiske processer, et elektrisk signal, som sendes til hjernestammen og derfra til hjernen. Enhver smag regnes for en kombination af de fem grundsmage. Hver smagscelle er hovedsagelig ansvarlig for én slags grundsmag, og de forskellige celler, som er følsomme over for samme grundsmag, sender samlet signalet gennem ét nervefiber gennem tre forskellige kranienerver (syvende, niende og tiende kranienerve) gennem *thalamus* til smagscenteret i hjernen (*anterior insula* og det frontale *operculum*). I modsætning til lugtesansen er det endnu uafklaret, om smagssansen danner et rumligt 'billede' på hjernebarken (*cortex*) på samme måde som lugt- og synssansen.

MUNDFØLELSE er en del af det såkaldt somato-sensoriske system. Dette system findes ikke kun i munden, men overalt i kroppen, for eksempel i skeletmuskler, led, indre organer og i hjerte-karsystemet. Systemet stimuleres af fysiske påvirkninger som tryk, berøring, stræk og vibrationer (taktil sansning), smerte og temperatur. Desuden omfatter det sansning (*kinæstesi*) af position og stilling af kroppen og kroppens dele, som spiller en rolle for mundfølelsen, når tungens bevægelser undersøger og identificerer et fødeemnes størrelse, form og tekstur, fx under tygning. Også nerveenderne i tænderne rapporterer om fødens struktur, hvor hård den er, om den knaser eller er elastisk, og hvor store partiklerne i maden er. Nervesignalerne fra mundfølelsen går på samme måde som for smagsindtryk indirekte gennem hjernestammen til hjernen (til *thalamus* og derfra til det somato-sensoriske center). Der findes også somato-sensoriske nerver i næsen, hvor de kan aktiveres af flygtige kemiske stoffer, fx ammoniak, som giver en stikkende lugt, og af kulsyreholdige dampe, som fx frigøres, når boblerne i mousserende vine eller sodavand sprænges. Disse fysiske sanseindtryk, sammen med de trykændringer som selve passagen af åndedrætsluften giver i næsen, er med til at modulere lugtesansen.

KEMESTESI beskriver hudens og slimhindernes følsomhed over for kemiske påvirkninger, der medfører irritation, smerte og potential skadevirkning på celler og væv. Stoffer, der fremkalder irritation, kaldes irritanter. I munden møder vi denne irritation som en skarp smag, når vi spiser chili, som indeholder stoffet capsaicin, sort peber, som indeholder stoffet piperin, eller peberrod og sennep, som indeholder stoffet isothiocyanat. Da det er nerveenderne af den trigeminale nerve (den femte kranienerve), som her er i spil, kaldes kemestesi sommetider for den trigeminale sans. Følelsen af varme og temperatur er relateret til kemestesi, idet visse kemiske stoffer kan påvirke og 'snyde' nogle af mundfølelsens temperatur- og smertefølsomme nerver og give anledning til såkaldt falsk kulde og falsk varme. Capsaicin fra chili giver således en falsk fornemmelse af varme, hvorimod mentol, pebermynte og kamfer føles kølige i munden, selv om temperaturen er uændret.

ASTRINGENS, som også kaldes snerping, blev tidligere regnet for en smag. Nu vil man nok sige, at det er et smagsindtryk, som skyldes kemiske reaktioner, der fører til en mekanisk sanseoplevelse, altså en slags mundfølelse. Et velkendt eksempel er den tørre, gnidende og snerpende fornemmelse, der opstår i munden, når vi drikker ung rødvin og te eller spiser umoden frugt (fx kaki eller slåen), som alle indeholder gavesyreholdige stoffer (tanniner). Effekten kan skyldes kemiske reaktioner mellem maden og tungens overflade og mundvandet, idet prolinholdige proteiner i spyt og mundvand får tanninerne til at klumpe sig sammen. Det får som konsekvens, at klumperne føles som små partikler, og at spytets evne til at få maden til at glide let hen over tungen og på siderne af mundhulen, nedsættes, fordi mundvandet bliver mere viskøst. Det har også været foreslået, at effekten kan skyldes en krympning af slimhinderne som følge af sammenbinding af proteiner i epitelets membraner, hvilket fører til en spænding, der aktiverer mekanosensitive kanaler, som er berøringssensitive.

- Biologiske materialer



- Formuleret mad



- Syntetisk mad



Figur 2
Maden, vi spiser.

Neurogastronomi

Erkendelsen af, at smagen (*flavour*) sidder i hjernen, har ført til navnet på en ny tværdisciplinær videnskabsgren, som er blevet kaldt *neurogastronomi*, et udtryk, som er bragt på banen af den amerikanske neurobiolog Gordon Shepherd og beskrevet i hans bog *Neurogastronomy* (Shepherd 2012). I bogen argumenterer han for betydningen af smagen (*flavour*) for vores følelser, vores madpræferencer, vores bevidsthed og ikke mindst vores trang og hang til bestemte typer mad. I bogen påviser Shepherd også, hvordan den nyeste neurovidenskab kan knytte vores adfærd til bestemte neurologiske processer og selve nervesystemets indretning.

I Shepherds optik bliver den multisensoriske integration af *flavour* i hjernen også et spørgsmål om følelser, erindringer, beslutninger, læring, sprog og bevidsthed. Erkendelsen af *flavour* får derved også konsekvenser for vores adfærd i forhold til det at spise, og hvad vi kan lide at spise (Prescott). Neurogastronomi bliver således en nøgle til ikke bare at forstå, hvorfor vi kan lide den mad, vi kan, men også et muligt redskab til at håndtere problemstillinger i forbindelse med ernæring, fedme og andre kostbetingede sygdomme.

Sammen med den fysisk-kemiske beskrivelse af maden og dens transformationer i køkkenet udgør neurogastronomien det videnskabelige grundlag for gastronomien.

Hvad er mad?

Al vores mad er i princippet af biologisk oprindelse (Figur 2). Vi spiser levende organismer eller dele af organismer, som engang har været levende. Vi spiser fra alle de store biologiske riger: Planterne, dyrene, svampene og algerne. Ja endog bakterierne indgår i vores føde og ernæring, selvom vi som oftest ikke tænker over, at yoghurt indeholder levende mælkesyrebakterier, eller at vores mave-tarmsystem er vært for hundrede trillioner livsvigtige bakterier, dvs. ti gange så mange éncellede organismer som antallet af kroppens egne celler. Det svarer til et par kilo levende bakterier, og der er måske helt op til tusind forskellige slags.

Når det biologiske stof bliver til mad, kan vi tænke på det som et materiale, der er opbygget af de samme byggesten som det levende, dvs. proteiner, kulhydrater, fedtstoffer og nukleinsyrer. Dertil kommer mineraler, sporstoffer, vitaminer og så selvfølgelig vand. Vand er der normalt mest af.

Biologiske materialer er, set med en fysikers øjne, hvad man vil kalde bløde materialer; de er fleksible, bøjelige og kan deformeres. De særlige fysiske egenskaber ved bløde materialer skyldes, at materialerne er dannet ved ('bottom-up') selvorganiseringsprincipper. Selvom levende organismer også benytter sig af hårde materialer til afstivning af de bløde dele,

fx indre og ydre skeletter af kalk og kitin, er biologiske materialer først og fremmest at karakterisere som bløde, og det er helt afgørende for, at de kan være levende og understøtte de funktioner, som vi forbinder med liv.

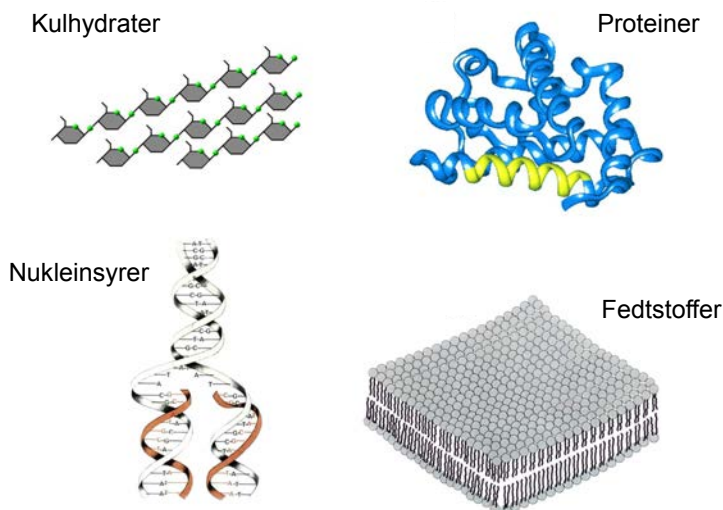
Det er denne karakter af blødhed, som vores sansesystem, inklusive mundfølelsen, i løbet af evolutionen er blevet specialdesignet og fintunet til at udforske for at kunne afgøre, om materialerne er egnet som føde.

Mad, der kommer direkte fra det biologiske materiale, kunne man kalde oprindelig mad eller 'naturlig' mad. Men der findes også mad, som er så processeret, at vi ikke længere kan se, fra hvilket biologisk rige den kommer. Vi kalder denne slags mad for formuleret mad, og hertil regner vi fx saucer, ost, smør, brød, pølser og ketchup. Endelig kan man forestille sig mad sat sammen helt syntetisk af rene kemiske stoffer: 'note-by-note cuisine', en trend i gastronomien fremført af den franske kemiker Hervé This (2014). For både formuleret og syntetisk mad skal der arbejdes rigtig meget med tekturen for at give maden en god mundfølelse. Tekturen skal så at sige tilføres under madlavningen, hvorimod oprindelig mad har en tekstur, der i vid udstrækning afspejler strukturen af de levende organismer, den kommer fra.

Hvad smager maden af?

For at kunne lugtes, skal maden frigøre molekyler, som kan holde sig svævende i luften, eller som kan bindes til små luftbårne partikler eller dråber, der kan nå op i næsen, hvor de kan detekteres af lugtreceptorerne i næsens loft. For at kunne smages (kemisk), skal maden nedbrydes i eller kunne frigøre små molekyler, som kan detekteres af smagsreceptorerne, der fortrinsvis findes i tungens smagsløg (Figur 3). Større molekyler, kan vi ikke smage, fx proteiner, nukleinsyrer og polysakkarider (Figur 4), hvori- mod vi kan smage deres bestanddele, fx enkelte aminosyrer, små peptider, enkelte nukleotider og små sukre. En specifik smag (kemisk) er en kombination af de fem grundsmage. Der er muligvis flere end fem grundsmage, og nogle forskere mener, at der er en sjette grundsmag, *kokumi*, som stimuleres af små peptider. Desuden er der fornylig fundet nogle receptorer, som man mener kan detektere fedtsyrer og dermed fed smag.

Nedbrydningen af maden i mindre molekylære enheder er afgørende for ernæring, og det sker både ved tilberedningen af maden såvel som i mund og mave-tarmsystem. For eksempel nedbrydes store stivelsesmolekyler ved hjælp af enzymet amylase, som bl.a. findes i mundvandet, i simple sukre, som smager sødt, og som giver kalorier. På en vis måde kan man se al madlavning og kogekunst som et sæt kulinariske transformationer (fx koge, simre, stege, ryge, tørre, modne, lagre, gære og fermentere), der dækker over fysiske og kemiske processer, som nedbryder madens store molekyler vist i Figur 4. De mest effektive nedbrydningsmekanismer involverer mikroorganismer og enzymer.



Figur 4
De store molekyler, vi spiser.

Et eksempel: Umami – den femte smag og dens nanosensor

I 2002 blev der opdaget en vigtig smagsreceptor, som registrerer umami-smag (se Figur 3). Hermed blev det fysiologiske og molekylære grundlag lagt for at tale om umami som en femte grundsmag (Mouritsen og Styrbæk 2011). Receptoren stimuleres af to slags små molekyler, glutamat (dvs. glutamat-ionen) og tre forskellige frie nukleotider (IMP, GMP og AMP), se Figur 5.

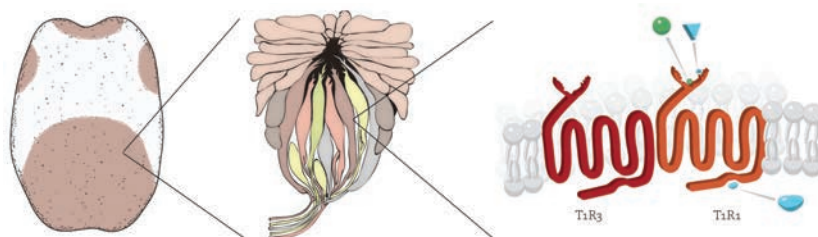
Det særlige ved umami-smagen er, at den forstærkes på en højst ikke-lineær måde af den samtidige tilstedeværelse af glutamat og én af de tre nukleotider. Der virker altså et synergistisk princip, som afspejler en allosterisk virkningsmekanisme, der fornylig er blevet klarlagt (Khandelia og Mouritsen 2012). Mekanismen forklarer det forhold, som alle kokke og madlavere benytter sig af,

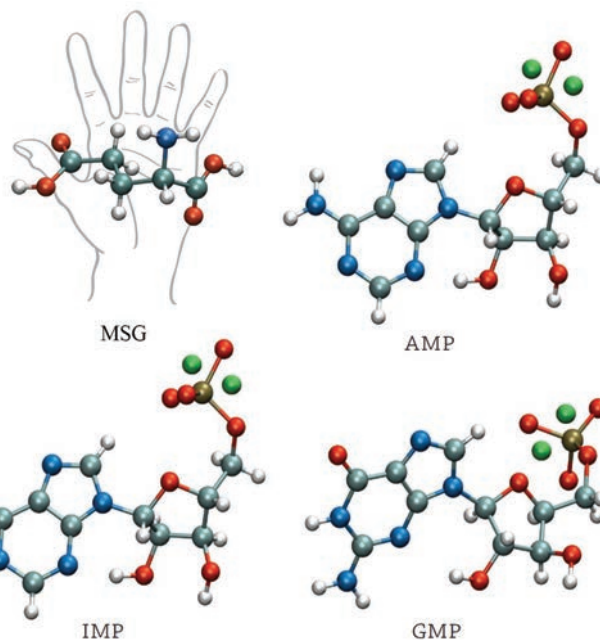
når de skal lave velsmagende mad, nemlig at man kan få velsmag ved at tilsætte en ganske lille smule af en bestemt ingrediens, som så forstærker smagen af en anden. Det kommer vi tilbage til nedenfor.

Figur 6 viser, at umami-receptoren er helt åben, når der ingenting er bundet, hvori- mod den er delvis lukket, når der bindes glutamat. Når der samtidig bindes en nukleotid, klapper receptoren helt i, og signalet til hjernen bliver kraftig forstærket.

Synergien demonstreres ofte i sensoriske eksperimenter ved kurven i Figur 7, som viser, at hvis man blander opløsninger af rent MSG og rent IMP, som hver for sig er i så små koncentrationer, at deres smag er under smagstærsklen, skyder smagsintensiteten kraftigt op, når man blander en lille mængde af den ene opløsning i den anden (for konstant total koncentration).

Figur 3
Tungen, smagsløg og et eksempel på en smagsreceptor (umami-receptoren, TIR1-TIR3), som sidder i sansecellernes membraner.





Figur 5

Nogle af de små molekyler, vi kan smage; her natriumsaltet (MSG) af den frie aminosyre glutaminsyre, og tre forskellige frie nukleotider, IMP (inosinat), GMP (guanylat) og AMP (adenylat). Alle disse stoffer har umami-smag. MSG er et chiralt molekyle, og det har kun smag i den viste venstredrejede version.

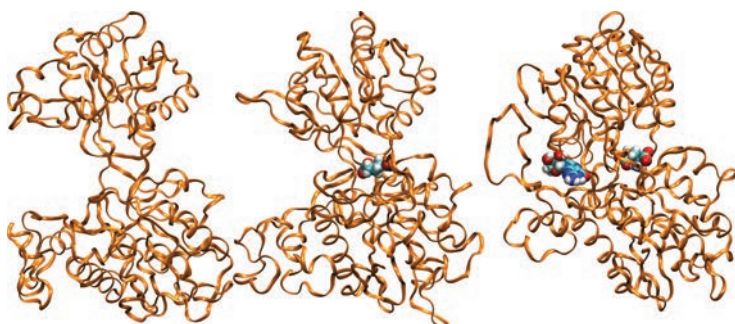
Synergi i umami-smag – to skal der til

Ingrediens med glutamat

æg
ost
tomat
tomat
grøntsager
tang (konbu)

Ingrediens med frie nukleotider

bacon
skinke
oksekød
makrel
kød og ben
konserveret fisk (katsuobushi)

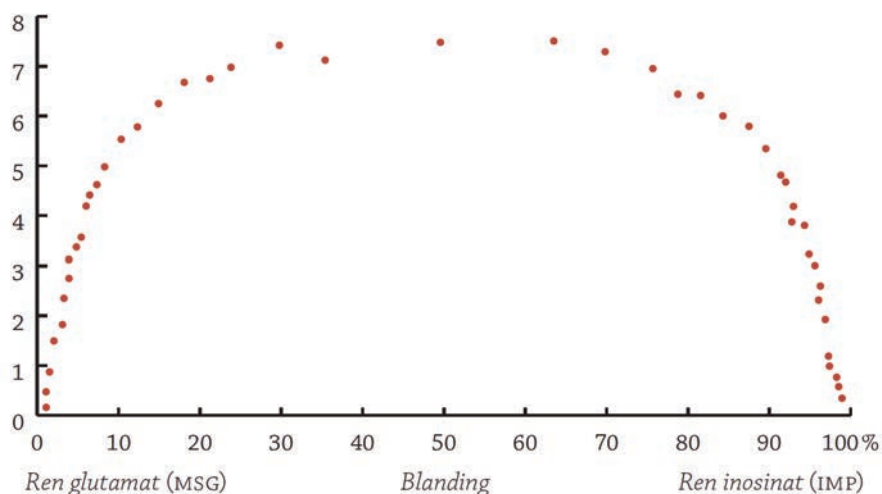


Figur 6

En molekylær model af den del af umami-receptoren (T1R3), som vender ud mod mundvandet, og som kan binde glutamat og frie nukleotider. Til venstre: receptoren uden binding. I midten: glutamat er bundet. Til højre: både glutamat og en nukleotid (her guanylat) er bundet.

Figur 7

Kurve som viser den subjektivt opfattede smagsintensitet af umami fremkaldt af en blanding af MSG og IMP, hvor forholdet mellem de to komponenter i blandingen varierer, men hvor den samlede koncentration er konstant, og koncentrationen af de to stoffer hver for sig er under smagstærsklen. Kurven viser, at når man tilsætter små mængder af den ene komponent til den anden, vokser smagsintensiteten dramatisk. Smagsintensiteten er kraftigst, når der er omtrent lige store mængder af de to komponenter.



Konkrete eksempler på denne synergi kendes fra alle verdens køkkener, fx tomat og oksekød i en sauce bolognaise. Gode kogekoner ved også, at hvis den brune sovs mangler velsmag, er det sjældent et spørgsmål om salt og sukker, men snarere en smule af noget, som giver umami, fx lidt tomatpure, en dråbe fiskesauce, en smule blåskimmelost eller spidsen af en ansjos, så lidt, at det tilsatte ikke bidrager med sin egen karakteristiske smag, men alene giver umami.

Der findes et par andre, mindre velforståede synergier mellem umami og andre grundsmage, fx kan umami forstærke både sød og salt smag. Da man samtidig med indsigt i umami-synergi kan lave velsmagende mad næsten uden fedtstof, kan vi konkludere, at umami kan være ét af svarende på spørgsmålet om, hvordan man nedsætter salt-, sukker- og fedtstofindholdet i vores mad.

En konkret menu ved LMFKs årsmøde 2014

Vi har brugt vores indsigt i mekanismen i umami-smag og det særlige synergi-princip til at lave en smagemenu, som illustrerer nogle af de ideer, som er beskrevet i denne artikel. Menuen er gengivet i Figur 8.

Hvad kan det bruges til i skolen?

Det at bruge smag og viden om mad som udgangspunkt og inspirationsgrundlag for at skærpe interessen for naturvidenskab hos unge er én af ideerne bag det nye landsdækkende formidlingscenter SMAGforLIVET (smagforlivet.dk). I

Figur 8

En særlig umami-menu. Dansk dashi får glutamat fra kartofler og tomat, og inosinat fra rejer. Sprødstegt risotto med kimchi får glutamat fra Parmaskinke og parmesanost, og inosinat fra kylling. Umami-æg får glutamat fra æg, sojasauce, tang og Worcestershiresauce, og inosinat fra ansjos.

samarbejde med bl.a. STX og HTX uddannelser vil vi bruge mad og smag til at bære naturvidenskab ind i ungdomsudannelserne på en konkret og vedkommende måde.

Vi har allerede nogle opmuntrende erfaringer med flere forskellige hold af gymnasieelever i et køkkenlaboratorium med en fast dagsorden: at lave et måltid med ni retter til hele klassen. Mens råvarer undersøges og behandles, der kokkeres, og der smages, lærer eleverne om sensorik (grundsmage, smagsreceptorer og smagssynergier), den fysiske kemi af

komplekse væsker og emulsioner (mayonnaise, vinaigrette, hollandaise, rouille), fysikken af geler (gelatine og hydrogeler), molekylære kræfter, kvantitativ dataanalyse, fysiske enheder, osv. – og undervejs får de ejerskab til smagen. De er stolte, når de om aftenen præsenterer deres retter for hinanden, og forklarer om smag og tekstur af retterne.

Vi har også sammen med en gymnasieklasse og lærere arbejdet med at dekonstruere udvalgte fødevarer i deres fysik, kemi og biologi og erfaret, at man kan udfolde en del af kemi- og biologipen-



Årsmøde 2014



STYRBÆKS

SMAGforLIVET

Fredag den 31. oktober, 2014

Smag på naturvidenskaben

Ole G. Mouritsen & Klavs Styrbæk

Smagsprøver

Dansk dashi

Ditta-kartoffelvand med tomatjus
Kogte, tørrede og røgede fjordrejhoveder

Sprødstegt risotto med kimchi

Risotto med hønsebouillon, sojabønne,
Parmaskinke, Parmesanost, kimchi af rødt spidskål og rønnebær,
cayennepeber fra haven

Umami-æg

Vacuumsyltede øko-æg i marinade af
rødbede, sojasauce og Worcestershiresauce
Ansjos under blommen
Vingetangsalt

sum, og visse elementer af fysikpensum, ved at se nærmere på råvarens kemiske opbygning, biokemiske processer og fysiske egenskaber, alt sammen gennem en optik, der samler sig om smag i bred forstand som omtalt i denne artikel. Det er sandsynligt, at en sådan tilgang også kan danne udgangspunkt for AT-forløb under STX og SO-forløb under HTX. Med emnet smag foreligger der også spændende og uafprøvede muligheder for at arbejde på tværs af naturvidenskabelige og humanistiske skolefag, som ellers traditionelt har vanskeligt ved at række sig mod hinanden, se fx Thrane og Eriksen (2014).

Vi kalder denne naturvidenskabelige tilgang til gastronomien for *gastrofysik* (Mouritsen 2014), og vi ser gastrofysikken som en ny måde at integrere læring i forskellige naturfag, hvor interessen for mad og smag bruges som motor for at skabe interesse og nysgerrighed hos unge.

Det nye tiltag med at bringe gastrofysik og tværfaglige tilgangsvinkler ind i ungdomsuddannelserne vil fremover få en bredere basis at stå på, idet der med den nye folkeskolereform netop er indført et nyt skolefag *Madkundskab*. I beskrivelsen af dette fag står det nu helt klart, at det ikke 'bare' drejer sig om madlavning, men også om madens og madlavningens fysik og kemi, ja vendingen 'gastrofysik og eksperimentelle arbejdsformer' er endda eksplicit nævnt i fagbeskrivelsen af 7. klasses valgfag i *Madkundskab*. Folkeskoleeleverne får desuden mulighed for at lære om koblingen mellem naturvidenskab og teknologi/innovation ved at inddrage viden om råvarediversitet og smag i skolefagene 'madkundskab', 'natur og teknik' og 'håndværk og design.'

Der kan derfor være flere gode grunde til at 'smage på naturvidenskaben' i de gymnasiale uddannelser.

Litteratur

- Khandelia, H. og O. G. Mouritsen. *Velsmag – sådan virker det*. *Aktuel Naturvidenskab* 4, 6–9 (2012).
- Mouritsen, O. G. *Gastrofysik: videnskab, velsmag, velbefindende*. I *Søforklaringer*, Aarhus University Press, Aarhus, pp. 248–261 (2014).
- Mouritsen, O. G. og K. Styrbæk. *Umami. Gourmetaben og den femte smag*. Arnold Busck Nyt Nordisk Forlag, København (2011).
- Prescott, J. *Taste Matters: Why We Like the Food We Do*. Reaktion Books, London (2012).
- Shepherd, G. M. *Neurogastronomi*. Columbia University Press (2012).
- Thrane, C. og J. H. Eriksen. *Livretter – mad i kunst og litteratur*. Systime, Aarhus (2014).
- This, H. *Note-by-Note Cooking: The Future of Food*. Columbia University Press, New York (2014).
- Wrangham, R. *Catching Fire*. Basic Books, New York (2009).

Om SMAGforLIVET

SMAGforLIVET er en dansk center uden mure, støttet af Nordea-fonden, som har til opgave at formidle viden om smag især til børn og unge. Det gør vi ved at udføre forskningsbaseret formidling og formidlingsbaseret forskning i smag. Vi arbejder med tre indbyrdes forbundne hovedtemaer: Læring, gastrofysik og håndværk. Målet med SMAGforLIVET er at få danske børn, unge og voksne til at bru-

ge deres smag bevidst, så de kan foretage begrundede madvalg. Det implicerer både smagsoplevelser, viden om smag, læring om smag og udvikling af smag i mad. SMAGforLIVET vil med en unik grad af tværfaglighed og med eksemplets kraft gøre smagen central, når vi spiser, og når vi lærer. SMAGforLIVET vil støtte og udfordre smag som drivkraft for det gode liv ved at gøre det muligt at sætte ord på smag, vælge smag og få lyst til eksperimenter med smag. Som

en del af aktiviteterne samarbejder SMAGforLIVET med lærere i naturvidenskab ved STX og HTX uddannelserne på tværs af landet. For mere information, se www.smagforlivet.dk. Fra foråret 2015 vil der være etableret et GastroLab, et særligt køkkenlaboratorium, ved Syddansk Universitet, hvor der bliver mulighed for at udføre fysik- og kemiexperiment med mad og smag.