

# Maillard-reaktioner og karamellisering: Få mere smag og aroma ved at mestre bruningsprocessen

Bruning af maden udvikler et væld af aromastoffer takket være to slags kemiske reaktioner: Maillard-reaktioner og karamellisering. Gastrofysiker Morten Christensen forklarer her, hvad der sker.

Når vi bruner maden, sker en række kemiske reaktioner, som udvikler smag og ikke mindst aromaer, som de fleste kender og værdsætter i f.eks. stegeskorpen på kød, skorpen på nybagt brød, karamelliserede grøntsager eller ristede kaffebønner.

Overordnet betragtet kan bruning ske på mange forskellige måder. Nogle typer bruning er uønskede, f.eks. når [udskåret eller beskadiget frugt](#) og grønt bliver brunt. Andre bruningsreaktioner fremkalder et væld af aromastoffer, som de fleste godt kan lide. Det er dem, vi målrettet forsøger at få til at forløbe under tilberedningen, fordi de får maden til at dufte og smage mere fyldigt og spændende. Denne artikel fokuserer på disse aromatiske bruningsreaktioner. Du vil bl.a. stifte bekendtskab med disse fagbegreber:

- Maillard-reaktioner
- Karamellisering
- Aromastoffer

Maillard-reaktionerne er en række kemiske omdannelser i maden, som første gang blev beskrevet i 1912 af den franske kemiker og læge Louis-Camille Maillard (Maillard udtales ma'JAAR). Maillard-reaktionerne betegnes somme tider under ét som "Maillard-reaktionen" eller i kort form bare "Maillard", men der er tale om en hel kæde af forskellige kemiske reaktioner. Derfor bruger vi fagbegrebet Maillard-reaktionerne. Karamellisering har navn efter karamel - det produkt, der dannes, når sukker varmes op til over ~170 °C.

## Kend reaktionerne for at kunne styre dem

I køkkenet genkender vi bruningen ved høje temperaturer, når vi fx tilbereder maden på

grillen, komfuret, ovnen eller i frituren. Denne bruning af maden sker pga. Maillard-reaktionerne og karameliseringsreaktionen.

For at kunne forarbejde maden, så vi får de bruningsreaktioner vi ønsker, er det nødvendigt at kunne skelne mellem de forskellige typer af bruning og forstå, hvilke "knapper" man skal dreje på for at få reaktionerne til at forløbe optimalt. Med viden om Maillard-reaktionerne og karamellisering kan man blive bedre til at:

1. Forstå de gastrokemiske forhold, temperatur, pH, vand og indholdsstoffer, der påvirker madens smag og aroma under bruning.
2. Tilrettelægge madlavningen, så man skaber gode forhold for bruningsprocesserne og dermed får udviklet mest mulig aroma og smag.

## Maillard-reaktioner og karamellisering - helt generelt

Maillard-reaktionerne og karamellisering er begge en hel kæde af forskellige kemiske reaktioner, der udvikler aromastoffer i maden.

I køkkenet ligner reaktionerne hinanden meget. De udvikler begge aromastoffer, hvoraf nogle endda er de samme. De sættes igang med nogle af de samme teknikker, fx stegning, og de foregår ved nogle af de samme temperaturer. Både Maillard-reaktionerne og karamellisering farver maden brun og foregår endda oftest på samme tid under en tilberedning.

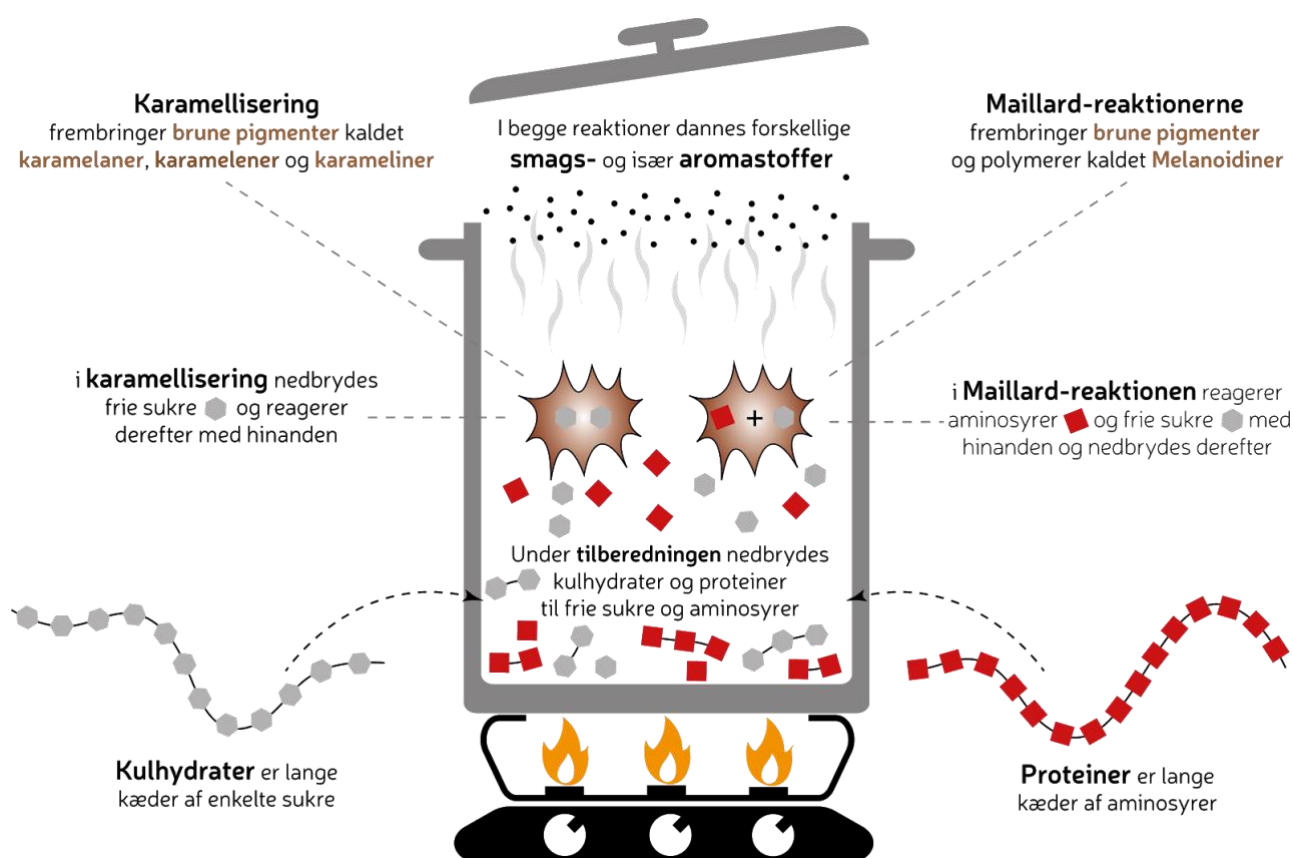
Hvorfor så skelne mellem dem? Fordi de udvikler forskellige aromaer i maden og foregår under forskellige forhold, som man kan påvirke under tilberedningen af maden. .

En nem måde at adskille Maillard-reaktioner og karamellisering på er ved at være opmærksom på hvilken fødevarer man tilbereder, hvilke ingredienser man har tilsat og hvilken temperatur man arbejder ved.

Det gælder nemlig helt generelt for Maillard-reaktioner og karamellisering, at:

- Begge reaktioner:
  - bidrager hovedsageligt med aromastoffer i maden.
  - udvikler forskellige - men også nogle af de samme - aromastoffer.
  - er påvirket af pH, idet bruningen sker hurtigst under basiske forhold og langsommere under sure forhold.
  - kræver, at der er vand til stede, dog ikke for meget

- **Maillard-reaktionerne:**
  - bliver tydelige ved temperaturer fra ~120 °C og markant ved temperaturer over ~140 °C. Maillard-reaktionerne forløber optimalt ved 140 - 170 °C.
  - Starter hovedsageligt mellem frie sukermolekyler fra kulhydrater og aminosyrer fra proteiner.
  - udvikler melanoidiner, der farver maden brun.
- **Karamellisering:**
  - begynder for almindeligt sukker ved ~170 °C
  - starter med at frie sukermolekyler (sukrose) nedbrydes til fruktose og glukose. Derefter sker karamelliseringen som en nedbrydning (pyrolyse) af fruktose og glukose
  - udvikler karamelaner, karmeliner og karamelener, der farver maden brun.



*Grafik: Maillard-reaktioner og karamellisering er reaktioner med madens kulhydrater og proteiner. Der udvikles smags- og aromastoffer, og maden bruner. Grafik: Morten Christensen*

I køkkenet vil man normalt være tilfreds med at begge reaktioner forløber, da de begge udvikler madens smag og aroma. Men med et indblik i de molekyler, der indgår i reaktionerne, og forholdene de reagerer under, kan man bedre forudse, hvordan man kan påvirke bruningshastigheden og typen af smags- og aromastoffer der dannes.

## Den “usynlige” molekylære forskel

Når vi tilbereder maden, reagerer madens molekyler med hinanden. Levende organismer består af celler med samme grundlæggende biologiske molekyler: Kulhydrater, proteiner og fedtstoffer. Både kulhydrater og proteiner findes i alle typer af levende celler, fx plante- eller animalske celler. Derfor sker mange af de samme typer kemiske reaktioner, når maden varmes op.

En af de største forskelle på Maillard-reaktioner og karamellisering er da heller ikke til at se med det blotte øje. Forskellen findes i madens molekyler, nærmere bestemt typen af molekyler, der indgår i reaktionerne.

En huskeregel for Maillard-reaktioner og karamellisering er, at Maillard-reaktionerne involverer både aminosyrer og sukre, mens karamellisering kun involverer sukre.

Aminosyrer er de små molekylære byggesten, som proteinerne i maden består af. Frie sukre er de små molekylære byggesten, som kulhydraterne i maden er opbygget af.

Forskellen mellem Maillard-reaktioner og karamellisering ses i de første trin i reaktionerne:

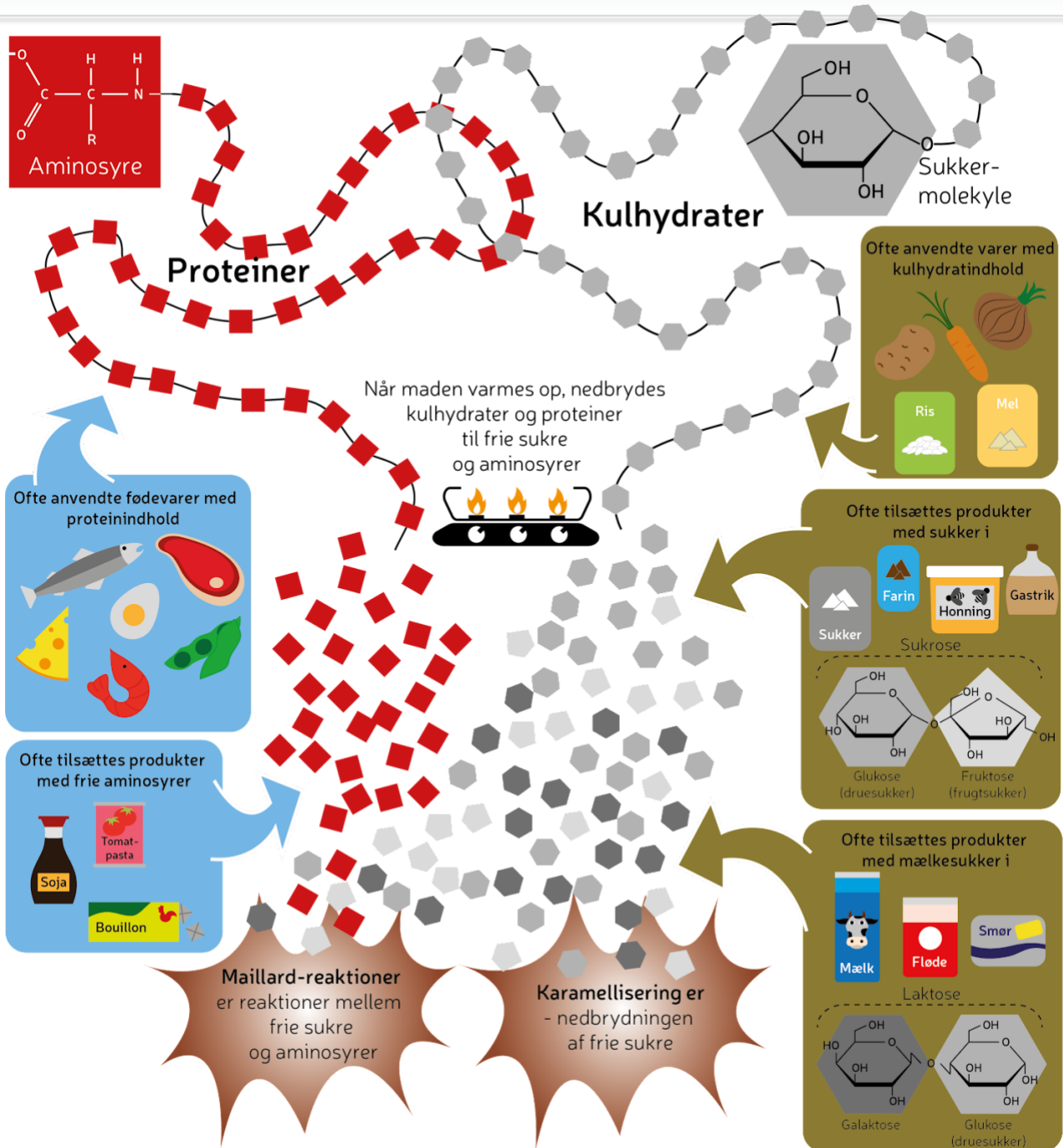
- Maillard-reaktionerne begynder typisk som en reaktion mellem en aminosyre og et frit sukermolekyle.
- Karamellisering begynder med nedbrydningen af et frit sukermolekyle.

### Kemisk viden

Det er typisk aminosyrer, der indgår i reaktionerne. Men faktisk er mange andre andre kemiske molekyler også i stand til at indgå i Maillard-reaktioner, de skal blot have en fri amin-gruppe ( $-NH_3$ ) som fx. nukleinsyrer. Man taler dog oftest kun om aminosyrer, da de normalt findes i den langt højeste koncentration i maden. Oftest indgår især

Forskellen har en afgørende betydning for typen af aroma- og smagsmolekyler, der udvikles, og på typen af molekyler, der farver maden brun.

Maillard-reaktionerne danner melanoidiner, hvorimod karamelliseringen danner karamelaner, karameliner og karamelener. Det er dog umuligt at se forskel med det blotte øje, da farven er den samme. Derfor kan man ikke skelne mellem reaktionerne bare ved at se på maden. Man må kende forholdene maden er tilberedt ved, eller dufte til maden.

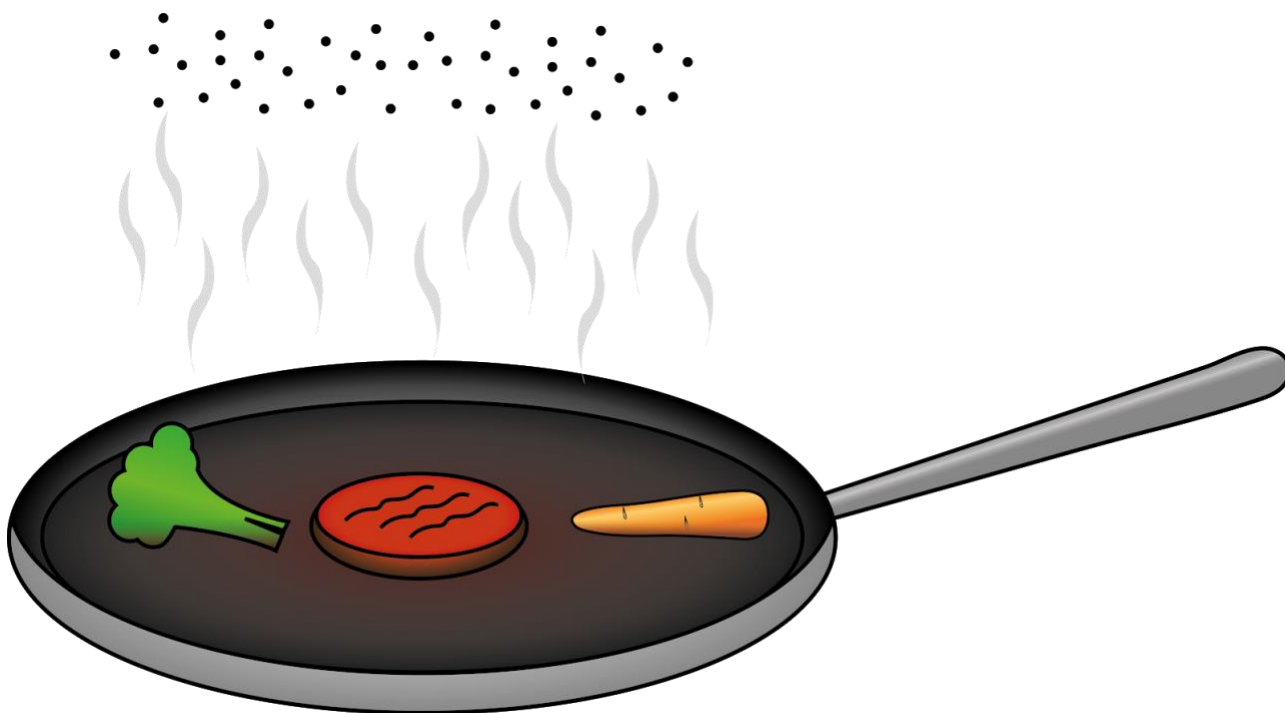


Grafik: I maden findes de molekyler, der indgår i Maillard-reaktionerne og karamellisering. Under tilberedning af maden frigives suktermolekyler fra lange kulhydrater, for eksempel når sukrose nedbrydes til glukose og fruktose, og aminosyrer frigives fra proteiner.

Som nævnt kan Maillard-reaktionerne og karamellisering danne nogle af de samme aromastoffer. Årsagen er, at mange af karamelliseringsreaktionerne også indgår i Maillard-reaktionerne. Men Maillard-reaktionerne udvikler også mange andre aromastoffer.

Hvilken type aromastoffer, der udvikles under bruningen, afhænger af flere forskellige forhold:

- koncentrationen af proteiner, aminosyrer, kulhydrater og sukre i maden
- temperatur under tilberedningen
- madens pH
- vandaktivitet



*Grafik: Maillard-reaktioner og karamellisering kan ske ved tilberedning af næsten alle fødevarer. Det udvikler både nogle af de samme aromastoffer, og nogle der er specifikke for de to slags reaktioner.*



*Grafik: Nogle af de aromastoffer, der udvikles i maden, og deres umiddelbare aromatiske kategorisering.*

## Temperaturen spiller en afgørende rolle

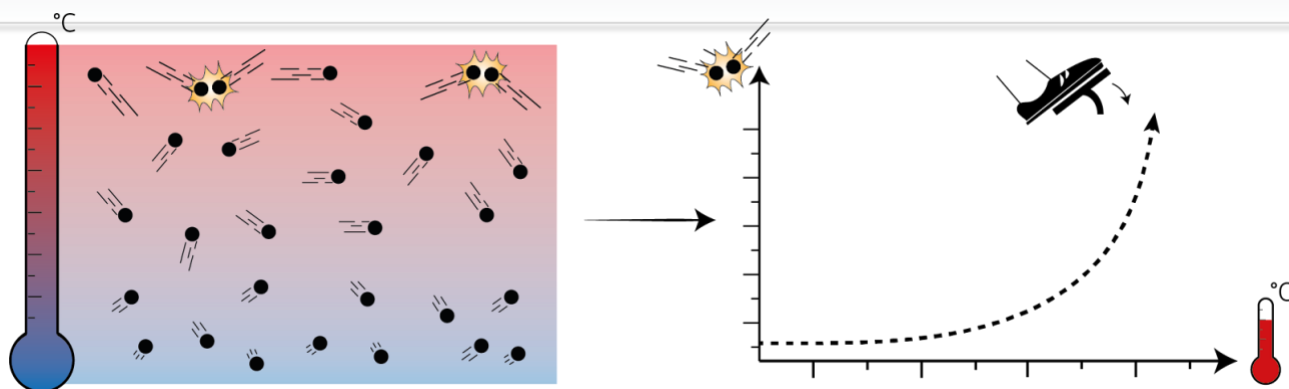
Den vigtigste forudsætning for Maillard-reaktioner og karamellisering er altså tilstedeværelsen af de molekyler, der indgår i reaktionerne. Temperaturen er næstvigtigste parameter.

Højere temperatur øger hastigheden af molekylerne i et materiale, fx de råvarer, vi tilbereder. Når molekylerne bevæger sig hurtigere, forløber de fleste kemiske reaktioner også hurtigere. Det kan man se i Maillard-reaktionerne og karamellisering ved, at bruningshastigheden stiger markant ved højere temperatur.

Det er vigtigt at forstå, at temperaturerne 140 °C og 170 °C, som typisk angives for Maillard-reaktioner og karamellisering, ikke angiver hvornår reaktionerne begynder at forløbe, men at de angiver den temperatur, hvor der forekommer så mange reaktioner, at de bliver markante og vigtige for udvikling af smag og aroma.

Man kan sige, at temperaturen ikke fungerer som en præcis "startlinje" for reaktionerne, men nærmere som en "speeder" for reaktionernes hastighed.





*Grafik: Når temperaturen stiger i madlavningen, stiger hastigheden af molekylernes bevægelser og dermed også antallet af bruningsreaktioner markant. Højere temperatur virker som en "speeder" for reaktionerne.*

Hvis man ønsker at tilberede maden ved lavere temperatur end  $\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kan man i stedet for høj temperatur bruge længere tid og alligevel opnå Maillard-reaktioner. De kan nemlig under de rette forhold foregå under  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dette kræver blot timer, dage og måske endnu længere tid. En steg i ovnen vil fx også skifte farve ved  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , det tager blot flere timer. Det er først omkring  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , at Maillard-reaktionerne sker inden for minutter.

#### Eksmepler på bruningsreaktioner ved lavere temperaturer:

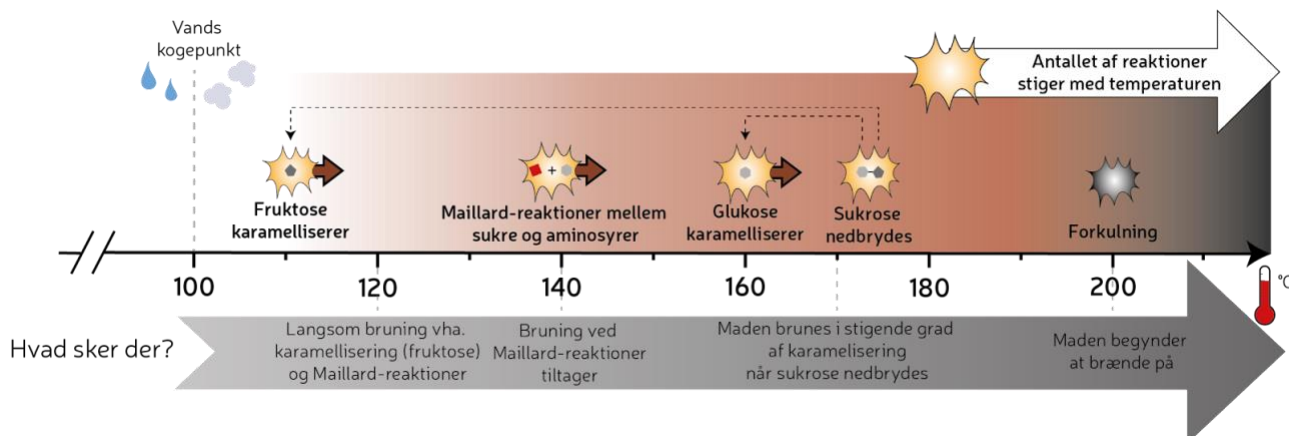
- Marengs begynder at brune ved ca.  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Sorte hvidløg, hvor hvidløg opvarmes til  $60\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$  i lang tid og derefter tørres. [Se evt. mere her.](#)

Karamelliseringen adskiller sig fra Maillard-reaktionerne ved at begynde ved en højere temperatur. Den almindeligste type sukker i maden er sukrose, der under opvarmning til  $\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$  spaltes (hydrolyseres) til sukkermolekylerne fruktose og glukose. Hvis der slet ikke er vand til stede, vil tørt, almindeligt sukker endda først begynde at blive nedbrudt ved  $\sim 184\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Men når først sukrose er nedbrudt til fruktose og glukose, bruner sukkerstofferne hurtigt. Årsagen er, at glukose og fruktose karamelliserer ved lavere temperaturer, henholdsvis  $\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  for glukose og  $\sim 105\text{ }^{\circ}\text{C}$  for fruktose. Man vil derfor sandsynligvis opleve, at karamelliseringen og brunfarvningen går hurtigt, når temperaturen har nået de  $\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Kommer madens overflade over  $\sim 200^{\circ}\text{C}$ , begynder maden at forkulle. Forkulning er en ufuldstændig forbrændingsproces, hvor sukermolekylerne danner en sort, forkullet overflade. Det vil mange have oplevet, når noget er brændt på.

De fleste Maillard- og karamelliseringreaktioner foregår altså omkring intervallet  $\sim 120^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$ , og man kan bruge temperaturen som en guide til at regne ud hvilke typer af reaktioner, der sandsynligvis foregår.



*Grafik: Temperaturen bruges som en speeder til at øge hastigheden af Maillard-reaktionerne og karamelliseringen. Samtidig kan temperaturen bruges som guide til at afgøre, hvilke slags bruningsreaktioner der foregår.*

Andre parametre, der skruer op for bruningen, er vand, pH-værdi og koncentrationen af proteiner (aminosyrer) og kulhydrater (sukre) i maden. I de følgende afsnit ser vi på, hvordan man kan tage højde for dem i køkkenet.

### Tag hensyn til vandet: Der må hverken være for meget eller for lidt

Vandet i og omkring maden, der tilberedes, har betydning for bruningsreaktionerne. I hovedtræk er der to forhold, man skal være særligt opmærksom på:

1. Vandets indflydelse på temperaturen
2. Tilstedeværelsen af vandmolekyler, som kan indgå i Maillard-reaktionerne

Det første forhold er vandets påvirkning af temperaturen på madens overflade, hvor bruningsreaktionerne foregår. Vands kogepunkt er  $100^{\circ}\text{C}$ , og hvis der er for meget vand ved madens overflade, vil temperaturen bevæge sig mod dette punkt, så længe vandet ikke er fordampet væk. Det er derfor, det kan være svært at brune fx hakket oksekød på panden, hvis først kødet har frigivet for meget vand - så koger man i stedet kødet. Hvis der

derimod er for lidt vand til stede, kan man risikere, at temperaturen stiger for hurtigt, og at maden så brænder på.

Det andet forhold er, at nogle af bruningsreaktionerne kemisk skal bruge vandmolekyler for at forløbe. Når fx sukrose nedbrydes (hydrolyseres) til fruktose og glukose, sker det ved  $\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ , når der er vandmolekyler til stede, hvorimod det karamelliserer det først sker ved  $\sim 184\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hvis sukkeret er helt tørt.

Tilsvarende har de indledende kemiske trin i Maillard-reaktionerne også brug for vand for at kunne forløbe.

Der må altså ikke være for meget vand hvor bruningen foregår, men der må heller ikke være for lidt vand. I køkkenet kan vi ikke måle madens vandaktivitet, så fornemmelsen for forholdet mellem temperaturen under bruning og hensynet til vandet kommer typisk med kokkens praktiske erfaring. Et par eksempler:

Ved pandestegning kan man tage hensyn til vandet ved at sørge for, at panden er varm nok inden man bruner kødet, så det vand, der trænger ud af kødet, ikke sænker temperaturen ned under den optimale bruningstemperatur. Ligeledes kan man ved tilberedning i en ovn tage hensyn til vandet ved at tilføre/danne damp omkring maden, eller ved at overhælde maden med væske undervejs, så der er vand til bruningsreaktionerne, samtidig med at vandet hjælper med at køle madens overflade ned til den optimale bruningstemperatur, så maden ikke brænder på.

### Kemisk viden: Vandaktiviteten

Den mængde vand, der er til rådighed til kemiske reaktioner i maden, kaldes vandaktiviteten. Vandaktiviteten betegner, hvor meget "frit" vand der er til stede til at indgå i kemiske reaktioner i forhold til den samlede mængde vand. Er der intet vand til rådighed er vandaktiviteten 0, og hvis alt vandet er tilgængeligt er vandaktiviteten 1. Maillard-reaktionerne forløber bedst ved



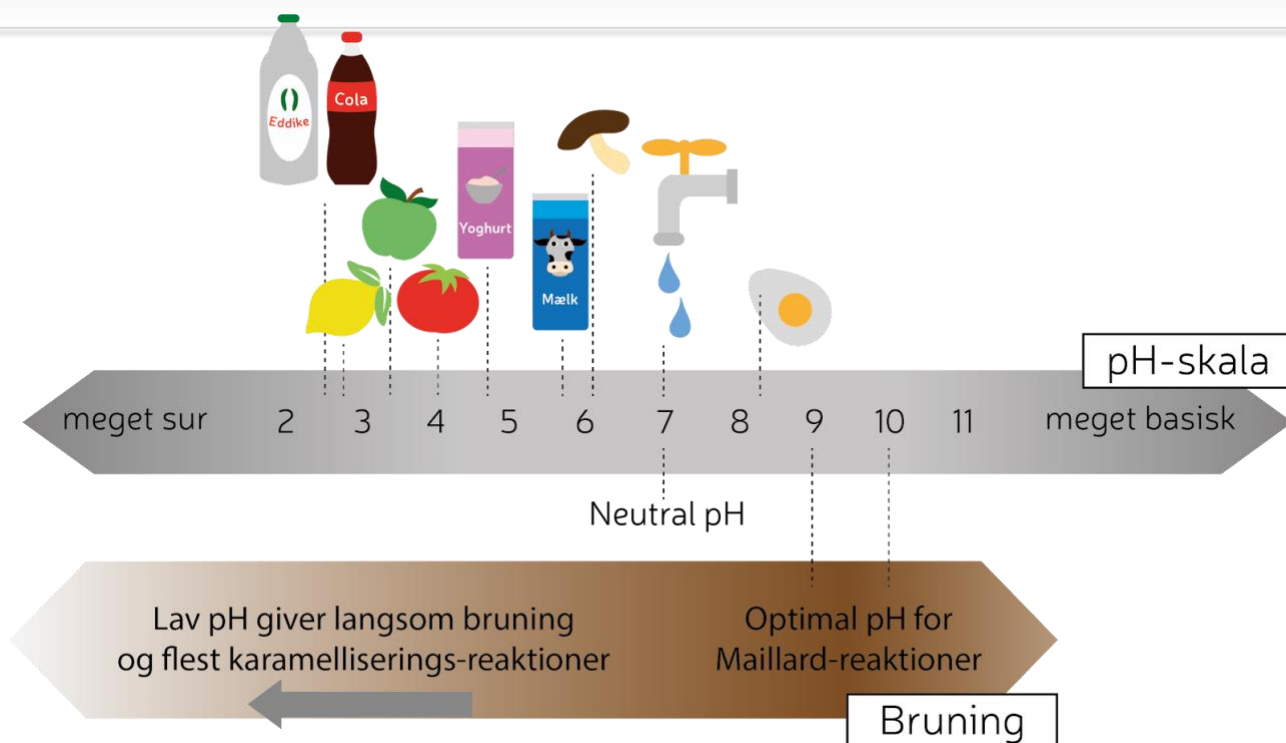
*Grafik: Det er vigtigt at tage hensyn til vandet, når man vil opnå en god bruning. Med en passende varme på stegefladen og evt. tilførsel af vand/damp til varme bruningsoverflader kan man holde det rigtige vandniveau og sørge for, at maden ikke brænder på. Er der for meget vand, vil maden koge og ikke brune.*

## Madens surhedsgrad (pH) påvirker bruningsreaktionerne

Oftentimes, one adds something acidic during the seasoning of the food, but the food's acidity has not only significance for how it tastes. Some chemical reactions are also affected by the acid concentration. Raising the pH value and making the food more basic, will increase the number of Maillard- and caramelization reactions. A small irony is that the optimal pH is ~9-10 for the browning reactions, which is more basic than most of our food products.

The food's acidity (pH) also has a significance for the possibility of the chemical reactions occurring faster. The acidity gives a difference in the type of aromatic substances, which are formed, and thus how the food's overall aroma becomes.

One can test this by preparing under different pH. An example is, that the aromatic substances, which we normally associate with meat, decrease, when the pH exceeds the normal pH ~5,7 during the preparation. Another example is, that a lower pH increases the breakdown of sucrose to fructose and glucose, which favors caramelization reactions over Maillard reactions.



*Grafik: Basiske forhold øger hastigheden af Maillard-reaktioner, mens syre sænker hastigheden og favoriserer karamellisingsreaktioner. Æggehvite er en af de ganske få almindelige fødevarer, der er basiske.*

Maillard- og karamellisingsreaktionerne udvikler i sig selv også syre undervejs. Det bør man tage højde for ved tilsmagningen, især hvis man bruner maden over længere tid.

### Hold øje med indholdsstofferne: Aminosyrer og sukre

Man kan hjælpe udviklingen af aromaer på vej, hvis man øger madens indhold af de vigtige stoffer, der kan indgå i bruningsreaktionerne. Et eksempel er marineringen af overfladen af et stykke kød inden fx stegning på grill. Her er det vigtigt at bruge ingredienser i marinaden, der tilføjer både aromaer (fx krydderier) og nogle af de stoffer, der indgår i Maillard- og karamellisingsreaktionerne - nemlig aminosyrer (protein) og sukre.

Sukker kan man tilføje ved at bruge honning, farin eller andre sukkerholdige produkter. Aminosyrerne kan man dels få direkte fra kødsaftens protein, dels ved at tilføje produkter med et højt indhold af protein eller aminosyrer, fx tomatpure, sojasauce, bouillon eller ansjoser.

Et godt eksempel på tilførsel af både sukker og aminosyrer er brugen af en tør "rub" på overfladen af et stykke kød. Det tørre sukker i blandingen trækker saften fra kødet ud i marinaden. Kødsaften indeholder frie aminosyrer, der kan indgå i Maillard-reaktionerne.

## Få overblikket: Maillard-reaktioner og karamellisering i madlavningen

Alt i alt er der mange parametre at skrue på, når man vil skabe de bedste forhold for den ikke-enzymatiske bruning, Maillard-reaktioner og karamellisering:


- valget af råvarer
- tilberedningstiden
- tilberedningsmetoden
- temperaturen
- madens pH
- tilstedeværelsen af vand
- koncentrationen af proteiner og sukre, som kan indgå i Maillard- og karamellisierungsreaktionerne

# Maillard-reaktioner og karamellisering

Maillard-reaktioner og karamellisering er bruningsreaktioner, der foregår, når aminosyrer (fra proteiner) og frie sukre (fra kulhydrater) nedbrydes i madlavningen. Reaktionen udvikler en brun farve og masser af smag og aroma i maden. Her er noget af den vigtigste viden om reaktionerne.

### Maillard-reaktioner og karamellisering giver forskellige aromastoffer

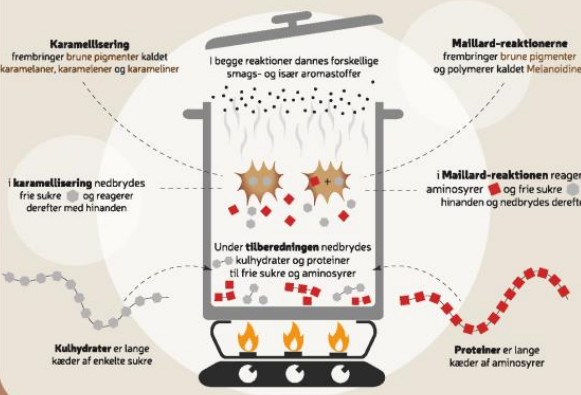
Her er en oversigt over det, de dannede aromastoffer minder om.



Maillard-reaktioner      Karamellisering

### Sådan foregår reaktionerne

Her er en grundlæggende oversigt over bruningsreaktionerne.



**Karamellisering** frembringer brune pigmenter kaldet karamelaner, karamelener og karameliner

**Maillard-reaktionerne** frembringer brune pigmenter og polymerer kaldet Melanoidiner

I begge reaktioner dannes forskellige smags- og især aromastoffer

I **karamellisering** nedbrydes frie sukre og reagerer derefter med hinanden

I **Maillard-reaktionen** reagerer aminosyrer og frie sukre med hinanden og nedbrydes derefter


Under **tilberedningen** nedbrydes kulhydrater og proteiner til frie sukre og aminosyrer

**Kulhydrater** er lange kæder af enkelte sukre

**Proteiner** er lange kæder af aminosyrer

### pH påvirker reaktionerne

Her kan du se den optimale pH for de to bruningsreaktioner.



Meget sur 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 Meget basisk

Neutral pH

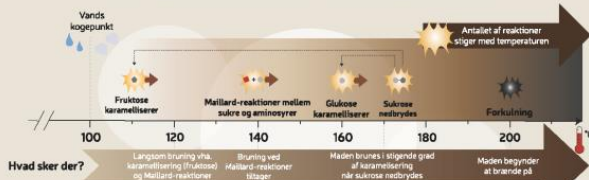
Lav pH giver langsom bruning og flest karamellisierungsreaktioner

Optimal pH for Maillard-reaktioner

Bruning

### Temperatur spiller en vigtig rolle

Bruningsreaktionerne foregår ved forskellige temperaturer.



Vands kogepunkt

100 120 140 160 180 200 °C

Hvad sker der?

Fruktose karamelliserer

Maillard-reaktioner mellem sukre og aminosyrer

Glukose karamelliserer

Sukrose nedbrydes

Forkulning


Langsom bruning via karamellisering (Fruktose) og Maillard-reaktioner

Bruning ved Maillard-reaktioner tæpper

Madens brunes i stigende grad af karamellisering når sukrose nedbrydes

Madens begynder at brænde på

Antallet af reaktioner stiger med temperaturen



Scan QR koden for mere information om Maillard-reaktioner og karamellisering

FAG med SMAG

NORDEA FONDEN  
Vi støtter gode idéer

[Hent plakaten om Maillard-reaktioner og karamellisering til print eller tryk.](#)

### Ordforklaring:

Forkulning	Ufuldstændig forbrændingsproces, hvor organisk materiale nedbrydes og polymeriserer til en sort masse.
Hydrolyse	Spaltning af molekyler ved tilstedeværelsen af vand, fx spaltningen af sukrose til glukose og fruktose
Karamelaner, karamelener & karameliner	<p>Betegnelser for de komplekse polymermolekyler, der udvikles under karamelliseringen og samles i brune pigmenter.</p> <p>De præcise strukturer er endnu ikke kendte, men kendetegnes ved, at de kemiske strukturer indeholder vand i forholdet: karamelan &gt; karamelen &gt; karamelin og størrelsen af pigmenterne arrangerer sig i forholdet:</p> <p>karamelin &gt; karamelen &gt; karamelan</p>
Melanoidiner	De komplekse molekyler, der udvikles i de ikke-enzymatiske Maillard-reaktioner. Melanoidinerne farver maden brun. De er opkaldt efter molekylet melanin.
pH	<p>Måleenhed for syregraden af en opløsning. Begrebet pH dækker over formelen <math>\text{pH} = -\log[\text{H}^+]</math>.</p> <p>Et fald i pH-værdi indikerer, at en opløsning bliver (mere) sur.</p> <p>En stigning i pH-værdi indikerer, at en opløsning bliver (mere) basisk.</p>
Pyrolyse	Nedbrydning af en kemisk forbindelse (et molekyle) ved en øget temperatur uden brug af ilt.
Vandaktivitet	Et udtryk for den andel af alle vandmolekylerne i et materiale, som er frie til at reagere med andre molekyler.

### Bøger (mest relevante):

- McGee, Harold. On food and cooking: the science and lore of the kitchen. Simon and Schuster, 2007.

- Hartel, Richard W., et al. Confectionery science and technology. Cham, Switzerland: Springer, 2018.
- Nursten, Harry E. The Maillard reaction: chemistry, biochemistry, and implications. Royal Society of Chemistry, 2005.
- Damodaran, Srinivasan, Kirk L. Parkin, and Owen R. Fennema, eds. Fennema's food chemistry. CRC press, 2007.
- Pedersen, Carl Th. "Maillardreaktionen på godt og ondt-en 100 års fødselsdag." Dansk Kemi 94.6-7 (2013): 22-24.

### Referencer (andre benyttede):

- Bruice, Paula Yurkanis. "Organic chemistry." (2017).
- Wang, He-Ya, He Qian, and Wei-Rong Yao. "Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity." Food chemistry 128.3 (2011): 573-584.
- Ajandouz, E. H., et al. "Effects of pH on caramelization and Maillard reaction kinetics in fructose-lysine model systems." Journal of Food Science 66.7 (2001): 926-931.