

ØLBRYGNING

– avanceret bioteknologi

Foto: Colourbox

Forfatteren



Foto: Anders Bøe

Bent Lyager er civilingeniør og lektor ved Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi, Syddansk Universitet. Han har tidligere arbejdet i en årrække i fødevarerindustrien, før han i 1999 kom til det daværende Odense Teknikum. Han er desuden ølentusiast, og på SDU står han for et populært kursus i ølbrygning. bl@kbm.sdu.dk

At brygge godt øl kræver, at man har styr på en række processer i mindste detalje. I denne artikel gennemgår Bent Lyager ølbrygningens overordnede delprocesser og giver dermed et indblik i, hvorfor ølbrygning er avanceret bioteknologi.

Vi danskere kan godt lide øl. Og det er vi ikke ene om: Øl er den 3. mest populære drik i verden efter vand og te, og der konsumeres hvert år næsten 200 milliarder liter øl på verdensplan. Det svarer til, at hvert eneste menneske i verden drikker knap 27 liter øl om året.

Fremstilling af øl menes at kunne dateres mere end 10.000 år tilbage til agerbrugets oprindelse. Øl er der-

med en af de ældste tilberedte drikkevarer. Kort fortalt produceres øl ved hjælp af forsukring af stivelsen i kornprodukter med efterfølgende forgæring til alkohol. I moderne sprogbrug er ølbrygning en bioteknologisk proces, idet bioteknologiske processer er defineret som teknologiske processer, der indeholder mindst et af følgende elementer: råvarer af biologisk oprindelse, biologiske systemer (levende systemer), enzymatiske processer eller

genteknologi. Traditionel ølbrygning omfatter de 3 førstnævnte.

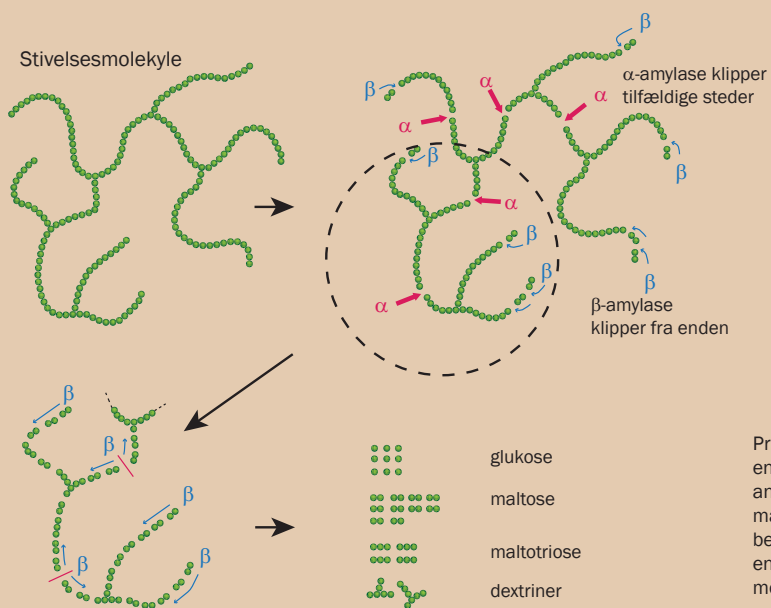
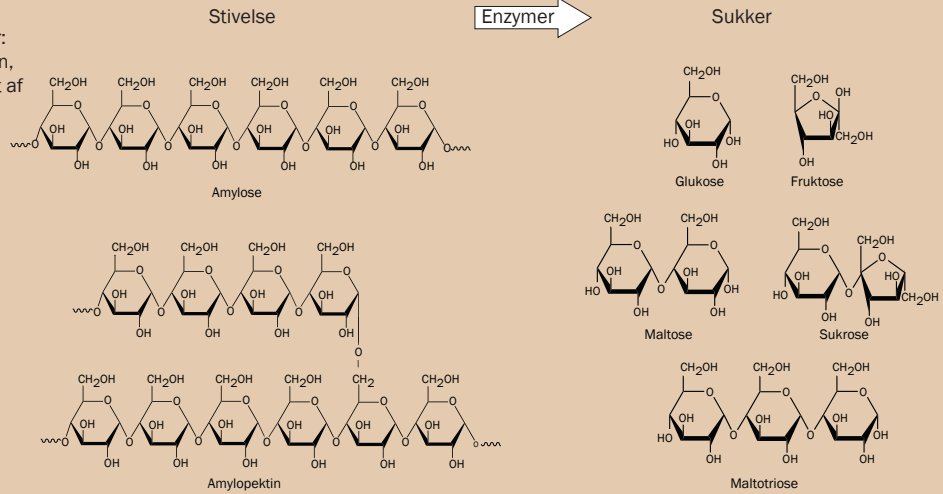
Ølbrygning kan endvidere med rette betegnes som en avanceret bioteknologisk proces, idet gentagen fremstilling af en øl af høj kvalitet kræver præcis styring af flere parametre. Derfor giver studier af ølbrygning en solid baggrund for arbejde med andre biotekniske processer.

I denne artikel vil jeg fokusere på

NB. Formlerne for Fruktose og Sukrose er rettet i forhold den trykte udgave af bladet.

Stivelse består hovedsageligt af to molekyler: amylose og amylopektin, som begge er opbygget af glukoseenheder.

Til højre ses strukturen af de forskellige sukkerarter nævnt i artiklen.



Principtegning af, hvordan enzymerne α- og β-amylase angriber et stivelsesmolekyle, så man ender med små molekyler bestående af 1, 2 eller 3 glukoseenheder samt nogle lidt større molekyler kaldet dextriner.

de fire overordnede delprocesser i traditionel ølbrygning, som er maltning, mæskning, kogning med humle og gæring.

Maltning – aktivering af enzymer

Råmateriale til øl er som nævnt forskellige kornsorter som byg, hvede, rug, havre m.fl. Når man snakker om malt, er det en betegnelse for spiret korn, som er tørret. Maltningprocessen går overordnet ud på at aktivere enzymer i kornet, som kan nedbryde stivelse og proteiner i kornet til mindre molekyler, som gæren kan omsætte. Stivelse er makromolekyler, der grundlæggende er opbygget af flere tusinde glukosemolekyler. Gær kan kun om-

sætte sukkerstoffer med 1, 2 eller 3 glukosemolekyler, som kaldes hhv. glukose og fruktose (monosaccharider), maltose og sukrose (disaccharider) og maltotriose (trisaccharider). Derfor skal stivelsen klippes i stykker til disse mindre enheder.

Ligeledes skal nogle proteiner også klippes i stykker til frie aminosyrer. For at klippe makromolekylerne i stykker er der brug for flere forskellige enzymer, hvoraf kun ganske få er aktive i det ikke-maltede korn, mens resten er til stede som forstadier til enzymer og bliver aktiveret under maltningprocessen.

Udover at aktivere enzymer til om-

benytter man også maltningprocessen til at fremstille malt med forskellige smagsprofiler. Malt inddeles groft i følgende hovedtyper: Basismalt (pilsner, pale ale, Vienna, Münchener), karamelmalt og ristet malt. Hertil kommer forskellige specialmalte fx røgmalt og surmalt. Af disse malttyper er det basismalte, som bidrager med enzymer. Derfor udgør basismalte typisk fra 100 % ned til omkring 60 % af maltmængden.

De øvrige malttyper har ingen eller kun ringe enzymatisk aktivitet og anvendes for at give smag, mundfylde og farve. De ristede malttyper giver brændte/kaffeagtige smagsnuancer, mens karamelmalte bidra-



Øllets farve kan spænde fra helt lyst til næsten sort. Forskellige typer af malt (baggrundsfoto) giver ophav til sådanne farveforskelle.

Foto: Shutterstock

Enzym	Enzymets funktion	Optimumstemperatur	Aktive i rå byg	Aktive i malt
Lipase	Nedbrydning af fedtstoffer	35-40 °C		•
Lipoxygenase	Ingen specifik betydning i forbindelse med ølbrygning, men væsentlig betydning for spiring og vækst af korn.	40 °C		•
β-glucanase	Nedbrydning af β-glucaner i cellevægge (β-Glucaner kan virke som "tapet-klister")	40-50 °C		•
β-glucan solubilase	Nedbrydning af β-glucaner i cellevægge	62 °C		•
Xylanase	Nedbrydning af cellevægge så stivelsen gøres tilgængelig	45 °C		•
Endo-proteaser	Delvis nedbrydning af proteiner for at opnå passende skumstabilitet samt næring til gær.	50-60 °C		•
Exo-proteaser	Delvis nedbrydning af proteiner for at opnå passende skumstabilitet samt næring til gær.	50-60 °C	•	•
Pullulanase	Nedbrydning af især forgrenede stivelsesmolekyler til suktermolekyler af forskellig størrelse.	55-60 °C		•
β-amylase	Nedbrydning af stivelses- og større suktermolekyler til Maltose.	60-65 °C	•	•
α-amylase	Nedbrydning af stivelsesmolekyler til suktermolekyler af forskellig størrelse.	70-75 °C		•

Tabel over enzymer, der aktiveres under maltningsprocessen og deres optimumtemperaturer (nogle af dem er allerede aktive i den rå byg).

ger med karamel- eller kiksagtige smagsnuancer. Ved den specielle proces for fremstilling karamelmalte opnår man, at en mindre del af stivelsen i malten omdannes til sukker, som så karamelliserer let ved den efterfølgende tørring/ristning. Man kan også opnå, at det dannede sukker reagerer med proteiner, hvorved der dannes såkaldte Maillard-produkter, som man kender det fra skorpen af franskbrød. Det giver en brød- eller kiksagtig smagsnuance.

Mæskning – nedbrydning af stivelse

Mæskningsprocessen indledes med en formaling af malten, hvor man knuser kernerne, mens skallen forbliver intakt. Det er vigtigt, at skallen ikke bliver pulveriseret, idet det vil gøre det vanskeligt at skille væsken fra de faste bestanddele efter mæskningen.

Ved mæskningen blandes den formalede malt med vand, og blandingen gennemløber herefter et trinvis temperaturforløb for at udnytte de forskellige enzymer

optimumtemperaturer. Normalt er maltningsprocessen så godt styret, at den ønskede effekt af flere af enzymerne allerede er udnyttet. Det gælder fx for enzymer som glucanase og xylanase, som er vigtige for at nedbryde cellevægge i kornet, så stivelsen gøres tilgængelig for de stivelsesnedbrydende enzymer. Ligeledes er effekten af de proteinnedbrydende enzymer (proteaserne) også udnyttet i det ønskede omfang, så der allerede i malten er dannet de aminosyrer, som gæren skal bruge, og proteinerne er delvist nedbrudt. Hvis proteaserne er yderligere aktive i mæskningsprocessen kan det medføre, at det færdige øl stort set ikke danner skum eller at skummet forsvinder meget hurtigt.

Derfor kan man ved mæskningen normalt koncentrere sig om aktiviteten af de enzymer, der kaldes α- og β-amylaser. α-amylase nedbryder stivelse ved at bryde bindingerne mellem glucosemolekyler på vilkårlige steder i stivelsesmolekylet. Herved dannes primært større brudstykker af stivelsesmolekylerne kaldet dextriner. β-amylasen

klipper derimod stivelsen i stykker fra den ene ende under dannelse af maltose.

Idet gær som nævnt kun kan omsætte sukkerstoffer med 1, 2 og 3 glukose-enheder og derfor ikke kan forgære dextriner, vil der ved mæskningen blive dannet en blanding af forgærbare og ikke-forgærbare sukkerstoffer. Det er vigtigt for øllets kvalitet, at der er et indhold af dextriner, idet de giver både sødme og smagsfyldte samt gør øllet lidt mere tykflydende, hvilket har stor betydning for smagsoplevelsen.

Da α-amylase og β-amylase har forskellige optimumtemperaturer, er det muligt at styre fordelingen af forgærbart og ikke-forgærbart sukker ved at variere mæskningens temperaturforløb.

Det er naturligvis vigtigt, at al stivelsen omsættes til sukker og dextriner. Det er normalt ikke noget problem, såfremt der under mæskningen er god kontakt mellem væske og malt.

Foto: Anders Boe

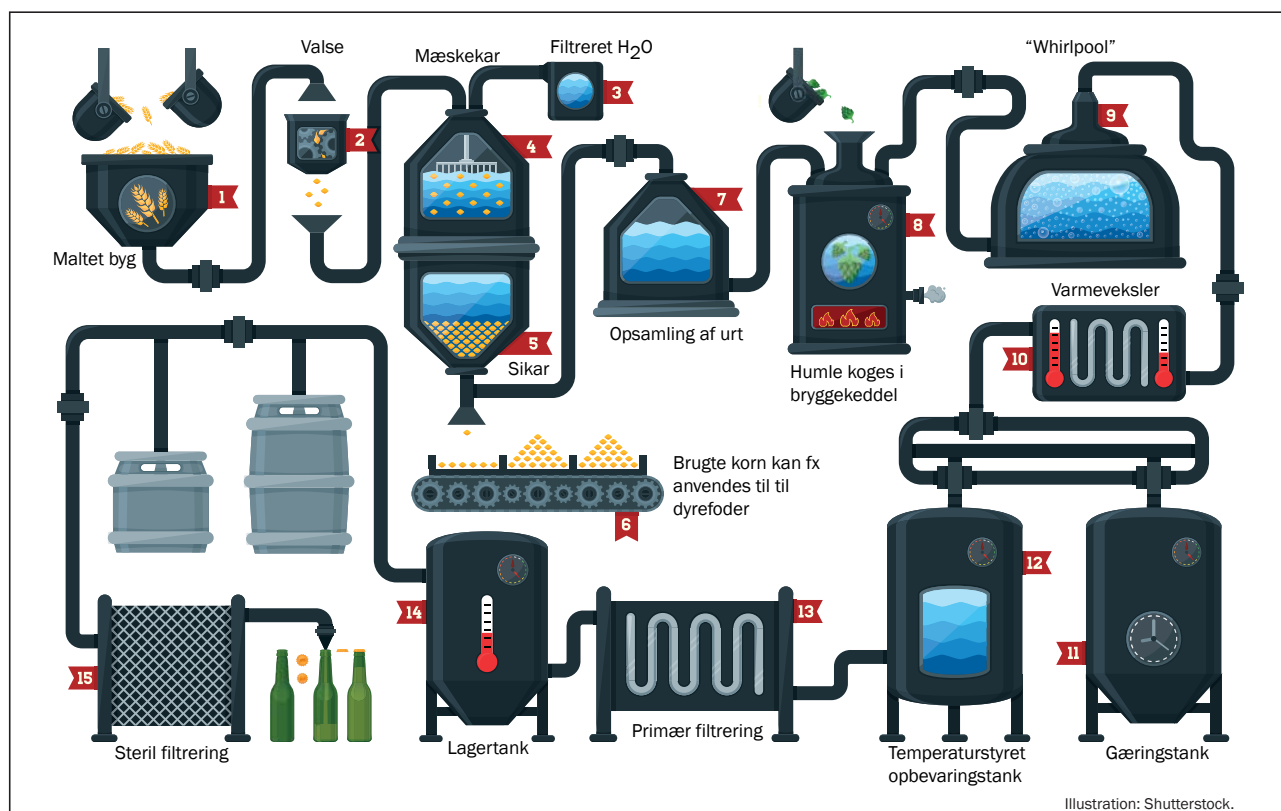


Illustration af de mange trin i bryggeprocessen på et bryggeri.

Efter mæskningen drænes væsken (urten) fra de faste bestanddele (masken), og masken skylles igen med varmt vand for at få skyllet det meste af det opløste stof ud af masken. Temperaturen må her ikke overstige 80°C, idet der ellers kan ekstraheres bittert smagende tanniner (garvesyre) fra skallerne.

Kogning med humle giver smag

Næste skridt i bryggeprocessen – kogning med humle – bidrager først og fremmest til at give bitterstoffer og aromastoffer til øllet. De primære bitterstoffer i humle er α -syerner (også kaldet humuloner). Disse stoffer er stort set uopløselige i vand, men under kogningen sker der en kemisk omdannelse, en såkaldt isomerisering, af stofferne til opløselige iso- α -syrer. Denne proces er ret langsom, idet den maksimale isomerisering først opnås efter mindst 1 times kogning. Det maksimale udbytte af iso- α -syrer er desuden afhængig af koncentrationen af urten, således at højere koncentration af urten medfører en lavere grad af isomerisering. Man kan højst forvente at opnå

en ekstraktion og isomerisering på omkring 30 % af indholdet af α -syre i humlen.

Indholdet af iso- α -syrer i urten udtrykkes i IBU (International Bitter Units), som angiver, hvor mange mg Iso- α -syrer, der er i 1 liter øl. Almindelig pilsner har typisk en IBU på 25 – 45.

De flygtige aromastoffer i humlen er primært humulen og myrcen samt oxidationsprodukter heraf. Disse aromastoffer kan give mange forskellige aromaer – fx blomster, citrus, fyrrenåle, krydderier m.v. Ved kogning i mere end en time er de forsvundet ved afdampning. Derfor tilsættes humle både ved start (bitterhumle) og ved slutning (aromahumle) af kogningen. Tilsætning ved slutning af kogning giver stort set kun aroma og ingen bitterhed.

Udover at give smag og aroma til øllet fungerer humle også som konserveringsmiddel idet iso- α -syrer modvirker vækst af bakterier, men tillader vækst af gær. Tidligere hav-

de humlens konserverende effekt stor betydning. Fx er øltypen IPA (Indian Pale Ale) fremkommet tilbage i tiden, hvor englænderne sejlede øl fra England til deres kolonier i Indien. For at kunne holde til den lange sørejse med sejlskib rundt Afrika, konserverede man øllet med store mængder humle og en højere alkoholprocent.

Gæring – fra sukker til alkohol

Gær er en encellet organisme, som kan leve både aerobt, hvor sukker nedbrydes til CO₂ og vand, og anaerobt, hvor sukker nedbrydes til CO₂ og alkohol. Ved brygning er gærens funktion naturligvis at danne alkohol. Men herudover danner gæren også en mængde aromastoffer i form af forskellige estere (frugtagtige aromaer), højere alkoholer, frie fedtsyrer m.v. ligesom gæren også danner ret store mængde syrer, således at surhedsgraden i den færdige øl ligger på omkring pH = 4. Der findes to hovedtyper af gær – overgær (*Saccharomyces cerevisiae*) og undergær (*Saccharomyces Carlsbergensis*). Overgær benyttes til bl.a. ale-typer, belgisk trappist-øl



Fermenteringsudstyr på SDU, som netop nu anvendes i et projekt, hvor studerende afprøver en gærstamme. Efter leverandørens oplysninger har gærstammen potentiale til at gære op til et alkoholindhold på 25%, og den slags udsagn er svært at lade ligge uprøvet for Bent Lyager og hans studerende. Foto: Anders Boe

Ølbrygning – nyttig viden

De processer, som indgår i ølbrygning, er analoge med, hvad der foregår i mange andre bioteknologiske processer. Derfor giver studier af ølbrygning en solid baggrund for arbejde med andre biotekniske processer. Det gælder fx:

- Fremstilling af Bioethanol. Ved anvendelse af lignocelluloseholdige råvarer (fx halm) anvendes enzymer til at nedbryde cellulosen til glukose, som herefter omdannes til alkohol ved hjælp af gær.

- Fremstilling af forskellige farmaceutiske produkter. Novo Nordisk anvender genmodificeret gær til fremstilling af insulin, og den største del af antibiotika

fremstilles ved gæring med mikroorganismer.

- Fremstilling af enzymer. Næsten alle enzymer er fremstillet ved gæring med mikroorganismer.

- Fremstilling af fodergær. Gær fra ølbrygning har gennem århundreder været anvendt til dyrefoder, men der er i dag stigende fokus på direkte produktion af protein til dyrefoder på basis af gær eller andre mikroorganismer.

Bemærk, at jeg her bevidst anvender ordet "mikroorganismen", fordi man afhængig af opgaven anvender både bakterier, gær, svampe eller alger. Men de grundlæggende principper for styring af en fermentering er fælles.

Læs videre

Iben Damager og Ivan Baumann: Sukkeranalyser smager af øl. *Aktuel Naturvidenskab* 4/2011.

Undervisningsmateriale: På *Aktuel Naturvidenskabs* hjemmeside kan du finde undervisningsmateriale udarbejdet af Jacob Højgaard Thinggaard fra Viborg Gymnasium og HF, der er relevant i forbindelse med denne artikel. Se aktuelnaturvidenskab.dk/undervisningsmateriale

og stout, og brygningen foregår typisk omkring 15 - 25°C. Undergær anvendes til pilsnerøl, og brygningen foregår normalt omkring 10 - 12°C. For begge typer af gær gælder, at de sagtens kan gære ved højere temperaturer, men gærings-temperaturen har stor indflydelse på dannelsen af aromastoffer, som stiger med stigende gærings-temperatur. Således giver gæring med undergær ved lav temperatur kun en begrænset mængde aromastoffer, mens gæring med overgær ved højere temperaturer giver mange flere aromastoffer, især frugtagtige aromaer.

Ølgær omdanner kun en del af det forgærbare sukker. Hvor stor en del gæren omdanner betegnes *attenuation* og ligger normalt på 70 - 80 %. Den aktuelle *attenuation* afhænger af gærstammen, men påvirkes også af gærings-temperaturen.

Ved start af gæringen tilsættes gæren til den afkølede urt. For at få en god start og et optimalt gæringsforløb, er der nogle krav, der skal opfyldes: pH skal være justeret til 5,2, temperaturen ved tilsætning af gær skal være ca. 25 °C, mængden af gærceller skal være 10-20 mio. gærceller pr. ml., urten skal beluftes før og/eller ved tilsætning af gær og endelig skal der være tilstrækkeligt med næringsstoffer til stede i urten – især aminosyrer og zink.

Beluftning af urten ved start af gæringsforløbet er vigtigt for at give gæren mulighed for at få gang i væksten ved aerob metabolisme. Det er især vigtigt for dannelse af forskellige lipider, som gæren skal bruge til væksten. Ved brygning udelukkende på malt kan man regne med, at de nødvendige næringsstoffer er til stede, men det kan være et problem, hvis der bruges store mængder af andre kulhydrater, fx majs.

Den primære gæring tager typisk omkring 1 uge. Herefter stilner gæringen af, og gæren synker til bunds. Det anbefales her at fjerne den bundfældede gær, da der ellers kan opstå gærsmag i det færdige øl, når de døde gærceller går i opløsning.

Ved den primære gæring danner gæren relativt store mængder af diacetyl og acetaldehyd. Disse stoffer er uønskede i den færdige øl, da de giver henholdsvis en vammel smøragtig smag og en "grøn" æblesmag.

Ved den efterfølgende lagring omsætter den resterende gær disse stoffer, og når de ikke kan erkendes længere (efter 1 - 2 uger) er øllet i princippet færdigt til tapning.

På flaske

På de store bryggerier bliver øllet filtreret inden tapning, så det er helt

krystalklart. Øllet bliver desuden pasteuriseret for at opnå sikkerhed for holdbarheden. Hvis pasteuriseringen sker før tapning, skal tapningen efterfølgende foregå i bakteriefri omgivelser og i steriliserede emballager. Ellers foregår pasteuriseringen ved, at de fyldte flasker eller dåser passerer gennem en varmetunnel. Øllet skal også indeholde den korrekte mængde kuldioxid. Det meste af kuldioxiden findes allerede i øllet, idet man lader trykket stige i gæringsstanken i den sidste del af gæringen. Den manglende kuldioxid tilsættes fra trykflasker lige før tapningen.

Ved fremstilling af specialøl og øl fra mikrobryggerier er der en stigende tendens til at undlade at filtrere øllet. Herved bliver øllet ikke helt klart, men man kan også undgå at fjerne aroma eller smagsstoffer. Mange mikrobryggerier har heller ikke udstyr til at tilsætte kuldioxid til øllet inden tapning. I stedet lader man øllet eftergære i flasken, hvilket forudsætter, at øllet ikke er pasteuriseret, så der forsat er nogle få gærceller i øllet. Umiddelbart før tapningen tilsættes en smule sukker til øllet. Herefter vil gæren omdanne det tilsatte sukker til alkohol og kuldioxid. Det medfører så, at der bliver lidt bundfald af gær i flasken, som dog ikke vil genere den tørstige kunde med smag for godt øl.