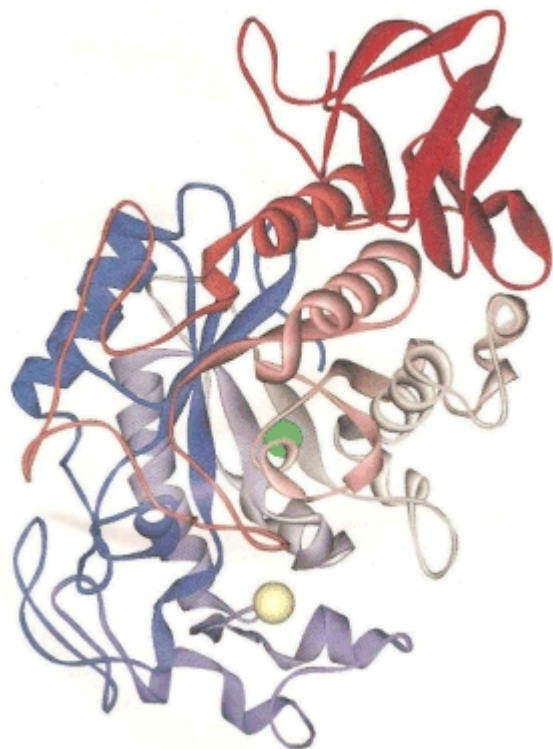


# TRIN-MÆSKNINGENS VIDENSKAB

af Dave Green

Denne artikel er oprindelig bragt i det amerikanske håndbryggetidsskrift "Brew Your Own" i januar/februar 2008 og efterfølgende oversat af medlemmer af [www.haandbrygforum.dk](http://www.haandbrygforum.dk)



Trin-mæskning er et mæskeprogram, hvor mæsketemperaturen hæves progressivt gennem en række pauser ved bestemte temperaturer. Det store udbud af velmodificeret malt har i de fleste tilfælde praktisk talt fjernet behovet for at gennemføre trin-mæskning. Hvorfor bør man så vide mere om processen og videnskaben bag trin-mæskning? Helt enkelt fordi du kan lave flere variationer og nogle gange bedre øl, hvis du følger et trin-mæskningsprogram.

Trin-mæskning lader bryggere manipulere mæsken for at få den ønskede urt gjort tør eller sød, fløjlsagtig eller mindre stringent. Du vil måske også opleve, at din bryg-effektivitet går en anelse op når der bruges et trin-

mæskningssystem. At forstå videnskaben bag trin-mæskningen kan hjælpe alle all-grain bryggere – og endda bryggere, der brygger delvist ekstrakt- og kornbrygning (partial mash bryggere) – med at vælge det rette mæskesystem til deres øl.

## Maltmodificering

Maltning har en grundlæggende rolle i bryggeprocessen. Formålet med mæskningen er i realiteten en udvidelse af formålet med maltingen, og hvad der sker i malteriet bør påvirke dit valg af mæskemetode.

Hovedformålet med maltingen er at få startet spiringen i byggen og derefter i kølningen at riste kornet, for at stoppe sæden spiring. Bryggere har interesse i dette, fordi det vil starte to vitale nedbrydningsprocesser og samtidig producere de vigtige mæskningsenzymmer. Gennem maltningsprocessen opløses glukosefibre i byggenes cellevægge. Samtidig nedbrydes proteiner. Denne nedbrydning forsyner samtidig urten med aminosyrer, som er nødvendige for at give gæren de bedste forhold, samt mindsker sandsynligheden for tåge eller biologisk ustabilitet i det færdige øl. Og sidst, maltning forårsager en produktion af stivelsesnedbrydende enzymer, som vil gå på arbejde i mæsken. Nedbrydningsgraden på glukosefibre og protein kaldes for modificering. Nu til dags har de fleste malte fuld modificeringsgrad. Glukosefibre og proteiner nedbrydes i en grad, hvor bryggere kun behøver at opløse stivelsen i kornet, for lave en urt af god kvalitet. Undermodificerede malttyper er

dem, hvor maltningen er stoppet tidligt, reelt for at lade bryggeren færdiggøre opgaven i bryghuset.

Hvis en malt er undermodificeret, vil det tydeligt fremgå af maltens navn. For eksempel laver Briess (US-malt-leverandør) en malt, der hedder "Less Modified Pilsener Malt". Omvendt, hvis en malts navn ikke omtaler modificeringsgraden, er den fuldt modificeret. Bygkorn er meget hårde. Maltningen foregår fra den ene ende af bygkornet til den anden og blødgør det. En anden måde at registrere en undermodificeret malt er at tygge på det – hvis det har en hård "stålagtig" ende, så er det undermaltet. Se tabel 1 for en opsummering af forskellige malttyper og deres modificeringsgrad.

Hvis du har købt en undermodificeret malt – eller har lavet din egen malt hjemme, hvilket sædvanligvis giver en ujævn maltningsgrad i kernerne – vil en trin-mæskning nok være den bedste løsning.

## Enzymer

Enzymer er proteiner, der katalyserer kemiske reaktioner og tillader dem at ske ved en meget højere hastighed, end de ville kunne alene (Der findes også

enzymer, der er lavet af RNA molekyler, men disse spiller ikke en direkte rolle i mæskningen).

Et protein er en lang, uforgrenet streng af aminosyrer, så kort som 50 aminosyrer og helt op til over 8.000 aminosyrer i nogle af de største proteiner. I nogle dele af et protein vil en aminosyresekvens forme en spole (kaldet en helix). I andre kan strengen lægge sig dobbelt om sig selv og forme en flade. Hele sekvensen, med sine lokale områder af helix og flader, samles i en tredimensionel form. De mest almindelige forbindelser, som stabiliserer enzymernes form er kendt som Van der Waals kræfter, svage tiltrækninger, der let kan brydes ved temperaturstigning eller ændringer i pH-værdi.

Formen på et enzym bestemmer dens funktion. Dette skyldes, at substratet i et bestemt enzym vil passe ind i enzymets aktive del. En simpel analogi for enzymaktivitet kan tegnes ved hjælp af computerspillet PacMan. Hvis PacMan-figuren var et enzym, ville hans mund være den aktive del, som ville fange substratet eller substraterne og danne en kemisk reaktion. Når for eksempel et amylase-enzym nedbryder et stivelsesmolekyle, fanger dets aktive del

Korntype	Glukosefiber-indhold	Cellevægs-nedbrydning	Nedbrydning af store proteiner
Undermodificeret	Middel	Moderat	Lav til middel
Lager/pilsner	Lavt	Højt	Middel
Pale Ale	Meget lavt	Næsten komplet	Næsten komplet
Umaltet hvede, rug og havre	Højt	Ingen	Ingen
Maltet hvede, rug og havre	Middel	Middel	Middel

**Tabel 1**

stivelsen og nedbryder forbindelsen mellem to sukkerrester, der er bundet i stivelsen.

Uheldigvis skal analogier til 1980'ernes videospil nogle gange forlades, når de finere pointer i enzymernes virkning diskuteres. I modsætning til hvad PacMan analogien kan antyde, så tygger enzymer ikke fysisk på molekylerne.

Protein- og stivelsesnedbrydende enzymer i trin-mæskning virker gennem en proces, der kaldes hydrolyse, som løst kan forstås som "knusning med vand". For eksempel vil amylase-enzymet binde sig til to tilstødende suktermolekyler på en stivelsesstreng. Når et vandmolekyle rammer ind i enzymet og substratkomplekset, katalyseres en reaktion mellem et brint-ion (H<sup>+</sup>) fra vandmolekylet og et af suktermolekylerne, samt en anden reaktion mellem et hydroxyl-ion (OH<sup>-</sup>) og det andet suktermolekyle. I bund og grund erstattes forbindelsen mellem de to suktermolekyler med et vandmolekyle, som splittes i to dele og bryder stivelsesstrengen. Når forbindelsen først er brudt, vil ændringerne i molekylernes form i den aktive del forårsage, at enzymet frigives, hvor det

frit flyder rundt i opløsningen indtil det rammer ind i en anden stivelsesstreng.

Men hvis en af de forbindelser, der stabiliserer et enzyms form, ødelægges, så vil enzymet ikke længere fungere på grund af den aktive dels ændringer og substratet ikke vil passe ind. Når et enzyms struktur ødelægges ved hjælp af varme, siger vi at enzymet er denatureret. Når først de er denatureret, er det de færreste enzymer, inklusive de enzymer der er relevant i mæskning, der kan samle sig i sin aktive form igen. Derfor vil man generelt sige, at denaturering vil deaktivere et enzym.

I bryggelitteraturen angives den optimale temperatur for forskellige enzymer (se oversigt i tabel 2). For avancerede bryggere er det vigtigt at forstå hvad disse betyder. Enzymer er simple "maskiner", der alene virker i kraft af deres form. I en opløsning kan de, hvis de støder ind i deres substrat(er) katalysere en kemisk reaktion. Mens en enzymopløsning varmes op, stiger reaktionsfrekvensen, da den tid, det tager for enzymer tilfældigt at ramme ind i substratmolekyler falder, fordi de individuelle molekyler bevæger sig

Enzym	Optimalt temperaturinterval	Maksimering af enzymet	Denaturerer
Phytase	30-53 °C	35 °C	60 °C
Beta-glukanase	35-55 °C	45 °C	60 °C
Peptidase	45-53 °C	50 °C	63 °C
Proteinase	50-59 °C	58 °C	68 °C
Beta-amylase	54-66 °C	64 °C	71 °C
Alfa-amylase	66-71 °C	70 °C	77 °C

**Tabel 2**

hurtigere igennem opløsningen. Enzymer er aktive ved alle temperaturer mellem frysepunktet for en opløsning og den temperatur, hvor enzymet denaturerer. Når temperaturintervallet for et enzym angives i bryggelitteraturen, er det det interval, der giver god ydelse i bryghuset for dette enzym. Det betyder ikke at enzymet er inaktivt udenfor det interval. Alle bryggeenzymer er aktive ved temperaturer under deres angivne interval. Men ved lavere temperaturer arbejder de langsommere. Den øvre grænse for et enzyms interval bestemmes af enzymets aktivitet og denatureringspunkt. Varmes en mæsk over et enzyms interval betyder det ikke at enzymet holder op med at virke øjeblikkeligt. Det tager tid for enzymer at denaturere. I nogle tilfælde vil enzymer faktisk denaturere indenfor deres angivne interval. F.eks. denaturerer beta-amylase ved 65° indenfor 40 – 60 minutter og alfa-amylase vil standse efter 2 timer ved 67°. Pointen er, at ved at skifte mæsktemperaturer tænder og slukker du ikke bare sådan lige for enzymerne. På grund af deres simple reaktionsmekanisme er din kontrol over dem meget mere uhåndterlig.

Alligevel er der fire faktorer, der bestemmer hastigheden på en enzymkatalyseret reaktion – enzymets koncentration, substratets koncentration, temperaturen på blandingen og dennes pH-værdi – og alle disse fire faktorer kan manipuleres i en trin-mæskning for at ændre din urts egenskaber.

### Syrepausen

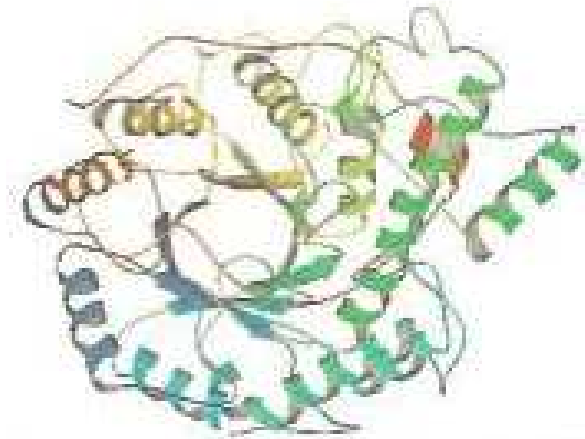
Syrepausen er den første pause, du kan foretage efter indmæskningen i enhver fuldtrinsmæskning eller dekoktionsmæskning. Syrepausen har to funktioner; at sænke mæskens pH til en passende værdi og at nedbryde de frygtede

glukosefibre, som kan lave mæsken om til en ”dej”. Det typiske interval for en syrepause er mellem 35 og 45°C. Ved denne temperatur nedbryder phytase-enzymerne et molekyle der hedder phytin og frigør phytinsyre, som sænker mæskens pH-værdi.

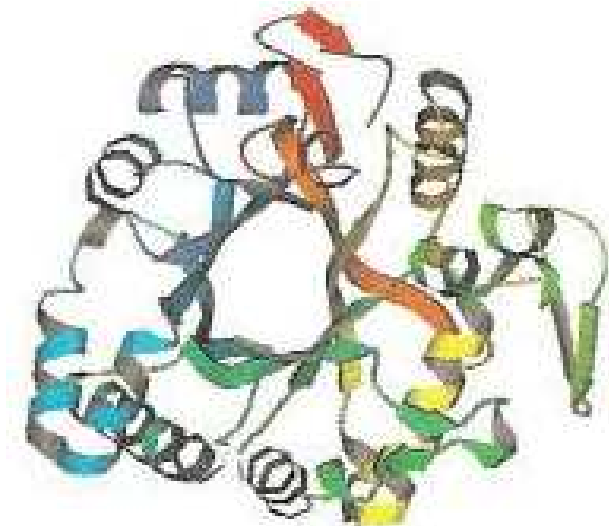
Phytase er meget følsom overfor varme og de fleste af disse enzymer vil blive ødelagt ved forlænget mæskningstid, så phytase vil kun være tilstede i ret letkøllet malt. Derfor vil det kun virkelig gøre nytte i en mæsk, der består af undermodificerede malte i blødt vand med lille bufferkapacitet. Sædvanligvis klarer man sådan en situation ved at tilsætte syre i det varme vand. En anden grund til at syrepausen som regel udelades er, at det tager mindst en time at frembringe nogen som helst ændring af betydning i mæskens pH-værdi.

Det andet og mere vigtige formål med en pause i dette temperaturinterval er at tage hånd om hovedparten af glukosefibre også kaldet byggummi. Beta-glukosefibre er en form for kulhydrater, der findes i det proteinlag, der omgiver stivelsesmolekyler i korn og beta-glucanase er et enzym, der vil nedbryde disse molekyler. Forskellige glucanaser er aktive hele vejen op til omkring 60°C, men det mest vigtige glucanaseenzym, 1,4 beta-glucanase, har en optimal temperatur lige omkring 45°C. Den højeste koncentration af beta-glukosefibre findes i rug, hvede, havre og undermodificerede malte. Beta-glukosefibre er også kendt for at føre til dis i øl, hvis de ikke nedbrydes ordentligt.

I en fuldt modificeret malt burde niveauet af beta-glukosefibre ikke være et problem, mens hvis du oplever problemer ved urtudvindingen (lauteringen) eller dis ved din favorit malt, så forsøg med en 15 minutters temperaturpause i syrepausintervallet.



En illustration af beta-amylase, der viser dens 3D-struktur.



1,4- beta-glucanase er det primære byggummi- nedbrydende enzym.

## Proteinpausen

En pause i temperaturen mellem 44 og 59°C er traditionelt blevet kaldet en proteinpause.. Nu om dage mener mange bryggere ikke, at der sker ret meget proteinnedbrydning i mæskningen og dette skyldes til dels den gode maltning. Men det er værd at gennemse de mulige enzymaktiviteter, der kan opstå i dette interval.

Der er to specifikke typer enzymer, der tænkes at være aktive i dette interval – proteinase- og peptidaseenzymer, samlet kendt som proteolytiske enzymer.

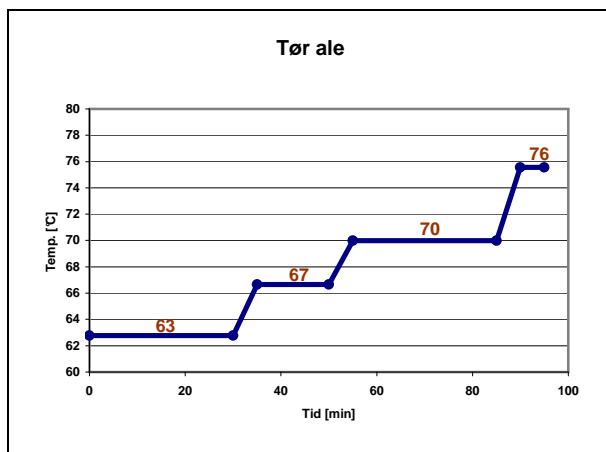
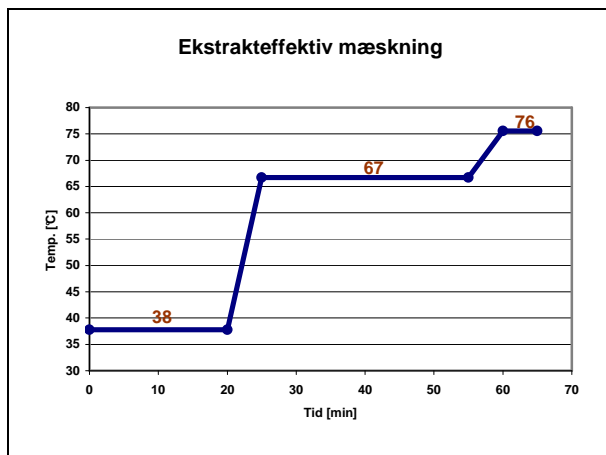
Proteinase er et enzym, der bearbejder langkædede proteiner og omdanner dem til mellemlange kæder. Peptidase- enzymer bryder de mellemlange kæder op i korte kæder og nedbryder dem til deres grundbestanddele. Belejligt har disse to enzymer lidt forskellige optimale temperaturintervaller, så du kan hypotetisk favorisere den ene, frem for den anden.

Bryggere ønsker ikke en masse langkædede proteiner i deres urt. Et højt niveau af store proteiner kan føre til tåge og ustabilitet i øllet. Men mange bryggere vil gerne have mellemlange proteinkæder, fordi de er fordelagtige for en øls krop og skumbevarelse. Det optimale interval for peptidase er mellem 45 og 53°C, mens det optimale interval for proteinase er 55 til 58°C. En pause på 15 til 30 minutter i proteinaseintervallet antages at kunne formindske dis, uden at have indflydelse på skum eller krop.

Det er vigtigt at pointere, at de lave temperaturpauser har vist sig mere effektive ved kraftige mæske. Derfor skal du måske indmæske i et vand/maltforhold på 1,7-2,1 liter vand pr. kg malt ved disse lave temperaturpauser. Du kan så tynde mæsken ud med kogende vand når du hæver temperaturen til saccharifikations-pausen/pauserne.

Der opstår også nogen beta-glucanase aktivitet i proteinpauseintervallet og nogle bryggere holder en "proteinpause" af den grund. Med mindre du har en god grund – du ved f.eks. at du har en malt med et højt proteinindhold – vil det sikkert være fornuftigt at undgå en pause i 45 – 53°C intervallet, fordi du derved potentielt vil kunne undgå problemer med skumkronens holdbarhed. Brygger du med undermodificeret malt, bør du holde en pause i 55 – 58°C intervallet, da det i det

mindste vil nedbryde noget glukosefiber i maltens cellevægge.



Uanset om der sker en protein-nedbrydning af betydning i dette interval, vil en pause her have en effekt på kvaliteten af din urt. F.eks. vil den tid og omrøring, der følger med en trin-mæskning give en bedre ekstrakteffektivitet – specielt for håndbryggere, der ikke er vant til at røre deres mæsk, eller dem der typisk har en marginal ekstrakteffektivitet.

## Stivelsesomdannelse

Den eneste nødvendige pause i enhver mæsk er i stivelsesomdannelsens eller saccharifikationsdannelsens temperaturinterval. Når der mæskes fuldt modifice-

rede malte er en enkelt pause i dette interval en meget populær løsning.

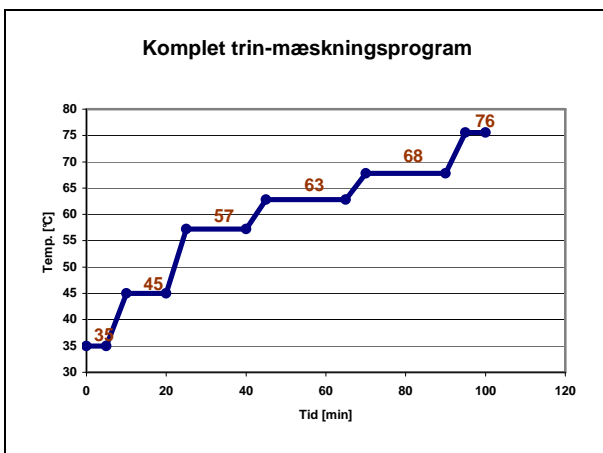
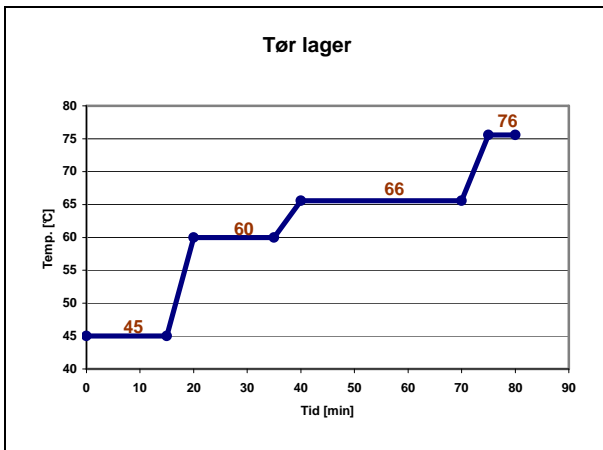
Stivelsesomdannelsen laves af to adskilte enzymer, som angriber stivelseskæder på forskellige måder. De to enzymer refereres samlet som diastatiske enzymer. Den typiske stivelsesomdannelsespause ligger mellem 61 og 71°C. (Nogle gange vil du se en mindre afvigelse i forhold til det her fremsatte interval. Det kan også være 66 – 70°C. Husk at enzymaktivitet ikke er en "alt eller intet" proces, men giver plads til nogle vilkårlige overgange mellem alle temperaturintervaller).

Beta-amylase angriber enderne af stivelsesmolekylerne og "nipper" de to sidste sukkerrester af og producerer maltose. Et bemærkelsesværdigt aspekt af dette er, at stivelsesmolekyler kan være meget lange. Hvis du ønsker beta-amylase som din primære stivelsesomdannelse, så vil du have brug for en lang pause i dennes optimale temperaturinterval. En 1 – 2 timers pause i 60 – 63°C intervallet er faktisk en måde bryggere kan opnå en stærkt forgærbar urt til tørre øltyper.

Alfa-amylase er det andet enzym der bruges ved stivelsesomdannelse. Det optimale temperaturinterval for alfa-amylase ligger omkring 68 – 72°C, selvom det også i et mindre omfang er aktivt ved lavere temperaturer. Alfa-amylase angriber stivelsesmolekyler tilfældige steder langs deres kæder. Det er så tykt at det ikke er i stand til at angribe stivelsesmolekylerne omkring deres forgreningspunkter. En pause i den højere ende af alfaintervallet vil resultere i en mindre forgærbar urt og dermed i en sødere øl med mere fyldig krop. Særdeles ved en kort (20 minutter) pause ved 70 – 72°C i en kraftig mæsk (omkring 2 liter vand pr. kg malt) vil

frembringe en meget kraftig øl med en fyldig krop

Dette er i særdeleshed tilfældet for øl brygget med malt med et lavt enzymindhold, såsom engelske pale ale malte.



Alfa-amylase anvendes sædvanligvis i sammenhæng med beta-amylase for at fremstille øl med en moderat til fyldig krop. Den grundlæggende idé er, at de tilfældige alfa-amylase angreb åbner op for nye stivelsesender, som beta-amylaserne kan arbejde på. Gennem samarbejde i 66 – 67°C intervallet danner disse enzymer en moderat forgærlig urt og dette er et populært interval ved enkel indgydning af mæsken, som er populær hos mange håndbryggere. Hæves temperaturen til 68°C vil dette resultere i mere fyldighed i øllet,

men ikke så "kraftig" eller "tyk", så den bliver for sød eller kvalmende.

Den typiske pause er på 60 minutter, men ved mange malte sker omdannelsen meget hurtigere end dette. For en moderat til fyldig øl, kan du begynde at tømme urten af så snart en jodtest viser et negativt resultat (dvs. intet farveskifte, der angiver at testen ikke viser nogen væsentlig mængde af stivelse).

Alfa-amylase er mindre aktiv og mindre stabil i urt med et lavere antal kalk-ioner. Denne ustabilitet øges i en tynd mæsk og mæske, der har en pH-værdi, der ligger over de anbefalede værdier.

For enhver øl hvor der ønskes fyldighed anbefales en 5 minutters pause ved afmæskningstemperaturen, 76 – 77°C ("mash-out"). Du bør også sikre dig, at din mæsk holder denne temperatur ved at opvarme dit eftergydningsvand (spargevand) til den rette temperatur – hvilken afhænger af det varmetab, dit system har under urtudvindingen. Dette vil sikre at amylase-enzymernes aktivitet nedsættes på grund af denatureringen af enzymerne. Som sådan vil din urts forgærlighed ikke, i kraft af fortsat enzymaktivitet, øges væsentligt under urtudvindingen.

At udføre en afmæskning øger også urtens viskositet og gør urtudvindingen lettere.

### Spring ud i det

Illustrationerne på side 6-7 viser nogle foreslåede mæskesystemer for forskellige typer øl. De fleste hjemmebrygnings-tekster oplister også forskellige kombinationer af temperaturtrin. (For at se de mest almindelige mæskesystemer: Se "Brew Your Own" december 2006.)



Når du afgør hvilket mæskningsprogram, du kan bruge, må du tage hensyn til din malttype, din øltype og dennes ønskede karakteristika og nogle gange endda sammensætningen af dit brygudstyr. Husk også, at et kompliceret mæsknings-system ikke nødvendigvis resulterer i en bedre øl. Hvis du omvendt har oplevet dårlig urtudvinding, tåge, lav effektivitet i ekstraktet eller at urten ikke er så forgærlig, som du havde håbet, vil det at

indføre den rette pause muligvis være løsningen. Når der bruges under-modificeret eller hjemmemaltet malt, vil du være nød til at lave en trin-mæskning – som et minimum bør du holde temperaturen lidt i proteinpausens interval, før du hæver den til stivelses-omdannelsesstemperaturen. Jo mindre modificeret eller anderledes maltet din malt er, jo mere vil en trin-mæskning kunne forbedre udbytte og urtens kvalitet.