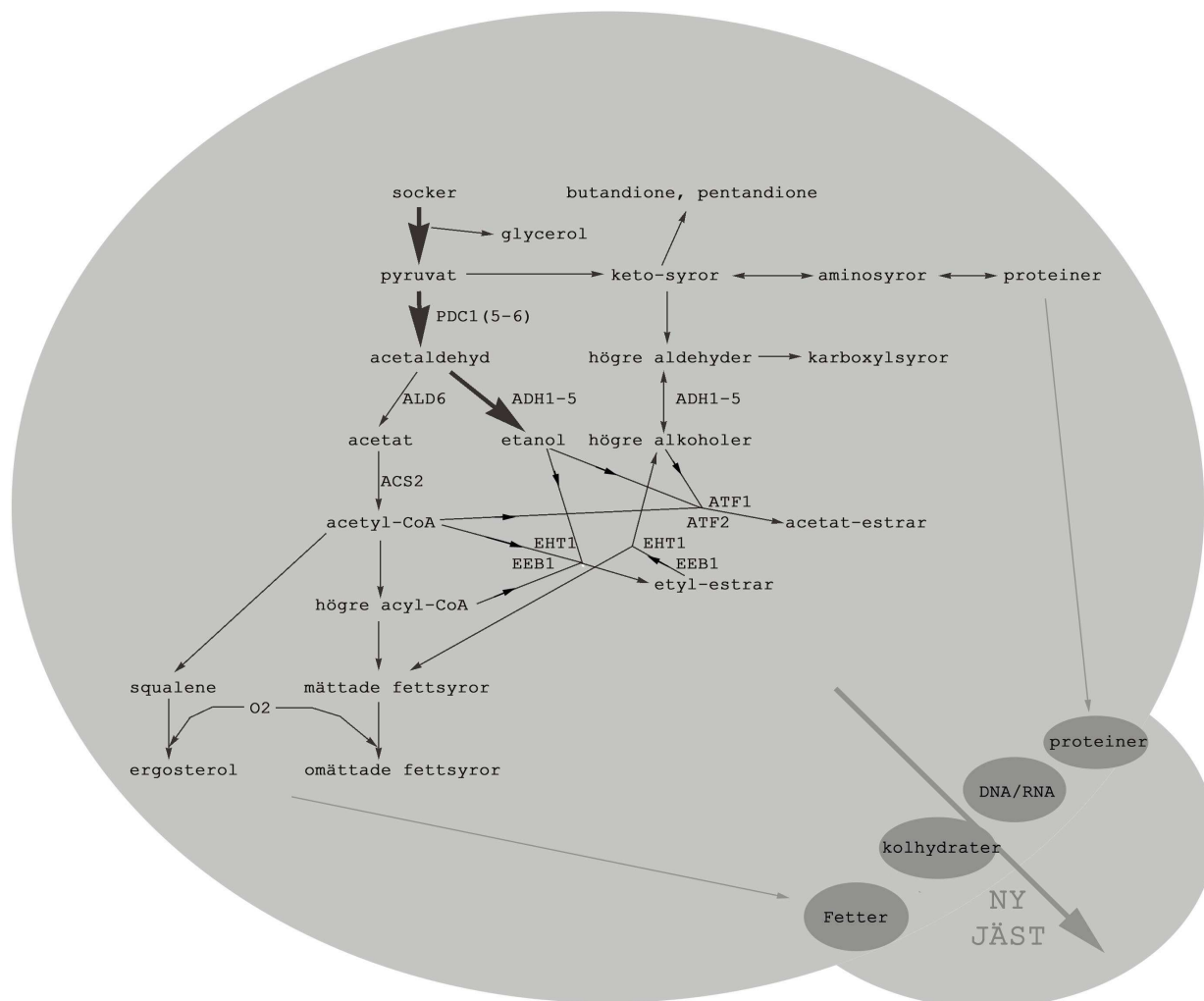


# Sma(s)kens kemi

av Fredrik Rådesand, [carlsbergerensis@hotmail.com](mailto:carlsbergerensis@hotmail.com)

- 1) [Socker](#)
- 2) [Aldehyder](#)
- 3) [Alkoholer](#)
- 4) [Syror](#)
- 5) [Estrar](#)
- 6) [Ketoner](#)
- 7) [Svavelföreningar](#)
- 8) [Referenser](#)



Som vi alla känner till så kommer smakerna och aromerna i öl från malt, humle, jäst och vatten, och kanske framförallt från en komplex samverkan mellan dessa faktorer – vad blev det av jätten utan vört, och vice versa? Det verkar vara just denna komplexa process som skiljer ölens smakmatematik från vissa köksprocesser. Tar man t.ex banan, nötter och vaniljglass och kör i en mixer, får man antagligen någon slags puré som smakar krämigt ”banan-nöt-vanilj”. Dvs en ganska ”rak” smakmatematik, som normalt inte kräver någon vidare förklaring. Men när man gör öl, kan man blanda en söt maltig besk vört, med en jästig massa och till slut få en dryck som inte är i närheten så söt som vad man utgick från. Dessutom kanske den doftar både ananas, lite nagellack och banan med en bakgrund av smöriga popcorn. Hur förklarar man en sådan smakmatematik?

Denna artikel är ett försök att ge en kort översikt över en bråkdel av de smakämnen som främst hör jäsnigen till. Vilka olika sätt finns det för dessa smaker att bildas under jäsnigen? Vilka kemiska klassificeringar kan man göra? Komplicerat som det är, går det överhuvudtaget att begripa sig på mysteriet som utspelar sig i den mörka vörten, inuti våra små vänners själar? Kanske inte, men ett försök skadar inte.

Vad gäller antalet smakaktiva ämnen har jag valt att nämna några ämnen ur de viktigaste klasserna som exempel, och kommenterat dem kort, men självfallet finns många många fler. Varje enskilt ämne skulle också egentligen förtjäna mer detaljerade diskussioner än vad som är möjligt i en översikt.

## SOCKERARTER

### Smakbeskrivningar

- Restsocker ger sötma, fyllighet, konsistens.

### Bildning

- Ej förjäsbar socker och en liten del av det i princip förjäsbara sockret som finns i vörten blir kvar efter avslutad jäsnings. Högre utjäsningsgrad ger en torrare och mindre söt öl. Huruvida man önskar en torr eller söt öl eller inte beror såklart på såväl personligt smak som öltyp. Högre utjäsningsgrad får man genom val av jäststam med hög specifik utjäsningsförmåga, större och bättre preparerad jästgiva, kraftigare eller till och med upprepad syresättning, och i vissa fall ökad FAN-nivå, eller omrörning av vörten under jäsnings.

- Restextraktet bidrar alltså till en del av ölens sötma, men förutom själva plato värdet hos restextraktet, har det väldigt stor betydelse hur den kemiska sammansättningen av restextraktet ser ut. Det är bland annat här den relativa utjäsningsgraden kommer in. På just denna punkt finns två parametrar att leka med:

a) Vörtens maximala förjäsbarhet

b) samt jästens faktiska relativa utjäsningsgrad.

En öl kan alltså vara torr och ändå ha mycket restextrakt och kraftig konsistens. Men också motsatsen är möjlig, dvs en öl kan vara söt, och ändå vara tunn med lågt restextraktvärde. Detta eftersom dextriner har låg sötma, relativt t.ex. maltotrios. En torr utjäsningsgrad betyder att i princip 100% av det förjäsbara sockret omsätts, och därmed blir restsötman minimal.

### Några Exempel

Ämne	Notering	Mekanismer	Sötma relativt sackaros	Förjäsningsgrad
maltotrios	Restsötma	Den av jästen minst föredragna förjäsbara sockerarten som kan finnas i restnivåer på upp till 2 Plato i färdig öl. Beror på jäststam, samt jäsbetingelser såsom syresättning, jästgiva och även kvävehalt och alkoholhalt. Detta är den näst mest förekommande sockerarten i vört näst efter maltos. Maltotriosnivån i vört varierar men är på storleksordningen 15% av extraktet.	30%	0-100%, helt beroende på jäststam och betingelser
glukos, fruktos, sackaros, maltos	Restsötma	I normalfallet finns inga större rester av dessa sockerarter kvar i vörten i normalstarka öl. I vin är dock restsockret ofta främst fruktos, men även glukos. Rester beror på ofullständig utjäsningsgrad, men såvida man inte önskar en kruttorr dryck så är det ju en medvetet ofullständig utjäsningsgrad.	glukos(75%), fruktos(170%), sackaros(100%), maltos(45%)	ca 100%
dextriner och andra ej förjäsbara kolhydrater	Ger främst fyllig konsistens	Ej förjäsbar, beror på maltsorter och mäskschema. Dextrinprofilen och profilen av högre sockerarter beror också på maltsorter och mäskschema	uppskattningsvis ca 5%	0%

## ALDEHYDER

### Smakbeskrivningar

- Gröna äpplen, bakfylla, sherry, gräsighet, härsken, ostig, unken pappkartong, maltighet, nötighet

### Bildning

- Oxidation av såväl etanol som högre alkoholer, samt störningar i jästens normala arbete med att reducera aldehyder till alkoholer. Resultatet kan bli att restaldehyder, och även motsvarande syror ökar. Överdriven syresättning av jäsningsvört eller färdig öl kan vara en bidragande orsak till sherry och gröna äpplen.

- I en del sherrysorter används en sorts aerob(i närvaro av syre) sekundärjäsningsgrad, där det bildas en del aldehyder och acetalter – typiska för sherry – via aeroba processer där speciell jäst oxiderar alkohol med hjälp av syre. Genom att syresätta den färdiga ölen, eller lagra ölen med mycket syre i kärlet, kan man rent teoretiskt ge upphov till en sherry liknande touch på ölen. Detta fenomen är ej en ren direkt spontan oxidation, istället är enzymatiska processer inblandade. När jästen konsumerar socker aerobt, så återställs redox balansen från oxidationen av socker, i mitokondrierna m.h.a syre. Vid en anaerob(syrefri) process, som öljäsningsgrad, finns inte den möjligheten. Det är därför jästen producerar alkohol, det är en liten manöver som gör att jästen löser sin redoxbalans, utan syre. Steget reduktion av aldehyd till alkohol är ett mycket viktigt steg. Men om denna process störs och syre introduceras, kan andra alternativa sätt att återställa redoxbalansen aktiveras. Saker och ting blir förvirrade och resultatet kan bli mer aldehyder i ölen. I början av jäsningsgraden är det inte lika känsligt och det beror på några saker: Dels så är glukoshalten så hög att de oxidativa reaktionsvägar är hämmade(jästen kommer aldrig att oxidera etanol så länge det finns gott om glukos att oxidera!), jästen har vid start normalt ett visst behov av syre till andra saker, samt att etanolhalten är minimal.

- Såväl enzymatisk, som icke-enzymatisk oxidation av fettsyror i malten under lagring av malten, mäsning och vörtkokning. Motmedel är minimering av syreexponering under bryggprocessen. Anti-oxidanter som sulfiter kan också hjälpa. Den enzymatiska oxidationen kan även bero på maltsorter och mäskschema.
- Oxidation av alfa-syror i humlen, via aldehyder. Humluone kan vid oxidation ge isovaleraldehyd(som vidare kan oxideras till isovaleriansyra – ”härsken ost”). Cohumulone kan ge isobutaldehyd (som vidare kan ge smörtsyra – ”spya, härsket smör”). På liknande sätt kan andra alfasyror oxideras och ge aldehyder och syror, som oftast ger fulsmaker. Man känner ibland just dessa dofter i gammal eller oxiderad humle, speciellt om man värmer den i vatten.
- Vissa aromrika aldehyder bildas under karamellisierungs- och maillardreaktionerna. Här kan dock vissa ha positiva dofter.

- Oxidation och åldrande hos öl är komplicerade reaktioner på så sätt att flera olika typer av ämnen deltar i oxidations- och reduktionsreaktioner som samverkar med varandra ibland i kedjor. T.ex. så anses melaniodiner i mörk malt, vara en antioxidant, och därför så skyddar den ölen och vörten mot oxidation. Men givet tillräckligt med tid, eller oxidation så har till slut alla antioxidanter förbrukats, och dessa då oxiderade melanoidiner kan sedan i ett sekundärt skede agera oxiderande på andra ämnen, t.ex. högre alkoholer. Detsamma brukar anses gälla t.ex. c-vitamin i närvaro av vissa metaller. Så många av dessa antioxidanter brukar ibland fördröja oxidation, men när väl antioxidanterna är förbrukade så kan i vissa åldrandet rent av accelereras eftersom den den oxiderade antioxidanterna ibland kan verka katalyserande i andra oxidationsreaktioner. Därför tillsätts ibland antioxidanter tillsammans med andra antioxidanter för att minimera eller maskera sekundära effekter. Förekommande antioxidanter är c-vitamin samt olika sulfiter. Sulfiter kan – förutom att agera antioxidant – också bildas komplex med viss aldehyder och dämpa smakfel. Sulfiter har bevisad effekt i samband med pappkartong smaker.

#### Några Exempel

Ämne	Smak	Mekanismer
acetaldehyd	Grönt äpple, bakfylla(doft av oxiderad etanol), sherry	Normal mellanprodukt i jästens bildning av etanol. Förhöjda nivåer kan beror på störd jäsningsprocess. Textsyresättning. Det finns även bakterier som kan ge acetaldehyd.
propanal, butanal	Liknande acetaldelhyd, sherry, grönt äpple, stickande i hög konc.	Från aminosyrametabolismen, oxidation av högre alkoholer. Alternativt från fettsyra syntesen.
pentanal, heptanal, octanal, nonanal	Gräsig, fettsyraliknande, ros, syrlig och stickande i hög konc	Oxidation av högre alkoholer, alt. från fettsyrasyntesen.
Hexenal, hexanal	Nyslagent gräs, gröna löv	Finns i ljus malt, minskar med ökad färg. Kan också skapas via icke-enzymatisk oxidation av fettsyror(linoleinsyra) från malten under vörtproduktionen.
trans-2-nonenal	Blöt unken pappkartong i eftersmaken.	Uppkommer främst under vörtproduktionen genom enzymatisk oxidation av fettsyror(linolensyra) från maltfetter.  Fetterna hydrolyseras via lipaszymer (även aktiva under mäsningen) till fria fettsyror. Dessa fettsyror kan sedan vidare oxideras vid bland annat lipoxygenaszymer(finns i malten). Trans-2-nonenal bildar sedan komplex med proteiner och aminosyror som gör att komplexet "överlever" jäsningsen. Annars skulle jästen delvis reducera pappkartongen under jäsningsen som den gör med många aldehyder i allmänhet. Det slutliga frisläppandet av trans-2-nonenal tros hända under lagring. Man tror alltså att pappkartongen inte kommer sig av oxidation av ölen, utan oxidation av vörten utan mäsning och vörtkokning. Diverse faktorer som bland annat lagringstemperatur tros accelerera uppkomsten av pappkartong. Men "potentialen", dvs. maximala mängden pappkartong, bestäms sannolikt under vörtproduktionen. Sulfiter som antioxidant i vörten under mäsning och kokning kan minska pappkartong-potentialen via flera mekanismer. Ordentlig avskiljning av varmdruvet minskar också potentialen av pappkartong. Pga. att en del av pappkartong-potentialen, delvis är bundet i proteiner i varmdruvet. Minskat syreupptag under framförallt vörtproduktionen bör minska också problemet. Lipoxygenase enzymerna uppges vara pH-känsliga. Ett lägre pH i mäskan tros kunna minska pappkartongen. Dessa enzymer överlever delvis mäsktemperaturerna, men förstörs snabbt under koket. Olika maltsorter kan också ha olika nivåer av dessa enzymer.
3-methyl-butanal, furfural	Maltig, nötig	Maillardaldehyd från malten, främst karamellmalter. Dessa aldehyder reduceras delvis av jästen under jäsningsen, till motsvarande högre alkohol.
Isovaleraldehyd, isobutaldehyd, 2-methyl-butanal	Nötig, kakao lik	Ofta gammal oxiderad humle. Det som oxideras är alfasyrorna, humulone mm. Det är en sidokedja som lossar och ger upphov till dessa ämnen.

## ALKOHOLER

### Smakbeskrivningar

- Eldiga och spritiga aromer och smaker. Högre alkoholer kan ge aromer som påminner om lösningsmedel, lack, whiskey eller kontaktlim. Vissa alkoholer kan också ge friska eteriska och "hörfrekventa smaker". En del fenoler kan

man också lägga in i denna grupp om man vill, de har smaker som vanilj, fenol, nejlika.

#### Bildning

- Etanol är jäsningsens huvudprodukt. Ca 95% av allt socker som jästen förjäser, omvandlas till etanol och koldioxid.
- Många högre alkoholer bildas i huvudsak i samband med jäsens aminosyrametabolism. Högre alkoholer bildas i huvudsak på två sätt
  - **Kataboliska vägen.** Poängen med att jästen bryter ned aminosyror är att den behöver aminogruppen till andra saker, t.ex. andra aminosyror. Proteiner byggs upp av 21 olika aminosyror, men såvida inte jästen har ett inflöde av exakt rätt fördelning (vilket den inte har), så måste den bryta ned överflödiga aminosyror för att använda kvävet till att tillverka alla andra aminosyror. Jäster överför då aminogruppen till glutamat genom speciella trans-aminase-enzym. Kvar av aminosyran som bryts ned blir då ett kolskelett som måste "tas om hand". I människan är det ofta så att dessa kolskelett omvandlas till intermediet som förbränns i citronsyracykeln, och som kroppen därmed utvinner energi ur. Men jästen kan inte det under de omständigheter som råder under en öljäsning. Så när vissa aminosyror bryts ned, blir en av slutprodukterna ofta först en högre aldehyd, som sedan konverteras till just en högre alkohol. Det sista steget, konvertering av aldehyd till alkohol sker ofta med samma enzym som jästen använder för att konvertera acetaldehyd till etanol. (Alkohol dehydrogenase) Olika aminosyror ger olika alkoholer som slutprodukter när de bryts ned i cellen.
  - **Biosyntetiska/Anaboliska vägen** (anabolism/biosyntes av aminosyror). När cellen saknar någon aminosyra, så tillverkar den aminosyror från scratch. En del av mellanprodukterna för vissa aminosyror kan omvandlas till alkoholer.
- Många av de trevliga aromatiska humleoljorna tillhör också gruppen alkoholer
- En del smakrika karamellföreningar är alkoholer
- Några av de intressanta fenolerna i öl bildas på helt andra sätt än övriga alkoholer. 4-vinyl-guaicol (4VG) och 4-vinyl-phenol(4VP) är två ämnen vars förstadie främst finns bundet i cellväggen i kornet. Malt innehåller naturligt två anti-oxidanter, ferulic acid (syra) och coumaric acid (syra). Dessa finns i både vete och korn malt, i olika mängder. Men det är bundet. Vid en del lågtemperaturraster i mäsken så frigörs dock detta i vörten. Dessa syror stressar jästen, och jästen försvarar sig mot detta genom att konvertera dessa syror under jäsningsen till motsvarande 4VG och 4VP. Detta ger då upphov till trevliga smaker som drar åt nejlika, fenol, vanilj. Faktorer som påverkar nivån, är maltsorter, mäskschema(!), samt jäststam och jäsbetingelser.

#### Några Exempel

Ämne	Smak	Mekanismer
isobutanol	Spritig (kontaktlim)	Relaterad till valin metabolismen
3-metyl-butanol /Isoamylalkohol	Spritig (whiskey, marsipan?)	Relaterad till leucin metabolismen
2-metyl-butanol/aktiv amyl alkohol	Spritig (whiskey, marsipan?)	Relaterad till isoleucin metabolismen
phenyl-etanol	Spritig (blommig/rosig?)	Relaterad till phenyl-alanin metabolismen
1-propanol	Spritig (spolarvätska)	Relaterad till Threonine metabolismen
2-propanol	Spritig (spolarvätska)	Relaterad till methionine metabolismen
glycerol	Söt, viskos	Viskos, mycket söt alkohol som b.la. bildas extra mycket av jästen under hög osmotisk stress. Det är en stressreaktion som kan motverka det osmotiska trycket genom att öka halten glycerol inuti cellen.
maltol	Söt karamell	Bildas under karamellisierungsreaktionerna i mältning och vörtkok
4VG, 4VP	Fenol, nejlika, vanilj	Bildas av jästen, från ett förstadium som kommer från malten!

#### Fördjupning

##### Hur stor andel av alkoholerna som bildas från varje reaktionsväg(katabolisk eller anabolisk)

Det varierar från alkohol till alkohol. Men generellt tycks det vara så att ju fler kolatomer i alkoholen, desto mer signifikant är den kataboliska vägen via nedbrytning av aminosyror. I några fall där detta mätts upp via isotopspårning har fördelningen (katabolisk:anabolisk) legat från 1:3 för propanol, till 4:1 för amylalkohol.

Eftersom produktionen av högre alkoholer är starkt sammankopplat till aminosyrametabolismen kan allting som påverkar jästens tillväxt och specifikt aminosyraomsättningen påverka mängden av högre alkoholer. Högre temperaturer brukar generellt öka jästens omsättning av aminosyror och därmed ofta produktionen av högre alkoholer. Saker som stimulerar jästens tillväxt leder ofta också generellt till högre produktion av högre alkoholer.

Lite förenklat kan man säga att precis som när det gäller sockerarter, så föredrar jästen aminosyror i en viss ordning. Det kan innebära att olika högre alkoholer, kan produceras olika mycket under olika tidpunkter i jäsningsen. Av det totala kväveinnehållet i vörten är ca 5-10% aminosyror och små peptider som jästen kan tillgodogöra sig (FAN). Resten är proteiner, som bidrar till skum och fyllighet. Av totala mängden FAN i vört, så använder jästen 30-50%. Resten finns kvar i ölen. För höga haltener av högvärdiga aminosyror i färdig öl brukar inte vara önskvärdt då det tros bidra till biologisk instabilitet.

Aminosyror brukar grupperas i 4 olika grupper baserat på hur snabbt de absorberas ur vörten.

Grupp A och grupp B är aminosyror som tas upp i början av jäsningsen. Upptaget av grupp C brukar fördröjas tills det grupp A är slut enligt en mekanism som kallas för undertryckning av kväve katabolismen (NCR = Nitrogen Catabolite Repression, på engelska). Grupp D är aminosyror som lämnas till sist, och ofta blir kvar i ölen. Klassificeringen kan variera mellan olika jäststammar och andra faktorer.

Grupp A: Glutamate, Glutamine, Aspartate, Arginine, Asparagine, Serine, Lysine, Threonine, Methionine

Grupp B: Valine, isoleucine, leucine, histidine

Grupp C: Alanine, Glycine, Phenylalanine, Tyrosine, Tryptophan

Grupp D: Proline

Man ska dock veta att denna klassificering av aminosyror är en förenkling. Jästen har ett relativt komplicerat nätverk av gener för kvävekatabolismen, som styr upptag och nedbrytning av alla 21 aminosyror. Uttrycken av dessa gener beror på ett icke-linjärt sätt på både de möjliga individuella kvävekällorna (aminosyror, ammoniak), olika stressfaktorer, sockermetabolismen är med i "ekvationerna" samt ett antal gener som reglerar cellcykeln och tillväxt.

Om man ska analysera saken mer noggrant bör man skilja på de olika högre alkoholerna istället för att bunta ihop dem. Rent teoretiskt är det fullt möjligt att en förändring ökar en alkohol medan en annan minskar. Den kan ha viss signifikans när det gäller smakanalys, eftersom varje specifik alkohol, och senare specifik ester har olika smaker.

Generellt brukar högre biomasstillväxt och högre temperatur öka mängden högre alkoholer.

En del av dessa högre alkoholer esterifieras sedan av speciella enzymer i jästen, men långt ifrån alla! Mer högre alkoholer betyder oftast också mer estrar, men som nämns nedan så finns fler parametrar som komplicerar estersyntesen. Därför behöver det inte vara så att en faktor som ökar mängden högre alkoholer, per automatik, också ökar mängden estrar.

Ett exempel är syre. Mer syre brukar kunna leda till högre biomasstillväxt, och ofta mer högre alkoholer. Dock är det också belagt att syre minskar induktionen av två stycken esterenzym-kodande gener. I ett sådant fall är det inte alldeles trivialt att på generell basis förutsäga nettoeffekten. Det är ett allmänt återkommande tema i cellen att många faktorer påverkar helheten, och effekterna är inte heller nödvändigtvis additiva. Det är en anledningen till att helheten är svår att förutsäga, även om man på ett ungefär förstår de enskilda komponenterna isolerade.

### Låt oss titta närmare på en av aminosyrorerna, nämligen valin.

Valin brukar anses tillhöra antingen grupp B eller grupp C i vissa fall, vilket innebär att upptaget ofta kan vara något fördröjt i början av jäsningsen, och alltså hämmas av grupp A aminosyror.

När jästen inte tar in tillräckligt mycket valin i cellen för att tillfredsställa behovet för proteinsyntesen så tillverkas valin genom den **anaboliska vägen**.

socker -> pyruvat -> aceto-lactate -> 2,3-dihydroxy-isovalerate -> 2-keto-isovalerate ("keto-syra")

Sista steget, konverteringen av ketosyran till valin, sker via en transamineringsreaktion och glutamat.

2-keto-isovalerate + glutamate -> valine + 2-oxoglutarate

Detta är principen för hur aminogruppen överförs mellan olika aminosyror. Kvävet från glutamaten i det här fallet härstammar sannolikt från någon av gruppA-aminosyrorerna, som har brutits ned.

På samma sätt, när grupp A aminosyrorerna börjar ta slut i vörten, så kan det relativa valinupptaget ur vörten vara högre än vad som förbrukas i direkt proteinsyntes, och då växlar valinmetabolismen från den anaboliska vägen, till den **kataboliska vägen**, där överskottsvalin bryts ned och kvävet plockas upp i en glutamat för återvinning till andra aminosyror.

Valin + 2-oxoglutarate -> glutamate + 2-keto-isovalerate

I både fallet anabolisk, eller katabolisk vägen, så om det vid något tillfället uppstår ett överskott på 2-keto-isovalerate, så måste jästen göra sig av med den via

2-keto-isovalerate -> isobutanal -> iso-butanol

Acetolaktat är det ämne som läcker ut ur cellen och där oxideras till diacetyl. Se diskussion av ketoner för vidare detaljer.

## SYROR

### Smakbeskrivningar

- Cidriga, syrliga, vinösa aromer och smaker. Men även svett, get, härsken ost, spya.

### Bildning

- pH hos ojäst vört ligger i typfallet kring 5.2-5.5 vid rumtemp. Under jäsnigen produceras en rad organiska syror som sänker ölens pH till omkring 4.1-4.4. (Jämför vin som ligger kanske kring 3.0-3.6). Undantag finns både för öl och vin. Ölens pH beror primärt på två saker, mängden syror som produceras under jäsnigen, samt vörtens buffertkapacitet. Syror både bidrar till viss "syra" i smaken samt arom. Kanske än mer tydligt i vin. Om vi bortser från kolsyran så är den mest förekommande syran i öl, ättiksyra/acetat.
- En rad fettsyror produceras under jäsnigen, i princip relaterat till fettsyntesen. Överproduktion kan bero på obalans i vörtens näringsämnen.
- Syror kan också bildas genom oxidation av aldehyder som finns i cellen, om redoxbalansen störs. T.ex. genom syresättning av jäsande öl. I normalfallet skall dessa aldehyder reduceras till alkoholer. Jästen har flera olika enzym som reducerar aldehyder till alkoholer, men som också kan oxidera alkoholer till aldehyder som ett led i sin redox balansering. Men störningar kan ge upphov till fettsyror istället.
- Om öl med jäst i, syresätts, så kan enzymer aktiveras som katalyserar oxidationen av etanol till acetaldehyd, som vidare kan oxideras till ättiksyra och acetyl-CoA. Det är en mekanism varvid jästen kan respirera i etanol. Detta händer dock inte så länge glukoshalten är hög (i början av jäsnigen), glukoshalten blockerar detta alternativ genom den mekanism man kallar "katabolisk undertryckning". (Catabolite repression på engleska). Termen kommer sig av att glukos, som är en föredragen energikälla, blockerar aktivering av de gener som är nödvändiga för katabolism av alternativa energikällor, tex komplexa sockerarter och etanol eller glycerol.
- Tillsatser av socker i öl, kan ofta av olika anledningar, leda till lite cidrig/syrlig öl. pH är också ofta märkbart lägre, men det beror till viss del på att man sänker vörtens buffertkapacitet när man späder malt med socker. Detta har jag själv märkt i flera experiment. Och ju mer socker jag spätt vörten med, desto syrligare har jag fått, pH har också sjunkit. Men det finns fler faktorer som sannolikt också påverkar, bla syretillförseln.
- Syror kan även bildas via oxidation av humlens alfasyror, via aldehyder
- Syror kan självskrivet också bildas i mycket stora mängder t.ex. blättiksyrabakterier eller mjölksyrabakterier.

### Några Exempel

Ämne	Smak	Mekanismer
ättiksyra	Syrlig, cidrig, vinös arom & smak (vinäger i extremfall)	Led i jästens anaeroba produktion av acetyl-CoA (i extremfallet vinäger kan det också beror på ättiksyrabakterier)
citronsyra	Syrlig, sur	Från citronsyracykeln
hexansyra(caproic), oktansyra(caprylic), dekansyra(capric)	Get, härsket syrlig, tvålilig	Från fettsyrametabolismen, frigörs ur jästen. Överproduktion kan bero på flera saker.
mjölksyra	Syrlig	Mjölksyrabakterier
isovaleriansyra, isobutansyra	Härsken ost, härsken smör, spya	Ofta gammal oxiderad humle. Det som oxideras är alfasyrorna, humulone mm. Det är en sidokedja som lossar och ger upphov till dessa ämnen.

### Fördjupning

#### Ättiksyra är en normal mellanprodukt i biosyntesen av fettsyror under syrefria förhållanden.

Under aeroba förhållanden däremot så bildas acetyl-CoA direkt från pyruvat

Pyruvat → (PDH, mitokondrierna) → acetyl-CoA

Men under anaerob tillväxt så bildas majoriteten av all acetyl-CoA via oxidation av acetaldehyd och ättiksyra som mellanprodukter. Anledningen till detta är att PDH i mitokondrierna undertrycks vid syrebrist (hypoxi).

pyruvat → (PDC, cytosolen) → acetaldehyd → (huvudgen: ALD6) → acetat → (huvudgen: ACS2) → acetyl-CoA

Notera att det bildade acetatet normalt konsumeras i produktionen av acetyl-CoA, men som ofta är fallet så blir det en del "läckage" från mellanstegen. Ättiksyra i betydligt större mängder (typ vinäger) kan också förekomma, och då ofta pga. infektion av ättiksyrabakterier.

#### Andra syror som kommer sig av jästens fettsyrametabolism

Det är ofta alifatiska syror med 6-10 kolatomer, t.ex. kaprylsyra, den anses ha en smak och arom liknande svett eller get.

Generellt byggs större fettsyror från acetyl-CoA, normalt förlängs acyl-CoA två kolatomer i taget, vilket motsvarar en acetyl-CoA enhet. Det innebär att det byggs upp pooler av acyl-CoA i jästen, med olika längd på acyl kedjan.

På detta sätt kan endast mättade fettsyror bildas. Mättade fettsyror innehåller dubbelbindningar, och för att skapa dessa dubbelbindningar måste jästen ha molekylärt syre. Där sker normalt all syntes av omättade fettsyror i början på

jäsningen. När syret är förbrukat, kan jästen endast tillverka mättade fetter. Där sjunker normalt kvoten omättade:mättade fetter i jästen under en öljäsning. Detta har en rad olika fysiologiska konsekvenser för cellen.

Sedan finns olika sorters fetter i cellen. Men en av de vanligaste fetterna är fosfolipider(55%), och triacylglycerider(20%). Dessa är estrar mellan glycerol, fosforsyra och fettsyror.

Vissa tester visar på samband mellan hög fetthalt i jästen, och halter av fettsyror i ölen. När fettsyrasyntesen avtar i slutet på jäsningen, eller pga syrebrist, så måste den pool av aktiverade fettsyror (acyl-CoA) som finns dräneras. Det som inte kan esterifieras frigörs troligen som fria fettsyror och detta är troligen den mekanism där vissa längre fettsyror bildas. Fria mättade fettsyror är normalt en stressfaktor för jästen. I problem jäsningar kan denna stressfaktor minskas delvis genom tillsats av död jäst (som absorberar en del fettsyror, men även bidrar med näring, då främst **omättade** fettsyror).

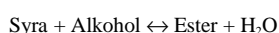
## ESTRAR

### Smakbeskrivningar

- Fruktighet, högfrekvent friskhet, banan, äpple, annanas, eidighet, lösningsmedel, nagellack

### Bildning

- Generellt bildas en ester från en syra och en alkohol.



Detta kan rent teoretiskt ske antingen spontant, eller enzymatiskt. Ofta är reaktionen reversibel. Dvs. en ester kan, om jämvikten tillåter, sönderdelas i vatten i sina ursprungskomponenter, syra och alkohol. Under omständigheterna i en öljäsning så skulle dock denna reaktion utan hjälp av enzymer, gå otroligt långsamt. I jästen är därför det dominerade sättet för att bilda estrar, enzymatiskt via "aktiverade fettsyror", acyl-CoA, som består av fettsyras motsvarande acyl grupp och Coenzym A.

Tex. Ättiksyra ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ), motsvaras av Aceyl-CoA( $\text{CH}_3\text{-CO-S-CoA}$ )  
Generellt ser sambandet ut som

Karboxylsyra:  $\text{R}_1\text{-COOH}$   
Motsvarande acyl-CoA:  $\text{R}_1\text{-CO-S-CoA}$

Estern bildas med en alkohol ( $\text{R}_2\text{-OH}$ )

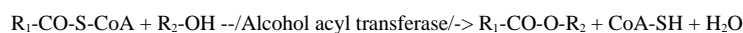


### Några Exempel

Ämne	Smak /Arom	Gener	Relaterad alkohol
etylacetat	Nagellack	ATF1(40%), ATF2, EHT1	Etanol
isoamylacetat	Banan	ATF1(80%), ATF2(20%)	Isoamylalkohol
2-phenyl-etyl-acetat	Honung	ATF1(75%), ATF2	Phenyl-etanol
iso-butyl-acetat	Fruktig nagellack	ATF1, ATF2	Iso-butanol
etyl-butyrate	Ananas	EHT1, EEB1(36%)	Etanol
etyl-hexanoat	Äpple	EHT1, EEB1(88%)	Etanol
etyl-propanoat	Äpple-päron	EHT1, EEB1	Etanol
Etyl-decanoat	Whiskey, cognac	EHT1, EEB1(40%)	Etanol

Notering: %-satsen är en fingervisning om hur stor del av estrarna som resp. gen är ansvarig för.

### Fördjupning



- **CoASH** är en komplex organisk molekyl (ett co-enzym) har flera viktiga funktioner i cellen.
- **Alcohol acyl transferase** är det enzym som överför acyl-gruppen från Coenzym A, till alkoholen, varvid Coenzym A frigörs som CoASH, så att det kan återvinnas. CoA förbrukas alltså inte. Det gör inte heller enzymet. Däremot så går enzymerna till slut sönder, dvs de blir skadade och måste nyttillverkas.

*Jämför här med mäskningen, där enzymerna alfa och beta amylase förvisso inte förbrukas specifikt i försöcksringen MEN de förstörs av värmen! i parallella denatureringsreaktioner. Så de "förbrukas" ändå på sätt och vis med tiden, eftersom de faller sönder! Detta är grunden bakom resonemangen mellan tid och temperatur under mäskningen. I mäskan sjunker alltså enzymhalten hela tiden, men eftersom jästen lever, så upprätthålls alla enzymnivåer hela tiden enligt jästens önskemål.*

I jästen finns flera olika sorters alkohol-acyl-transferaser. Varje sådant enzyme kodas av en specifik gen.

- En **gen** är i princip en sektion av DNA(arvmassan) som kodar ett visst protein. Cellen har sedan ett "maskineri" som kan läsa denna kod och tillverka protein enligt instruktion. Ungefär som en dator som utför de instruktioner som

kodats till programkod. En organism som har en viss gen har alltså den genetiska koden för att tillverka ett visst givet protein. Detta protein ger då jästen vissa egenskaper. I fallet estrar så finns ett antal olika identifierade gener i jästens DNA, som vardera kodar syntesen av de estertillverkande enzymer (som är proteiner). Om denna kodsnuvt/gen skulle plockas bort från jästens DNA, så kan jästen tappa kompetensen att tillverka vissa estrar. Det finns gener, som om de plockades bort, innebär att jästen t.ex. inte kan föröka sig. Estersyntesen är dock inte "kritisk" på det sättet, dock har vissa testet indikerat att jäst som har borttagna estergener har haft något förlängd lagtid vid återgång från viloläge. Bara för att jästen har den genetiska koden för att tillverka ett visst protein, betyder inte att detta verkligen görs. Den grad den potential en gen innebär, verkligen omsätts i en viss given situation brukar kallas för **genuttryck**. För att en cell som har rätt gener för estersyntes verkligen också ska tillverka estrar, krävs att genen aktiveras och översätts till **RNA**, som är en sorts arbetskopia på ritningen, som sedan skickas till den del av cellen där proteintillverkningen sker. På vägen från transkribering av DNA till färdigt aktivt arbetande enzym så finns en rad tillfällen för cellen att reglera processerna och nivån av **genuttryck**.

- För att förenkla finns två huvudsakliga sätt att reglera enzymaktiviteten i det allmänna fallet.
  - Genom att transkribering av genen förhindras (så att halten enzym hålls låg) eller uppmuntras, detta sker ofta på DNA-nivå, faktorer som helt enkelt förhindrar/uppmuntrar att vissa delar av DNA översätts till RNA. Att tillverka enzymer som inte behövs, är självklart ett resursslöseri, så i möjligaste mån försöker cellen att inte aktivera de gener som inte fyller någon funktion för att använda befintliga resurser på ett optimalt sätt. Nivån av transkribering av gener kan aktiveras och regleras av olika miljöfaktorer som närvaro eller frånvaro av vissa näringsämnen, signalsubstanser, eller olika typer av stress.

Dessa substanser som utför denna reglering kallas transkriberings-faktorer.

Det är vanliga att dessa transkriberingsfaktorer binder speciella sekvenser i DNA, och därmed förändrar DNAs egenskaper en aning – tillräckligt för att förhindrar eller uppmuntra att vissa gener översätts till DNA.

**Exempel:** *Bland annat fungerar en del av jästens stress aktivering på detta sätt. Det innebär att stresskänsliga gener, dvs gener som aktiveras av stress, ofta i sin närhet på DNA, har segment (STRE) som attraherar stressaktiverare. På så sätt kan många gener, direkt aktiveras på generell stress.*

- På olika sätt manipulera aktiviteten av befintligt enzym. (I kemisk kinetik brukar man skilja på koncentration och aktivitet: a) Enzymkoncentrationen är den faktiska totala halten, dvs hur många enzym molekyler man har per liter. b) Den specifika enzymaktiviteten är ett mått på hur effektiv varje enzymmolekyl är att katalysera den kemiska reaktionen. Detta beror ofta på kofaktorer, pH, temperature mm). Ibland kan det vara så att regleringar måste ske snabbt, och ha en högre nivå av flexibilitet än vad regleringen på lägre nivå tillåter. Då måste ytterligare regleringsmekanismer användas.
- Sammanfattningsvis kan man alltså säga att det inte räcker för en jäst att inneha en viss gen för att den skall generera estrar. Faktum är att de flesta jäster vi har, har i princip samma gener. Så skillnaden mellan de olika stammarnas benägenhet i att tillverka olika ämnen, ligger oftast på regleringsnivå. Dvs alla jäststammar gör precis samma sak, på samma principiella sätt, fast bara "olika mycket", de gör olika val när det gäller finjusteringarna. Dock ska det påpekas att benägenheten att uttrycka vissa gener förvisso delvis också är genetiskt betingad, men på ett mycket mer komplext och dynamiskt plan.

Förutom genetiska faktorer, så finns också en rad olika faktorer i jästens miljö som påverkar graden av genuttryck. Exakt hur alla gener i en jästcell regleras är det troligen ingen som vet (ingen människa i alla fall!), men det finns en del forskning på en rad specifika områden.

- Tester har gjorts där man artificiellt tar bort de två viktigaste estergenerna, ATF1 och ATF2 och då visade det sig att den manipulerade jästen nästan helt tappat förmågan att producera isoamylacetat. Isoamylacetatet minskade med 96% när både dessa gener togs bort. Alltså är det ett högst rimligt antagande att tro att det är uttryck och reglering av dessa gener och dess enzymer är mycket centrala för regleringen av isoamylacetat under jäsningsen. Kan man förstå vilka faktorer som påverkar induktionen(aktiveringen) av dessa gener så kanske man också kan förstå hur man kan lura jästen att tillverka mer, eller mindre av vissa estrar. Och det är det som är baktanken med denna artikel.

Exakt hur, och varför jästen bildar estrar är fortfarande höljt i dunkel. De förklaringar som ges är också ofta varierande. I viss äldre bryggarlitteratur och även vissa vetenskapliga artiklar från 60- och 70-talet så framhålls ofta en tilltalande idé om att det finns en konkurrenssituation mellan tillväxt/fettsyrasyntes och estersyntes i den meningen att man ofta hävdar att faktorer som ökar jästens tillväxt, och därmed konsumtion av acetyl-CoA, så blir det mindre acetyl-CoA "över" för syntes av acetat estrar.

Tittar man dock i modernare texter och vetenskapliga artiklar från de senaste tio åren så är bilden en annan. Saker och ting är mer komplicerade. Den gamla idén kan delvis vara korrekt i vissa fall, men när det gäller acetatestrar har det visat sig att de två främsta reglerande faktorerna är dels mängden högre alkoholer och enzymnivån. Variationen i acetyl-CoA koncentration under en jäsnings (enligt experiment som gjorts), kan faktiskt inte förklara motsvarande produktionsvariation av estrar under jäsningsprocessen. Men tittar man på aktiviteten av motsvarande enzymer så förklarar de mycket bättre det hela. Det tyder på att uttryck av dessa gener är en viktigare nyckel till att förstå estersyntesen. Samma sak gäller även andra processer i jästen, och det är anledningen till att en del forskning ibland kan tyckas insnöad som kanske ägnar långa utredningar åt dynamiken hos enskilda gener. Men förklaringen är då att just dessa gener har väldigt stor betydelse.



Den modernare bilden av estersyntesen går dels ut på att det finns minst fem identifierade gener som kodar var sina esterzymer. Alla enzymer har olika affinitet till olika alkoholer och olika fettsyror, och deras aktivitet regleras dessutom individuellt. Idag vet man att det är inte bara nivån acetyl-CoA och nivån högre alkoholer som påverkar estersyntesen, utan enzymregleringen är i många fall mer betydelsefull.

Trots framstegen så tycks det fortfarande inte finnas någon kristallklar bild för varför jästen tillverkar estrar. När man frågar "varför" så innebär det normalt att man eftersöker någon sorts motiv, där jästen genom sitt beteende skaffar sig en fördel gentemot sina konkurrenter i naturen. Det finns ett antal spekulationer men ingenting som kan betraktas som säkert.

#### Gener som kodar estertillverkande enzymer i *S.Cerevisiae*

GEN	Specialitet	GEN uttryck	Möjlig cellfunktion
ATF1	Ger flera olika acetat estrar, primärt isoamylacetat och etylacetat. Detta tycks vara den mest betydelsefulla genen för esterbildning.	Syre(-), omättade fettsyror(-), Stress?(+)	Högst affinitet till acetyl-CoA (ger acetat estrar)  genuttryck undertrycks av syre och omättade fettsyror Detta innebär i klartext att fritt syre och vissa omättade fettsyror i vörten fördröjer aktiveringen av denna gen, och därmed tillverkning av ester enzymerna. Detta har bekräftats i rapporter där man sett att detta kraftigt minskar framförallt mängden isoamylacetat och etylacetat i ölen.  uttrycksnivå påverkar signifikant nivån av acetat estrar Detta innebär att enzym koncentrationen i allra högsta grad är en flaskhals. Dvs mer enzym -> mer estrar. Mindre enzym -> mindre estrar.  <b>Möjliga cellmotiv:</b> avgiftning av korta och mediumlånga fettsyror / Stresshantering, dessa transporteras lättare ut ur cellen om de först esterifieras. Återvinning av acetyl-CoA?
Lg-ATF1	Analog med ATF1, men finns endast hos lagerjäst	Syre(-), omättade fettsyror(-), Stress?(+)	
ATF2	Ger flera olika acetat estrar, primärt isoamylacetat och etylacetat	Syre(-), steroidliknande ämnen(-)	Möjlig roll i avgiftning av steroid liknande substanser  uttrycksnivå påverkar signifikant nivån av acetat estrar Detta innebär att enzym koncentrationen i allra högsta grad är en flaskhals. Dvs mer enzym -> mer estrar. Mindre enzym -> mindre estrar.  <b>Möjliga cellmotiv:</b> avgiftning av korta och mediumlånga fettsyror, dessa transporteras lättare ut ur cellen om de först esterifieras. Återvinning av acetyl-CoA?
EHT1	Ger olika etylestrar. Har även ester hydrolyserande effekt.	Stress?(+)	EHT1 (Ethyl hexanoyl transferase)  <b>Möjliga motiv:</b> avgiftning av mediumlånga fettsyror  - hög affinitet för hexanoyl-CoA och ethanol (ethyl-hexanoate är påminner om röda äpplen) - uttrycksnivån av genen påverkar INTE signifikant nivån av motsvarande estrar - Enzymen har hydrolysförmåga, dvs hydrolysera ester tillbaka till syra och alkohol - Ger: ethyl-hexanoate, ethylbutanoate, ethyloctanoate
EEB1	Ger olika etylestrar. Har även ester hydrolyserande effekt.	Stress?(+)	EEB1 (Ethyl Ester Biosynthesis) - <b>Möjligt motiv:</b> avgiftning av mediumlånga fettsyror  - uttrycksnivån av genen påverkar INTE signifikant nivån av motsvarande estrar - Enzymen har hydrolysförmåga, dvs hydrolysera ester tillbaka till syra och alkohol - Ger: ethyl-hexanoate, ethylbutanoate, ethyloctanoate

#### KETONER

##### Smakbeskrivningar

- Dovt stickande popcorn/bränt smör, honung

### Bildning

- Oxidation av mellanprodukter från aminosyrasyntesen

#### Några Exempel

Ämne	Smak/Arom	Reaktionsväg	Faktorer
butandione(diacetyl)	Smörig, dov, popcorn--- alias 2,3-butandione, är i starka doser en dov, smörig nästan kväljande förening. Men i små nivåer upplever vissa den som en smakförhöjare.	Intermediaten alpha-aceto-laktat i biosyntesen av valin, oxideras spontant till diacetyl.	Jäststam, jästemperatur, nivå av valin och i vissa fall nivån av klass A aminosyror
pentandione	Honung	Intermediaten alpha-acetokaproate i biosyntesen av leucine, oxideras pentandione	Jäststam, jästemperatur, nivå av leucine

### Fördjupning

Låt oss fortsätta titta på valinmetabolismen som nämndes i samband med iso-butanol produktionen.

Aceto-lactate som är en mellanprodukt i jästensyntes av valin är det ämne som läcker ut ur cellen och där oxideras till diacetyl. Att jästen sedan tar upp diacetylen och reducerar bort den beror på att jästen behöver återställa sin redoxbalans. Flaskhalsen i diacetyl-reduktionen brukar anses vara oxidationen av förstadiet alpha-aceto-lactate till diacetyl. Diacetylrasten som är en förhöjd temperatur gör att oxidationen av förstadiet till diacetyl, forceras så att jästen kan ta upp och reducera så mycket diacetyl som möjligt innan den går ned i viloläge.

Därför kan man säga att förstadiet till diacetyl produceras så länge som den anaboliska vägen för valin dominerar. I praktiken är det i början på jäsningsen. Någon gång under jäsningsen har man en "diacetyl-topp", när diacetylnivån börjar sjunka så har också valinmetabolismen växlat till den kataboliska vägen.

På detta sätt så spelar inte bara den totala kvävehalten in, utan även den specifika fördelningen av olika aminosyror kan i alla högsta grad påverka tex diacetylnivån.

En för låg kvävehalt i vörten (tex genom sockertillsats), kan göra att valinet i vörten tar slut, under reduceringsfasen, och då återupptar jästen sin egen syntes av valin och därmed förstadiet till diacetyl. Därför kan för låg FAN-nivå, ge en andra diacetyltopp under jäsningsen.

Pentandione är bildas analogt med diacetyl i samband med metabolismen av aminosyran leucine.

Skillnader i diacetylproduktion mellan olika jäststammar kan bero dels på olika förmåga att bilda och läcka ut alpha-aceto-laktat , samt förmågan att ta upp och reducera diacetyl.

## SVAVELFÖRENINGAR

### Smakbeskrivningar

- Fis, ruttna ägg, lök, bränt gummi

### Bildning

- Bildas i huvudsak i samband med jästens metabolism av svavelinnehållande aminosyror. Kommer också från ämnen i malten, som omvandlas under vörtkok och jäsnings
- De olika svavelföreningarna kan via kedjereaktioner transformeras i varandra under lagring. Därför kan blygsamma H<sub>2</sub>S eller DMS problem på flaska t.ex. övergå till merkaptan problem, då de transformeras till ämnen med lägre smaktröskelvärdet. Det är en anledningen till att sådana blygsamma problem i unga viner brukar försöka åtgärdas direkt, eftersom det kan förvärras på flaska om ämnena finns kvar.

#### Några Exempel

Ämne	Smak/Arom	Reaktionsväg	Faktorer
H <sub>2</sub> S	Fis, ruttna ägg	Nedbrytningsprodukt från svavelinnehållande aminosyror, samt sulfiter och sulfater.	Jäststam, vörtsammansättning, jäsbetingelser, sulfiter, sulfater i vörten.
DMS	Kokta grönsaker	Förstadiet S-methylmethionine (SMM), samt Dimethyl Sulfoxide(DMSO) kommer från malten, bildas och reduceras delvis under vörtkoket  SMM -> DMSO under mältning, DMSO förångas ej  SMM -> DMS under mältning och kok, DMS kokar vid 37C, kan förångas i ett bra kok, eller i rostningen	Maltval, tillräcklig och kok förångning, snabb vörtkyllning

		DMSO -> DMS under jäsning av jäst eller bakterier	
metylmerkaptan, etylmerkaptan, dietyldisulfid	Bränt gummi, tändsticka, vitök	Kan bildas i öl, jästslurry som åldras från andra svavelföreningar, tex DMS.	Svavelproduktion under jäsningen, kan sedan transformeras till mer otäckta saker under lagring.

## OBSERVATIONER OCH REFLEKTIONER

Några personliga reflektioner och observationer:

Det kan vara på plats att säga att även om man kanske inte ska göra sig några illusioner att en djupdykning kemi och annat i en första omgång gör ölen så radikalt mycket bättre, så blir den i alla fall inte sämre, och för att tala för mig själv så tycker jag framförallt att teorierna berikar denna hobby. Själv tycker jag inte magin med ett glas öl är enbart den vätska finns i glaset, utan det är den långa resan som krävs för att den ska bli till. Och såsom jag ser det så börjar den resan inte med att man krossar malten, den började långt tidigare!! för flera miljarder år sedan!! Vi har bokstavigt talat en smak av evolutionen i vår öl. Vilka historiska erfarenheter har t.ex. fått jästen att tillverka estrar?

Dock finns det en del trösklar att ta sig över innan man lär sig att dra nytta av den forskning som finns att tillgå i tidskrifter och böcker. Och det är inte bryggartermer som är problemet utan ofta handlar det om termer som kemister och biologer använder sig av, och de flesta av oss är varken biologer eller kemister. Dessutom så är många vetenskapliga artiklar insnövade på en enda liten detalj, som sedan studeras i minsta detalj, t.ex. en enzymaktivitet. Där är problemet att man lätt blir så uppslukad av komplicerade detaljer att man tappar helheten – smaken på ölen. Och i samma ögonblick som man tappar helheten så har man inte heller något större utbyte av detaljerna.

Problemen ser jag personligen reducerat till ett par nivåer.

### Nätverket av reaktionsvägar

Cellen kan ses som ett enormt komplext nätverk av kemiska och fysikaliska reaktioner. Problemet är naturligtvis att varenda en av dessa reaktioner är länkade till en himla massa andra reaktioner – en kvalificerad soppa skulle man kunna säga. Det är ett jättepussel att lägga för att kartlägga jästens metabolism, men nu har vi sån tur att våra små vänner råkar vara en av de mer välstuderade organismerna vi känner till. Det finns ypperliga publika gendatabaser som beskriver en hel del, inte allt förvisso, men en god början.

(t.ex. <http://pathway.yeastgenome.org/biocyc/>)

Och om man nu förenklar en aning så kan varje reaktion, rent kinetiskt regleras av ett enzym. Visste vi koncentrationen av alla enzymer, skulle man "i princip" kunna systematiskt mata in alla dessa länkade reaktioner (ekvationer) i en dator, och låta datorn hitta lösningen.

Det vore så långt ett stort tekniskt problem, men strategin har ett ännu större problem.

### Enzymkoncentrationerna är inte konstanter!

Enzymerna är själva dynamiska objekt. Och hur regleras dessa? Jo de syntetiseras enligt det genetiska maskineriet när motsvarande gen är aktiverad. Enzymer kan också brytas ned av andra enzymer. Men hur vet man när jästen behagar aktivera respektive gen?

Hur löser man detta? Som om det inte vore hemskt nog att simulera jäsningen om enzymerna vore konstanter, nu vet vi alltså att de är dynamiska variabler som tydligen regleras på ett okänt sett via aktivering av hela jästens genuppsättning? Jästens genuppsättning är som ett gigantisk anslagskänsligt klaviatur, där man genom att spela får saker att hända. Vad göra?

Frågan som nu uppenbarar sig är: Hur vet jästen själv hur den ska "spela", eller uttrycka sin gener? Det har den väl lärt sig den hårda vägen under ett antal miljarder år, men om vi istället formulerar om frågan såhär: Finns det någon logik i den slutliga kompositionen? Syftet måste väl ändå vara att jästen ska kunna överleva, och reproducera sig, och kanske utvecklas på bästa sätt.

Det finns en del högtintressant forskning på just sådana simuleringar, där man gjort datorsimuleringar som försöker "hitta den komposition" som gör att jästen växer snabbast – givet ett nätverk av reaktionsvägar. Några utav de simuleringarna har sedan testats mot en riktig bakteriekultur och stämt rätt bra. I en sådan notis visade det sig att under experimentets början så stämde det inte, men efter några generationer hade de riktiga bakterierna kommit väldigt nära de genuttryck som datorsimuleringen kommit fram till. Det fanns vissa avvikelser och troligen så var villkoret som använts om maximering av tillväxt inte riktigt korrekt.

Den slutliga hårda frågan, som man då till synes måste besvara för att kunna brygga öl:

Kan vi komprimera livets hemliga algoritim? Själv tror jag det, men man måste vara optimist, annars finns risken att man aldrig ens försöker. Vi behöver också hitta och definiera "livets mått" som skall maximeras i livets algoritim. Det tror jag däremot är knivigare, och kanske det viktigaste.

Ibland kan livet som hembryggare vara hårt, men tyvärr ser jag inga genvägar till den perfekta ölen :)

## REFERENSER

- (1) "Sensory and Instrumental Flavour Analysis of Wort Brewed with Dark Specialty Malts"  
JIB vol 110, nr 2, s94-19, 2004
- (2) "Nonoxidative mechanism for development of trans-2-nonenal in beer"  
ASBC vol 57, nr 1, s29-33,1999
- (3) "Transcription profile of brewery yeast under fermentation conditions"  
Journal of Applied Microbiology, 94, s432-448, 2003
- (4) "The Catabolism of Amino Acids to Long Chain and Complex Alcohols in *Saccharomyces cerevisiae*"  
The Journal of biological chemistry vol 278, nr 10, s8028-8034, 2003
- (5) "The *Saccharomyces Cerevisiae* EHT1 and EEB1 genes encode novel enzymes with medium-chain fatty acid acyl ester synthesis and hydrolysis capacity"  
The Journal of biological chemistry vol 281, nr 7, s4446-4456, 2006
- (6) "Inhibition of Yeast Growth by Octanoic and Decanoic Acids Produced during Ethanollic Fermentation"  
Applied and Environmental microbiology vol 55, nr 1, s21-28, 1988
- (7) "The Impact of Fermentation Temperature on Yeast Reductase Activity"  
MBAA vol 41, nr 3, s282-292, 2004
- (8) "Balance of Activities of Alcohol Acetyltransferase and Esterase in *Saccharomyces cerevisiae* Is Important for Production of Isoamyl Acetate"  
Applied and Environmental microbiology vol 64, nr 10, s4076-4078, 1998
- (9) "A New Model for the Regulation of Ester Synthesis by Alcohol Acetyltransferase in *Saccharomyces cerevisiae* during Fermentation"  
ASBC vol 49, nr 2, s47-53,1999
- (10) "Alcohol acetyltransferases and the significance of ester synthesis in yeast"  
Yeast vol 16, nr 14, s1287-1298, 2000
- (11) "The Relative Contribution of Erlich and Biosynthetic Pathways to the Formation of Fuesel Alcohols"  
ASBC vol 36, nr 1, s39-43,1978
- (12) "Effect of Aeration and Unsaturated Fatty Acids and Expression on the *Saccharomyces cerevisiae* Alcohol Acetyltransferase gene"  
Applied and Environmental microbiology vol 63, nr 3, s910-915, 1997
- (13) "Molecular Biology of The Cell"  
Fourth Ed.  
Alberts, Johnson, Lewis, Raff, Roberts, Walter
- (14) "Gat1p, a GATA family protein whose production is sensitive to nitrogen catabolite repression, participates in transcriptional activation of nitrogen-catabolic genes in *Saccharomyces cerevisiae*."  
Molecular and Cellular Biology vol 16, nr 3, s 847-858, 1996
- (15) "Effect of low temperature fermentation and nitrogen content on wine yeast metabolism"  
Doctoral thesis of Beltran Casellas, Gemma  
Departament de Bioquímica i Biotecnologia (Spain)
- (16) " Investigations of the Protective Mechanism of Sulfite Against Beer Staling and Formation of Adducts with trans-2-Nonenal"  
ASBC vol 57, nr 1, s24-28,1999
- (17) "Principles of Brewing Science"  
Second Ed.  
George Fix
- (16) "Uptake of Amino Acids During Beer Production: The Concept of a Critical Time Value"  
ASBC vol 63, nr 1, s23-27, 2005
- (17) "Pregnenolone esterification in *Saccharomyces cerevisiae*: A potential detoxification mechanism"  
European Journal of Biochemistry vol 261, s317-324, 1999