

Ølfysik

Af Klaus Seiersen, atomfysiker og Landsformand for Danske Ølentusiaster

Publiceret i medlemsbladet "Ølentusiasten".

Prøv at åbne en øl og hæld den op i et glas. Hvad ser du? En ølentusiast vil nok se et glas dejligt øl, der forhåbentligt vil byde på en spændende smagsoplevelse. Han eller hun vil nok studere farven, duften og skumlaget før selve ølsmagningen påbegyndes. En fysiker vil måske se lidt anderledes på glasset. Øl er jo et produkt af en lang række fysiske, kemiske og biologiske processer, og i det færdige produkt findes fysiske problemstillinger, som har fanget interessen hos en hel del videnskabsmænd. I denne artikel vil jeg derfor se lidt nærmere på fysikken bag et glas øl, specielt bag boblerne i øllet. For eksempel vil jeg forsøge at afsløre, om det virkeligt hjælper at banke oven på sin dåseøl, hvis man vil forhindre den i at skumme over. Desuden vil jeg forsøge at belyse, hvordan man bedst nedkøler sin øl, f.eks. når man ligger på en brændende varm solbeskinnet strand. Først skal vi dog lige have lidt grundlæggende fysiske begreber på plads, så hold nu fast, vi kommer snart til det sjove.

Gas og væske - ølfysik for begyndere

Hvis man ser på en lukket beholder (som f.eks. en ølflaske), der indeholder en væske og en gas (f.eks. øl og CO_2), så vil noget af gassen befinde sig ovenover væsken (i toppen af ølflasken, lige under kapslen), mens noget af gassen vil være opløst i væsken. Denne situation er dynamisk, idet der hele tiden er CO_2 molekyler, der forlader væsken og går ind i gasfasen, mens andre CO_2 molekyler forlader gasfasen og opløses i væsken. Når systemet er i *ligevægt*, så vil der være det samme antal molekyler, der forlader gassen, som der forlader væsken, og mængden af opløst CO_2 er altså uændret.

Den mængde gas, der kan opløses i en væske, afhænger både af tryk og temperatur. For en given temperatur gælder der, at den mængde af CO_2 , der kan opløses i øl, er proportional med trykket. Det vil sige, at hvis vi fordobler trykket i en ølflaske, så vil der være dobbelt så meget CO_2 , der kan opløses i øllet. Denne sammenhæng, der f.eks. har betydning for gastrykket i et fadølsanlæg, kaldes *Henrys Lov* og er opkaldt efter den engelske fysiker William Henry (1774-1836). Der gælder ydermere, at en kold øl kan opløse mere CO_2 end en varm øl. Når en øl i ligevægt åbnes, så falder trykket i gassen lige over øllet. Dermed er øllet ikke længere i ligevægt, og væsken er pludseligt *overmættet* med CO_2 , som straks vil begynde at forlade øllet. Der er to måder, gassen kan forlade øllet på. Den ene er gennem øllets overflade, hvor CO_2 kan undslippe direkte ud til luften, og så er det ved at skabe bobler nede i øllet.

Boblefysik

I en *svagt overmættet* væske (hvilket gælder for CO_2 i øl), er det ikke energetisk favorabelt at danne bobler midt i væsken. Det er fysiker-sprog for, at det ikke kan lade sig gøre! Boblerne skal nemlig modvirke den overfladespænding, der findes i vand. Overfladespændingen afhænger af boblens radius, og det sværeste er faktisk at skabe en boble. Når boblen først er dannet, så kan den som regel sagtens vokse sig større. Det er faktisk helt som at puste en ballon op; det sværeste er at starte. Når der først er kommet lidt luft i ballonen, så er det ikke så svært at puste den helt op. I stedet må boblerne dannes på overflader af faste stoffer, som i praksis vil sige ujævnheder

på selve ølglasset eller små støvkorn i øllet. Dette kaldes *kondensationskerner*. Kondensationskernerne vil ofte bestå af små cellulosefibre, der kommer fra luften (støv) eller fra viskestykket, som er blevet brugt til at tørre glasset. Det er derfor, at nogle ølentusiaster vælger at lufttørre deres ølglas, samt derfor man ofte får skyllet sit ølglas før man køber en fadøl. Det betyder yderligere, at beskidte glas skummer mere end rene glas. Næste gang, du drikker en øl, så læg mærke til, at boblerne altid dannes på helt bestemte punkter på glasset; eller i værste fald på støvkorn inde i selve øllet.

Det er en almindelig misforståelse blandt folk at tro, at trykket i en øl stiger, når man ryster den, og at den derfor bruser over, når man åbner beholderen. Men trykket stiger faktisk ikke, hvis en øl rystes! Man kan selv undersøge det med en øldåse. En aluminiumsdåse vil udvide sig en lille smule, hvis trykket stiger inden i den, og dette kan måles med en skydelære. Måler man på øldåsen før og efter, man ryster den, så opdager man, at dåsen har samme tykkelse. Man kan også mærke efter ved bare at give dåsen et klem; trykket påvirkes ikke. Når en øl bruser over efter en rystetur, så skyldes det, at man får rystet en masse små CO_2 bobler ned i øllet. Så snart man åbner øllen, så falder trykket over øllet til 1 atmosfære og væsken bliver overmættet med CO_2 . Boblerne vil nu udvide sig for at udligne trykket, og samtidig vil de små bobler virke som kondensationskerner for yderligere CO_2 . Resultatet er en eksplosiv opskumning af øllet, der presses ud af flasken. Den eneste måde at undgå det på er at vente, for efter lidt tid vil de mange små bobler langsomt have bevæget sig op til toppen af øllen og ud af væsken.

Når en boble først er blevet dannet på en kondensationskerne, så vil den langsomt vokse sig større, idet mere og mere CO_2 vil forlade øllet og indgå i boblens gasfase. Til sidst vil boblen have vokset sig så stor, at opdriften i øllet vil løsrive boblen fra dens "fødested". Boblen stiger så opad, og man bemærker, at boblerne hurtigt vokser sig større og større, mens afstanden mellem dem samtidig vokser (tro nu ikke automatisk på, hvad jeg skriver - hæld en øl op og undersøg det selv!). At afstanden vokser skyldes ganske enkelt, at en større boble oplever større opdrift, og derfor bevæger boblerne sig hurtigere, efterhånden som de vokser i størrelse. Flere har påstået, at grunden til, at boblerne vokser, er, at trykket falder jo højere op i ølglasset, de kommer, hvorved boblerne pustes op som en ballon. Det er rigtigt, at trykket er større i bunden af ølglasset i forhold til toppen af øllet, men denne trykforskel er slet ikke nok til at forklare boblernes vækst. Forklaringen er i stedet, at boblerne virker som kondensationskerner! Med andre ord vil mere og mere CO_2 bevæge sig fra øllet og ind i boblerne, imens disse stiger opad. Og derfor vokser boblerne.

Utrolig ofte har jeg mødt folk, der ikke kan åbne en dåseøl uden at banke lidt på låget først. Deres forklaring er, at det forhindrer øllet i at skumme over, når man åbner den. Er det nu rigtigt, eller er det bare en skrøne? Lad os se på resultatet af et lille forsøg: For at se om der er forskel på øldåser, der bliver banket på, og dem der ikke bliver banket på, så har jeg udført et forsøg med 30 dåseøl af mærket Ceres Royal All Malt. Alle dåserne blev rystet og åbnet - der blev banket på låget af halvdelen af dåserne - og det blev så målt, hvor meget øllet skummede. Som mål for dette, blev dåseøllene åbnet, mens de stod i en dyb tallerken, og en plastikpose blev holdt over dåsen for at opsamle ølsprøjt. Mængden af spildt øl blev så målt i milliliter i et måleglas. For at tage højde for at dåserne blev rystet ens, så blev de rystet, åbnet og sammenlignet parvis.

Det tog lige et par forsøg før der kom helt styr på forsøggangen. I figur 1 vises resultatet af 10 målinger, hvor forskellen i mængden af ølsprøjt relativt til den samlede mængde øl fra den en øldåse vises. Hvis tallet er større end 0, så betyder det, at den øldåse, der var banket på i forvejen, skummede mest over. Hvis tallet er mindre end nul, så er det den ubankede dåse, der skummede

mest over. Hvis det er rigtigt, at det hjælper at banke på øldåsen, før man åbner den, så skal tallene være overvejende negative. Og det er de tydeligvis ikke!

Et forsøg med så dårlig statistik kan naturligvis ikke bruges til at lave en entydig vurdering af effekten fra "bank på låget". Vi ser dog, at hvis der er en effekt, så er den ikke voldsom stor, for så var den trådt frem i dette eksperiment. Tværtimod så vi faktisk en effekt af, at den øl, der blev åbnet først, også skummede mest. Med andre ord, så er det bedste trick til at undgå ølsprøjt at vente lidt med at åbne øllen!

Ølnedkøling

Sommeren nærmer sig, og det bliver snart et stort problem at nedkøle sin øl til den rette drikketemperatur, i hvert fald hvis øllet nydes ude i det fri. Præcist hvad den rette drikketemperatur er, afhænger af både øltype og ølnyder. Stærkere øl skal ofte nydes varmere end de svagere. Som nævnt i Ølentusiasten nummer 17 side 33, så siger en god tommelfingerregel, at øllet skal være to grader over alkoholprocenten. Personligt har jeg dog alle mine øl liggende iskoldt i køleskabet, både Jever pilsner, Westmalle Dubbel trappist og Young's Double Chocolate Stout. Hvorfor nu det? Jo, det vender vi tilbage til.

Hvad gør man, hvis man ikke har et køleskab? Hvis man for eksempel er på skovtur, på stranden eller til grillfest, alle situationer hvor en typisk dansker ofte medbringer øl. Hvordan holder man sine øl kolde her? I Ølentusiasten nummer 11 side 30 vises et godt trick til at køle sin øl ned, hvis den skal nydes ude i solen. Man vikler et vådt klæde rundt om øllen, og så lægger man den ud i solen. Solens varme får vandet til at fordampe, og når vand fordamper, så tager det en masse energi med sig; øllet bliver koldere. Ganske smart, ikke sandt: *Læg øl i solen og det bliver koldt!* Næh nej, sådan fungerer verden nu ikke: Læg din øl i solen, og den bliver varm!

Det er helt rigtigt, at vand kræver ekstra meget energi for at gå fra væskefase til gasfase. Det samme kendes fra husholdningssprit, som dog fordamper hurtigere end vand. Får man sprit på hånden, så føles det meget koldt, ganske enkelt fordi spritten fordamper og fjerner energi fra hånden. Tilsvarende kender vi det fra os selv: Vi sveder, og når sveden fordamper, så afkøles kroppen, og denne proces forløber ekstra hurtigt, hvis vi placerer os i en let brise, som hjælper til med at fordampe sveden. Men! Der er jo også varmt i solen, endog meget varmt i forhold til i skyggen. Så selv om øllet køles ned af vandet, der fordamper fra det våde klæde, så varmes øllet også op af både den varme luft og af strålingen fra solen. Så hvad er nu mest effektivt; den nedkølende fordampning, eller de opvarmende faktorer?

Til at belyse dette lavede jeg sidste sommer et lille forsøg, hvor jeg satte 4 grupper af flasker med vand fra vandhanen (15 grader) udenfor: 1. gruppe stod i solen, 2. gruppe stod i solen med et vådt klæde viklet rundt om, 3. gruppe stod i skyggen, og 4. gruppe stod i skyggen med et vådt klæde omviklet. Ved nu løbende at måle temperaturen af flaskerne, så kan man få afklaret, om øl holder sig koldest i solen eller i skyggen, med eller uden et vådt klæde.

Resultatet ses på figur 2. Bemærk først den blå kurve, der viser lufttemperaturen i skyggen. Under hele forsøget, der varede næsten 1.5 time, var lufttemperaturen stort set konstant på 23 grader. Dernæst kan man se, at vandet, der står i skyggen, holder sig markant længere koldt end det, der står i solen! Og til sidst ser man, at både vandet i skyggen og det i solen holder sig koldere, hvis flasken er omviklet et vådt klæde. I solen er effekten stærkere, for her fordamper vandet jo hurtigere. Konklusionen er altså, at øllene skal opbevares i skyggen, gerne omviklet af et vådt

klæde, og meget gerne et sted, hvor der er meget vind, som også hjælper på fordampningen fra klædet. Selv har jeg ofte ved grillfester haft øllene liggende i en stor balje med isvand. Det er noget nær det mest effektive, som vi skal se nu.

Jeg har lavet et par forsøg, hvor jeg har forsøgt at måle, hvor hurtigt en ølflaske vil blive nedkølet i et køleskab, og hvor hurtigt den vil opvarmes under forskellige forhold. Til formålet udstyrede jeg en standard 33 cl ølflaske med en prop, hvori der sad en termoføler. Øllet drak jeg og erstattede med vand; det skulle ikke gøre nogen forskel på konklusionerne!

Først undersøgte jeg, hvor hurtigt en øl ville blive nedkølet i et køleskab. Flasken blev lagt på hylden i køleskabet, og temperaturen noteret løbende. Resultatet ses på figur 3. I dette forsøg tog det 1.5 time bare at komme fra 20 til 10 grader (det kan selvfølgelig gå hurtigere eller langsommere i andre køleskabe, der er indstillet anderledes). Nu er luft i sig selv ikke så fantastisk til at bortlede varmen fra noget, der skal nedkøles, så for at sammenligne satte jeg en balje vand ind i køleskabet. Dagen efter var vandet i baljen samme temperatur som luften i køleskabet, og jeg gentog forsøget, denne gang med flasken liggende i vandet inde i køleskabet. Nu tog det kun under 15 minutter at gå fra 20 til 10 grader (se figur 3)! Selv om både vandet og luften i køleskabet havde samme temperatur, så var vandet langt mere effektivt til at bortlede varmen. Samme fænomen kendes fra en sauna: Hvis man sammenligner træ og metal i en sauna, så føles metallet meget varmt, mens træet er helt behageligt at røre ved. Dette skyldes ikke, at træet og metallet har forskellige temperaturer, men derimod at de har forskellige varmelednings-evner. Konklusionen er altså, at hvis man hurtigt vil have nedkølet en øl, så skal man bruge koldt vand i stedet for at lægge den i køleskabet. Så en balje isvand er derfor helt perfekt til grillfesten! Kommer man hjem med øl, der hurtigt skal serveres, så læg dem i noget koldt vand.

Ølopvarmning

Er det øl fra køleskabet, der skal serveres, så er disse øl ofte for kolde. Her drejer det sig om at varme øllene op, hvis de skal have den rette serveringstemperatur. Igen lavede jeg nogle forsøg, denne gang med opvarmning af øl. Resultatet ses på figur 4. Forsøget er lavet tre gange: Første gang stod flasken bare på køkkenbordet, anden gang opvarmede jeg flasken i hænderne, og tredje gang blev den omviklet et vådt klæde og lagt i solen. Vi ser, at hvis øllen bare står på bordet, så går der lang tid, før man kan drikke den. Prøver man i stedet at opvarme den i hænderne, så er den drikkeklar på et minut eller to. Og netop derfor ligger alle mine øl iskoldt. Når uventede gæster dukker op, så kan jeg lynhurtigt *varme en øl* til dem! Af forsøget kan man også lære, at man ikke skal stå for længe med sin øl i hånden. Den holder sig længere kold, hvis man sætter den på bordet efter hver slurk.

Til sidst vil jeg dog lige nævne, at de viste temperaturkurver i denne artikel naturligvis vil variere efter øl- og flasketype, køleskabstype og -indstilling samt vejrforhold som temperatur, vind og luftfugtighed. Og det var det. Er man nået igennem denne artikel, så trænger man sikkert til en øl. Det gør jeg i hvert fald. God sommer!

Referencer

[1] J. Walker, "Reflections on the rising bubbles in a bottle of beer", *Scientific American* **December 1981**, 124.

[2] F. S. Crawford, "Hot water, fresh beer, and salt", *American Journal of Physics* **58**, 1033

(1990).

[3] N. E. Shafer og R. N. Zare, "Through a Beer Glass Darkly", *Physics Today* **October 1991**, 48 (1991).

[4] G. Liger-Belair og P. Jeandet, "Effervescence in a glass of champagne: A bubble story", *Europhysics News* **januar/februar 2002**, 10.

Faktaboks

Vidste du for øvrigt, at CO_2 er en gas, der også kaldes *kuldioxid*, mens *kulsyre* er et helt andet molekyle, nemlig H_2CO_3 ? Det dannes, når CO_2 gassen opløses i vand. Der er altså kulsyre i en øl, men det er kuldioxid, der bobler op af den!

Forsøgsboks

Tag en kold dåseøl og hæld den forsigtigt op i et glas. Riv nu den lille metalclip løs fra dåsens låg og læg den ned i glasset. Metallet lægger sig ned på bunden, hvor bobler vil begynde at dannes på den. Når der er dannet nok bobler på den, så vil opdriften fra boblerne løfte metalchip'en op til overfladen. Her sprænger boblerne, og metallet falder ned på bunden igen. Processen gentager sig, og metallet vil bevæge sig op og ned i glasset igen og igen.