

# Ølbrygging er bioteknologi!

**D**ET ER FLERE TUSEN ÅR SIDEN mennesket begynte å lage gjærede drikker av korn. Og selv om man i dag forstår mye bedre hva som skjer når man brygger øl, er grunnprinsippene de samme nå som for tusen år siden. De handler hovedsakelig om bioteknologi!

Av **INGRID ELISABETH SKISTAD**, sivilingeniør og MSc Bryggeri og Destillering, brygger ved bryggeriet Nøgne Ø

Øl har vært en viktig del av den norske kulturen fra vikingenes store, øltunge feiringer til den moderne fredagspilsen. Og i takt med andre teknologiske framskritt, har også bryggekunsten endret seg. Bioteknologiske oppdagelser som har betydd mye for medisinen og for utviklingen av moderne sykehuslaboratorier, har også hatt mye å si for metodene som brukes i brygging – og for kvaliteten på det ferdige ølet.

I denne artikkelen ønsker jeg å sette framstillingen av øl inn i et bioteknologisk perspektiv, og jeg vil vise noen av ølbryggingens molekylære hemmeligheter.

## Renhetsloven

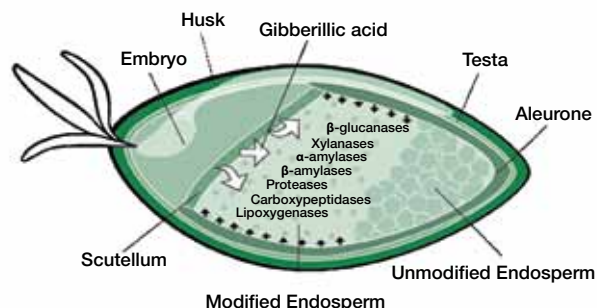
I følge den norske renhetsloven av 1857, kunne øl bare lages av byggmalt, vann, gjær og humle. Grunnen til at det bare var bygg som skulle benyttes, var at andre kornslag skulle være forbeholdt matlaging. I 1994 ble den norske renhetsloven opphevet, og mange bryggerier benytter nå andre malte og umalte kornsorter som havre, hvete, rug og durahvete, for å få fram andre spennende smaker. Til tross for dette er maltet bygg fremdeles den vanligste korntypen å benytte til ølbrygging.

Artikkelen er basert på foredraget «Ølbrygging er bioteknologi!» som ble holdt for Norsk Biokjemisk Selskap avdeling Trondheim 24. november 2011.

## Fra korn til malt

I korttekst er «malt» korn som har blitt fuktet, spiret og så tørket igjen. Malting starter ved at kornet oversvømmes med vann og får hvile i luft. Dette skjer ved 20 °C i to – tre trinn over 48 timer, og poenget er å hydrere alle delene av kornet og gelatinisere stivelsen som finnes i endospermen (frøhviten). Når dette har skjedd produserer embryoet plantehormonet gibberellinsyre. Gibberellinsyren stimulerer til produksjonen av enzymer som bryter ned stivelsen og lagringsproteinene i frøhviten. Dette blir næring til frøet. Kornet har nå dannet røtter og en liten spire under kliet, og kalles grønn malt (se figur 1).

Oppdagelsen av gibberellinsyrens viktige rolle i spiringen førte til en revolusjon i malting. Faktisk gikk det bare tre år fra Geoffrey Henry Palmer oppdaget sammenhengen i 1969, til gibberellinsyre ble produsert kunstig og brukt i industriell malting for å spire korn som hadde skadede aleuronlag. Dette gjorde at materiene fikk større utbytte av prosessene



**FIGUR 1:** Skjematisk tverrsnitt av spirende byggkorn (1). Plantehormonet gibberellinsyre stimulerer aleuronlaget til produksjon av  $\alpha$ -amylase, limit dextrinase og ulike proteaser som igjen bryter ned stivelse og lagringsproteiner i endospermen.

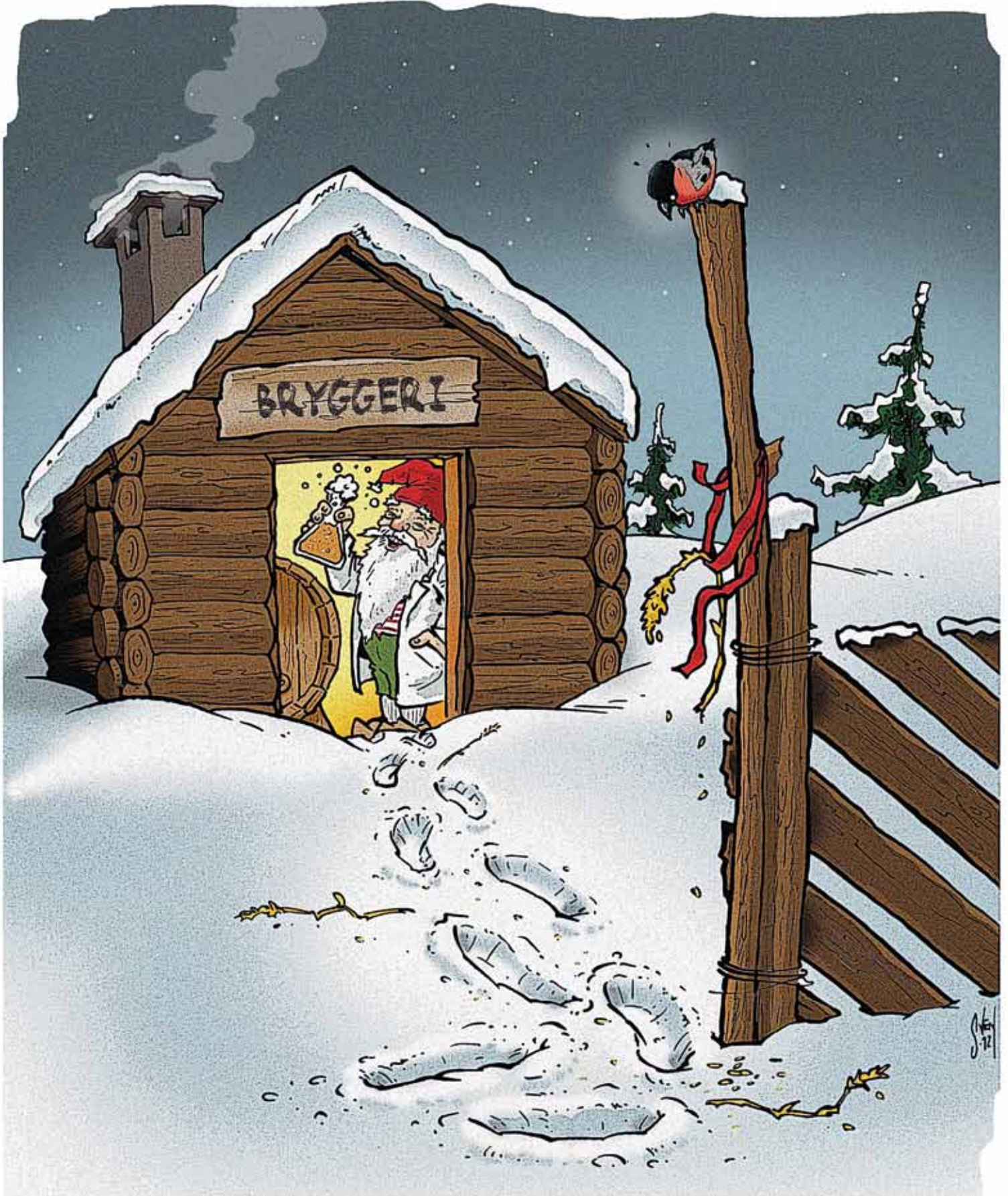
sine og at maltkvaliteten ble jevnere. I tillegg trengte man ikke lengre å dyrke bygg som hadde spesielt god evne til å spire; nå kunne man stimulere nesten alle byggtypen til å gro.

Det grønne maltet inneholder opp mot 50 prosent fuktighet og er lite egnet for lagring. Dette endres når maltet tørkes. I tillegg utvikles farge og smak under tørkingen. I tillagingen av lyst malt ønsker man å beholde så mye av enzymaktiviteten som mulig, og siden enzymer er mer stabile når det er varmt og tørt enn når det er varmt og vått, er temperaturene i begynnelsen av tørketiden lave, vanligvis 50 – 65 °C. Etter hvert som maltet tørker, økes temperaturen trinnvis opp mot 80 – 110 °C.

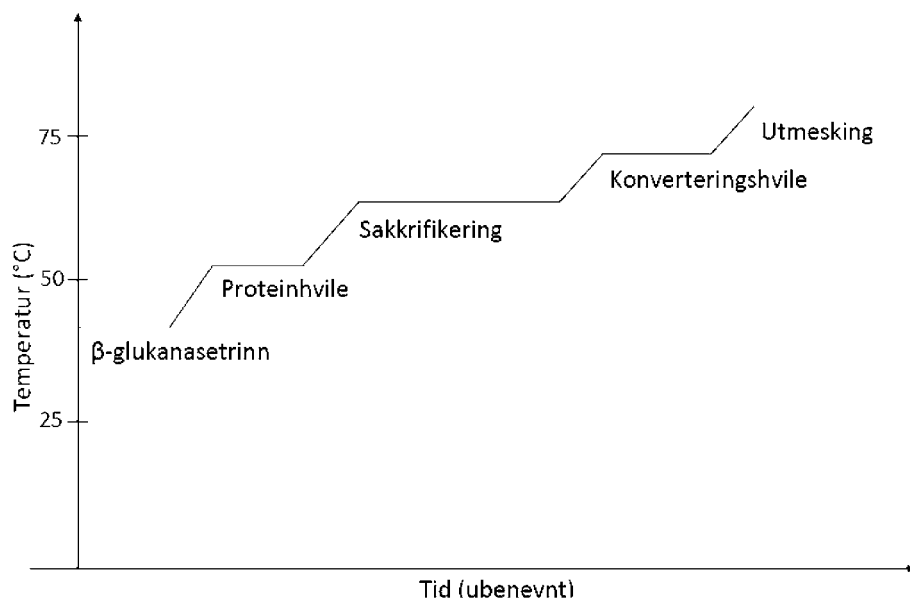
For å lage mørke malttyper tørker man det grønne maltet lengre ved lav temperatur slik at enzymene i maltet kan bryte ned restene av stivelsen. Under den påfølgende raske «brenningen» av kornet (ved temperaturer opp mot 140 °C) sørger maillardreaksjonen for at det utvikles farge- og smaksstoffer. Maillardreaksjonen, eller ikke-enzymatisk bruningsreaksjon som den også kalles, ble oppdaget av Louis-Camille Maillard, som i 1912 prøvde å finne ut av hvordan proteinsyntese foregikk. I stedet for å finne ut det, fant han ut at karbonylgruppen i sukker kan reagere med aminogruppen i aminosyrer og gi brune nitrogenholdige polymerer og melanoidiner, som altså gir smak og farge til malt (og for så vidt også til ristet brød, stekt løk og brent kaffe).

## Å meske seg – fra malt til vørter

Selve bryggeprosessen starter med å knuse maltet for at innholdet skal kunne ekstraheres. Dette gjøres forsiktig slik at kliet beholdes mest mulig helt. Under meskingen blandes maltet med vann ved en gitt temperatur



Illustrasjon: Sven Tveit



**FIGUR 2:** Grafisk fremstilling av trinnvis infusjonsmesking.  $\beta$ -glukanase er mest aktiv ved 40 – 45 °C, og dersom man benytter mye umaltet korn er dette et viktig trinn for å lette avsilingen. Proteinhvilen ved 50 – 55 °C bryter ned store proteiner som kan gjøre ølet uklart. 65 – 68 °C er den optimale temperaturen for  $\beta$ -amylase, og det er i dette temperaturområdet størsteparten av nedbrytingen av stivelse foregår. Under konverteringshvilen ved 71 – 72 °C, som er nær  $\alpha$ -amylase sin optimale temperatur, brytes de resterende stivelsesmolekylene ned. Mesken varmes så til 75 – 78 °C for å denaturere enzymene og dermed fiksere den molekylære profilen.

slik at stivelse og proteiner som er igjen etter maltingen, løses opp og spaltes av enzymene i maltet. I tillegg ekstraheres smaks- og fargestoffer. Blandingen av malt og vann kalles mesk.

Det finnes flere forskjellige typer mesking. Kokmesking innebærer å ta ut en del av mesken, koke den og så tilbakeføre den til den opprinnelige mesken. Dersom man benytter rå mais eller ris i ølet, må

disse råvarene kokes på forhånd for å gelatinisere stivelsen slik at amylasene fra maltet kan bryte den ned. Den vanligste metoden for hjemmebryggere er infusjonsmesking hvor mesken varmes til en gitt temperatur, vanligvis 65 °C, og holdes der under hele mesketiden. Ved mange mikrobryggerier benytter man trinnvis infusjonsmesking, hvor temperaturen økes trinnvis utover i mesketiden. En grafisk fremstilling av trinnvis infusjonsmesking er vist i figur 2.

Etter utmeskingen skilles væsken fra restene av kornet ved å la klirestene hvile på en bunn med små hull i og fungere som filter. Kornrestene kalles mask og brukes til dyrefôr, mens den søtlige væsken kalles vørter og skal bli til øl.

### La humla suse – koking og humling

Etter avsilingen kokes vørteren i 60 til 90 minutter. Under kokingen steriliseres og konsentreres vørteren, farge og smak utvikles, og protein-karbohydrat-tannin-komplekser utfnokkes. Det kommende ølet får dessuten sin bitterhet fordi humle blir tilsatt.

Øl hadde nemlig ikke vært øl uten humle. Blomstene fra hunnplantene til slyngplanten humle (*Humulus lupulus*, se figur 3) inneholder ulike  $\alpha$ - og  $\beta$ -syrer som gir ølet sin bitterhet.  $\alpha$ - og  $\beta$ -syrer er i seg selv ikke bitre på smak, men under kokingen isomeriseres de til bitre iso- $\alpha$ - og iso- $\beta$ -syrer. Det er iso- $\alpha$ -syrene som bidrar med mest bitterhet, og derfor er den internasjonale måleenheten for bitterhet i øl gitt ved mengden iso- $\alpha$ -syrer per milliliter (IBU = International Bitterness Units). Tidlig i ølets historie ble det eksperimentert med mange ulike typer urter i brygging, blant annet malurt, einner, pors og ryllik, men humla utkonkurrerte etter hvert de andre urtene. Mye av grunnen til det var at de gamle bryggerne oppdaget at øl som var laget med humle holdt seg bedre enn annet øl. Vitenskapen har senere oppdaget at isomeriserte  $\alpha$ -syrer virker bakteriestatisk på Gram-positive bakterier.

Humleblomstene inneholder også aromatiske oljer som i øl gir smak og aroma, men disse er svært flyktige. Derfor tilsettes det også humle like før kokingen er ferdig. Tilsetning av humle sent i bryggeprosessen, bidrar kun i liten grad med bitterhet. Derfor kan man lage øl med

#### FAKTA

### Bryggerens ordliste:

**Fermentering:** Også kalt gjæring. Anaerob metabolisering av ulike sukkerarter til etanol og karbondioksid.

**Gelatinisering:** Kalles også forklistring. Oppsvulming av stivelseskorn som varmes eller hydreres.

**Humle:** *Humulus lupulus*. Slyngplante i hampfamilien. Hunnblomster benyttes i brygging for å gi bitterhet, smak og aroma.

**Malt:** Korn som har blitt fuktet, spiret og så tørket igjen.

**Mask:** Rester av malt etter at vørteren er trukket av mesken.

**Mesk:** Blanding av vann og malt.

**Maillardreaksjon:** Ikke-enzymatisk bruning. En reaksjon mellom en aminosyre og et reduserende sukker som gir brune nitrogenholdige polymerer og melanoidiner

**Melibiose:** Reduserende disakkarid bestående av en  $\alpha$ -1,6-binding mellom galaktose og glukose.

**Vørter:** Vanddig ekstrakt av malt.

store mengder humle, som likevel ikke er veldig bittert på smak.

Når kokingen er ferdig pumpes den humlede vørteren rundt i et kar hvor sentripetalkraften samler utfelte fnokker og humlerester i senter av tanken slik at de kan fjernes. Deretter kjøles vørteren ned til passe temperatur for gjæren; mellom 15 og 28 °C, avhengig av gjærtype.

### Det er noe i gjære(n)

Uten gjær ville vørteren forblitt en kjedelig, bittersøt, klissete væske. For selv om både mengden og sammensetningen av malt- og humletypene som benyttes har stor innflytelse på total karakteren til et øl, er det gjæren som bidrar med hovedkomponentene etanol og karbondioksid. Når vørter overføres til gjæringstanker er det vanlig å tilsette vørteren 15 – 20 millioner gjærceller pr mL. Mange ulike typer tanker blir benyttet; både åpne og lukkede, firkantede og sylindriske. Den vanligste typen er sylindrokonske tanker, slik som vist i figur 4.

Figur 5 viser en forenklet reaksjonslikning for fermentering av vørter hvor hovedreaksjonsproduktene er etanol og karbondioksid, foruten glyserol og flere gjærceller. Det siste er svært nyttig i brygging siden gjær fra én batch kan høstes og inokuleres i neste batch. Ølgjær er en fakultativ anaerob organisme, og benytter oksygen til å syntetisere steroler og umettede fettsyrer som er essensielle komponenter i cellemembranen. Dersom det tilsettes for lite oksygen vil gjæringen komme sakte i gang og muligens ikke fermentere alt tilgjengelig sukker, noe som øker risikoen for infeksjoner i ølet. I tillegg vil utbyttet av gjær til høsting vil være mindre. På den annen side vil man få tap av utbytte (i form av etanol og karbondioksid) dersom for mye oksygen tilsettes under avkjølingen av vørteren. Bryggeren må her gå en fin balansegang for å sikre seg nok gjær til neste brygg, men også nok av de ønskede produktene.

Det er blitt identifisert 800 – 1000 smaks- og aromastoffer i øl, og de fleste er avfallsstoffer fra metabolismen til gjæren. Noen eksempler på de vanligste forbindelsene er vist i tabell 1. Med dette i bakhodet er det ikke vanskelig å forestille seg hvorfor små variasjoner i genotype og fenotype gir ulike typer ølgjær som igjen gir svært ulikt øl.



FIGUR 3: Hunnblomstene til humle (*Humulus lupulus*) gir bitterhet, smak og aroma til øl (3).

### To hovedtyper gjær

Taksonomien som benyttes om gjær som brukes til ølbrygging er et ormebol av ulike meninger og skoler (4). I denne artikkelen presenteres den mest populære (eller minst kontroversielle) versjonen.

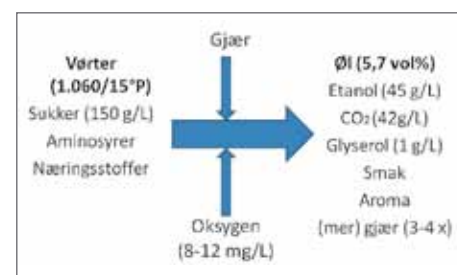
De to hovedtypene gjær som brukes i ølbrygging er alegjær (*Saccharomyces cerevisiae*) og lagergjær (*Saccharomyces pastorianus*, som før 1970 ble kalt *S. carlsbergensis*). En oversikt over de viktigste forskjellene mellom disse to gjærtypene er vist i tabell 2.

De mange ulike variantene av *S. cerevisiae* har ulikt opphav, og via seleksjon gjennom flere årtusener har de ulike variantene av denne gjæren fått sine ulike bruksområder og smaksprofiler. Én type er bakergjær, andre er i bruk i produksjon av biomasse, mens andre igjen brukes i vin- og ølproduksjon. Disse gjærtypene gjærer øverst i den fermenterende vørteren og blir derfor kalt overgjærende. Belgisk alegjær (kalles av og til trappistgjær) er kjent for å gi fruktig



FIGUR 4: Sylindrokonske gjæringstanker.

Foto: Nøgne Ø



FIGUR 5: Forenklet reaksjonslikning for fermentering av vørter.

Forbindelse	Hvor i cellen kommer den fra?	Smak/aroma
Høyere alkoholer	Syntese eller nedbrytning av aminosyrer	Alkoholisk, banan, søtt, roser, parfyme
Organiske syrer (pyruvat, acetat, laktat, smørsyre)	Intermediater i metabolismen	Surt, syrlig, salt, svette sokker
Fettsyrer (hexansyre, oktansyre, dekansyre)	Biprodukter i fettsyresyntesen	Hhv. såpe, fett, geit
Acetaldehyd	Rett før etanol i glykolysen	Forslåtte epler, gress
Diacetyl	Fra derivater i syntesen av valin og isoleucin	Karamell, fløtekaramell
Estere	Fettsyre- og energimetabolismen samt estri-fisering av middels lange fettsyrer for å fasilitere diffusjon ut av cellen	Løsemiddelaktig, fruktig, banan, eple, anis, søtt, honning
H <sub>2</sub> S og SO <sub>2</sub>	Biprodukt i biosyntese og nedbrytning av svovelholdige aminosyrer	Fyrstikk som tennes, svovel, kokt/råttent egg

**TABELL 1:** Noen eksempler på ønskede og uønskede forbindelser med opprinnelse i gjærcellenes metabolisme, deres opprinnelsessted og hvilken smak og/eller aroma de bidrar med i øl.

	Ale	Lager
Navn	<i>S. cerevisiae</i>	<i>S. pastorianus</i> ( <i>S. Carlsbergensis</i> før 1970)
Alder	Eldgammel	Ung
Fermenteringstype	Overgjærende	Undergjærende
Max temperatur	37 °C	34 °C
Fermenterer ved	15 – 25 °C	8 – 15 °C

**TABELL 2:** Hovedforskjellene mellom ølgjær av typen ale og lager (4)

karakter, mens amerikansk alegjær gir rent og nøytralt øl. Det finnes også en rekke ulike britiske varianter av *S. cerevisiae*, og disse gjærer det tilgjengelige sukkeret på temperaturer fra 13 til 21 °C, og gir alt fra tre- og maltaktige til klare og skarpe smaksbilder.

*S. pastorianus* benyttes kun i lagerbrygging. Den er kuldetolerant og ble derfor attraktiv blant bayerske bryggere på 1840-tallet. Her finnes det også flere ulike typer som gir ulik karakter, men ikke i samme grad som for alegjær. Hovedegenskapen som skiller *S. pastorianus* fra *S. cerevisiae*, er at førstnevnte er bunn-gjærende, men det er også andre egenskaper som skiller dem. I motsetning til *S. cerevisiae*, kan *S. pastorianus* benytte seg av melibiose og har en høyere affinitet for galaktose. Lagergjær er også kjent for å danne mer sulfitt enn alegjær, og dette er ofte en av de karakteristiske smakene i denne typen øl.

I noen typer øl brukes villgjær som ikke er *Saccharomyces*-gjær. De mest

brukte er *Brettanomyces bruxellus* og *Brettanomyces lambicus*, som begge benyttes i brygging av den belgiske øltypen lambic. Denne øltypen lagres ofte på eikefat i et år eller mer for å oppnå sin karakteristiske syrlige smak, og finnes ofte i kombinasjon med bær som bringebær (framboise) eller kirsebær (kriek). Ølbryggere styrer vanligvis unna melkesyrebakterien *Pediococcus damnosus*, men den blir av og til benyttet for å bidra med syrlighet under langtidslagring av lambicøl.

### Hygiene

I sitt nybrottsarbeid innen mikrobiologi i 1860-årene mikroskoperte Louis Pasteur øl som var blitt ødelagt. Han oppdaget at ølet ikke bare inneholdt de vanlige runde gjærcellene, men også noen stavformede organismer (trolig eddiksyrebakterier). Han lærte bryggerne at selv om mikroorganismer var viktige for å gjære ølet, så var det essensielt at det var de rette organismene. Med dette kom hygiene som

konsept inn i bryggingen, og stadig flere bryggerier skaffet seg laboratoriefasiliteter slik at de kunne kontrollere produktene sine.

### Håndverksbioteknologi

Med tanke på de mange ulike typene malt, humle og gjær en brygger har til rådighet, kan han eller hun lage en tilnærmet uendelig mengde ulike ølsorter. I dag har hjemmebryggere så vel som industrielle aktører tilgang på kunnskap om de bioteknologiske prosessene som ligger bak det som skjer i bryggeprosessen. Dette har gjort det lettere å lage øl av høy kvalitet samtidig som det gamle håndverket lever videre. Så send gjerne en vennlig tanke til bryggeren neste gang du nyter et glass lett hveteøl, fyldig stout, syrlig kriek eller smaksrik india pale ale; han eller hun bedriver faktisk håndverksbioteknologi! ■

### Kilder

1. Aastrup S, Bautista N, Janser E, Dörreich K: «Choice of enzyme solution should determine choice of raw materials and process». Presentation given at World Brewing Conference, San Diego, USA, 2004.
2. Briggs DE: Malts and Malting, pages 35-228. Blackie Academic&Professional, 1st edition, 1998.
3. Beer wiki, <http://beer.wikia.com/wiki/Hops> (31.05.12).
4. Boulton C, Quain D: Brewing Yeast and Fermentation. Blackwell Publishing, 1st edition. 2006.
5. Lewis MJ, Young TW: Brewing. KluwerAcademic/Plenum Publishers, 2nd edition, 2002.