



# EVIGT KOKANDE FLASKAN

## Varning!

Denna undersökning bör endast genomföras i vuxet sällskap. Dessa risker finns:

- Glasflaskan som används utsätts för temperatur- och tryckförändringar, vilket gör att den kan spricka. Då finns en risk för ni skär er.
- Glasflaskan som används blir skållhet. Då finns risk att ni bränner er.
- Ni arbetar med kokhett vatten. Då finns risk att ni bränner er.
- Det händer ibland att vattnet blir överhettat i mikron (det vill säga blir varmare än 100 °C utan att koka) för att sedan plötsligt börja koka explosivt. Då finns risk att ni bränner er.

Vidta därför följande säkerhetsåtgärder: Använd - genom *hela* undersökningen - skyddsglasögon och ett par grova handskar. Ha alltid ett stadigt grepp om flaskan och *rikta dess öppning bort från dig*, ändå från när ni öppnar dörren till mikrovågsugnen. Öva på vad ni ska göra om någon skär sig eller bränner sig.

## Material

- 1 st glasflaska med kork - En glasflaska med liten öppning fungerar bäst, såsom en ättiksspritflaska.
- Skyddsglasögon
- 2 st grova handskar
- Mikrovågsugn
- Vatten

## Gör så här



1. Fyll glasflaskan till en tredjedel med vatten. Ställ glasflaskan i mikron (om den inte får plats kan du lägga den på snedden i en skål, som på bilden). Kör mikron på högsta värme tills vattnet i flaskan kokar. Låt det koka i 20 s.



2. Sätt på handskarna och skyddsglasögonen. Och nu gäller det vara snabb. Öppna dörren när flaskans öppning är riktad bort från dig och skruva *direkt* på korken. Dra åt korken ordentligt.



3. Ställ flaskan uppochner (om den inte står stadigt kan du ställa den i ett glas). Se hur vattnet kokar.



4. Och kokar...

## Kort förklaring

När vattnet kokar i mikron förångas en del av vattnet. Flaskan fylls med genomskinlig vattenånga.

När flaskan sedan ställs i rumstemperatur kommer den att svalna. Då drar vattenångan ihop sig och trycker därmed mindre på vattenytan. Detta sjunkande tryck gör det lättare för vattnet att koka - och därför fortsätter det att koka långt under 100 °C, som är den normala kokpunkten för vatten.

Du kan dock bli lurad att tro att vattnet kokar! Om din kork inte är helt tät kommer i stället luft komma in i flaskan, och det är bubblorna du ser. Denna "fuskkokning" sker dock av samma anledning som den riktiga - att trycket av vattenångan i flaskan sjunker. Då skapas ett undertryck och luft "sugs" in i flaskan. För att ta reda på om du fuskkokar kan du ställa flaskan på rätt köl. Om vattnet då slutar att bubbla betyder det att bubblorna kommer från korken och du fuskkokar.

## Lång förklaring

Vatten och alla andra vätskor kan förångas, det vill säga övergå till gasform. Detta kan ske på två sätt; avdunstning och kokning. Avdunstning sker under kokpunkten och bara vid ytan. Kokning sker vid kokpunkten och överallt i vätskan. För att verkligen förstå allt som sker i den här undersökningen är det bra att fördjupa sig i det här med avdunstning och kokning, men även lite i dynamisk jämvikt och bubblor. Sedan återkommer vi till förklaringen.

### Avdunstning

Partiklarna som utgör en vätska hålls alltid samman av elektrisk attraktion, exempelvis vattenmolekyler som hålls samman av dipolbindningar. Samtidigt har partiklarna rörelseenergi - alltså rör på sig. Även om de totalt sett har en viss genomsnittshastighet (vilket vätskans temperatur är ett mått på) rör sig vissa partiklar snabbare och vissa långsammare. De partiklar som befinner sig vid ytan och dessutom rör sig snabbt i en riktning från ytan är de som kan förångas. För dessa kan slita sig från de elektriska attraktionskrafterna, som vid ytan ju endast finns på ena sidan av dem.

### Dynamisk jämvikt

Samtidigt som partiklar avdunstar från vätskans yta kommer andra kondensera igen på den, det vill säga återgå till vätskeform. De partiklar som kondenseras är de som kommit tillräckligt nära vätskeytan och har tillräckligt låg hastighet för att fångas in av de elektriska krafterna.

När avdunstning och kondensation sker med samma hastighet sägs dynamisk jämvikt råda. Då kommer vätskenivån förbli densamma.

Ett glas med vatten är vi dock vana vid att det avdunstar helt. Anledningen är luften i rummet aldrig blir mättad med vattenånga (det finns en gräns för hur mycket vattenånga luften kan innehålla) och det kommer vara glest med vattenmolekyler ovanför vattenytan. Samtidigt kommer de flesta vattenmolekyler som finns där ha för hög temperatur för att kondensera. Samtidigt fortgår avdunstningen, eftersom luften hela tiden värmer vattenglasets till rumstemperatur, och alla

vattenmolekyler däri förr eller senare kommer att ha befunnit sig vid vattenytan och haft tillräckligt hög hastighet för att avdunsta.

### **Kokning**

Ju mer en vätska värms ju mer rörelseenergi kommer partiklarna ha. Detta leder till att förångningen vid ytan (avdunstningen) går allt snabbare. När vätskan når den temperatur som kallas *kokpunkten* börjar förångning även ske inuti vätskan. Bubblor av vätskans gasform bildas och stiger till ytan. Vätskan kokar.

En bubbla består av partiklar som fått tillräckligt hög rörelseenergi för att putta undan andra partiklar och bilda ett eget tomrum där de kan röra sig. Precis som ett *mosh pit* på en konsert.

Har du tänkt på att för att bubblor ska kunna bildas inuti vätskan måste hela vätskan ovanför lyftas upp? Det är därför kokning inte kan ske förrän vid en viss temperatur. Gasen i bubblorna måste ha tillräckligt högt tryck för att inte krossas av luften (det är ju oftast luft) som trycker ner på vätskans yta. Detta tryck har bubblorna endast när de förångade partiklarna däri är tillräckligt många och har tillräckligt mycket rörelseenergi, vilket är just vid kokpunkten. Det är därför som kokpunkten definieras som "den temperatur då vätskans ångtryck är lika stort som trycket som vätskan utsätts av från sin omgivning".

Bubblan måste dessutom hålla för trycket från all vätska ovanför sig. I en vanlig kastrull med vatten är detta inte så mycket, men kokpunkten stiger i alla fall med djupet.

Kokpunkten sjunker alltså med lufttrycket. På Kebnekaises topp kokar exempelvis vatten redan vid 93 °C, eftersom lufttrycket är lägre på den höjden (2 100 m.ö.h.).

### **Mer om bubblor**

Det är intressant att undersöka var bubblor bildas någonstans. När vatten kokar i en kastrull är det vanligast att de bildas vid botten av kastrullen. Detta beror helt enkelt på att det är varmest där.

Bubblor bildas också enklast på ytor, såsom på kastrullen eller på mikroskopiska smutspartiklar i vätskan. Dessa platser kallas *nukleationsplatser*, eftersom det första fröet till en bubbla kallas *nucleus* på latin. Allra enklast bildas bubblor ju mindre kontaktytan med vätskan är och ju större kontaktytan med ytan är, vilket betyder att gropar är de allra bästa nukleationsplatserna. Förklaringen till detta är att, ju mindre kontaktyta med vätskan en bubbla har, ju mindre energi krävs för att sträcka ut och förflytta vattenmolekylerna i den kontaktytan (vilka sitter ihop genom ytspänning). Särskilt bra är gropar som vattnet genom sin ytspänning inte ens kommer ner i. Hit kan vattenmolekyler förångas och gro till en bubbla helt i lugn och ro. När bubblorna är stora nog lyfter lyftkraften, som uppstår på grund av att vattnet och bubblorna har olika densitet, upp dem mot ytan.

När du håller upp ett glas vatten från kranen är det vanligt att du ser bubblor. Detta är inte bubblor av vattenånga, utan av luft. Detta kan bero på att vattnet i kranen varit under tryck. Vatten under tryck kan nämligen innehålla mer luft. Men när det kommer ut i kranen sjunker trycket och luften frigörs. Det kan även bero på att vattnet blandas med luft i själva kranen, något som är vanligt för att spara vatten.

Likaså är det vanligt att du ser bubblor direkt när du börjar värma vatten. Även detta är luftbubblor som frigörs, eftersom varmt vatten inte kan innehålla lika mycket luft som kallt.

Bubblor av vattenånga som bildas vid kokning av vatten kan försvinna igen. Detta sker när de kyls ner och kondenserar, till exempel vid ytan. Precis innan en kastrull vatten verkligen kokar är det vanligt att den börjar vibrera och låta. Detta är de första bubblorna av vattenånga som bildas vid botten, men som snabbt kondenserar eftersom de stöter på kallare vatten.

Om en bubbla med vattenånga når ytan utan att spricka släpps vattenångan ut i luften. Oftast kondenserar den där, och blir till små vattendroppar vi ser som rök.

### **Förklaringen**

Så, med hjälp av ovanstående teoretiska bakgrund kan vi nu förklara undersökningen på ett djupare plan.

När flaskan körs i mikron värms vattnet upp genom att vattenmolekylerna tillförs rörelseenergi (från mikrovågor som träffar dem). Allt fler vattenmolekyler får så pass mycket rörelseenergi att de sliter sig loss från det flytande vattnet och övergår till att bli vattenånga. Vid 100 °C har

vattenmolekyler så mycket rörelseenergi att bubblor av vattenånga till och med bildas nere i vattenmassan. Vattnet kokar. Massor av vattenånga bildas och den trycker ut luften i flaskan. Vi kan nu känna oss säkra på att flaskan nu är fylld med vattenånga. Dags att skruva på korken.

När du sätter på korken har du en flaska innehållandes flytande vatten och vattenånga. Vattenångan trycker på ytan, precis som luften annars gör. I rumstemperatur kyls flaskan av. Vattenmolekylerna som utgör vattenångan saktar ner. Trycket de utför på vattenytan minskar därmed.

Nu kan en av två saker hända. Antingen sugs luft in i flaskan eller så kokar vattnet.

### **Förklaring 1: Luft sugs in**

Det vanligaste är att korken inte sluter tätt och luft sugas in i flaskan.

Dock "sugs" egentligen inte luften in, utan den trycks in. Föreställ dig luften omkring dig. Den består av massor av luftmolekyler (syrgas- och kvävgasmolekyler främst) som dras nära jordytan av gravitationen. Det gör att de har ett väldigt tryck på sig, av sina kompis-luftmolekyler i hela atmosfären ovanför, vilka också dras mot jordytan av gravitationen. Så det gör att luften vid jordytan är ett osynligt gitter av luftmolekyler som trycks hit och dit - överallt dit det finns en lucka. Och nu finns en lucka inne i flaskan, eller med andra ord, en plats som inte trycker tillbaka. Och det finns små glipor vid korken som luften kan ta sig genom.

Det kan tyckas märkligt att korken inte sluter tätt. Den är ju trots att tillverkad för att göra det. Men, när det blir så stor tryckskillnad som i denna undersökning kan den inte hindra att luft trycks in i små, små glipor. Dessutom är luftmolekyler mycket svårare att stoppa än vattenmolekyler, eftersom de har lättare att komma en och en. Vattenmolekyler tenderar å andra sidan att sitta ihop i sjok på grund av dipolbindningarna mellan dem.

Troligtvis kommer luftens insipprande att sluta innan trycket i och utanför flaskan är detsamma. Det beror då på att gliporna vid korken klarar av att sluta tätt när tryckskillnaden inte är så stor. Du kan dock fortsätta fuskkokningen då genom att skruva upp korken lite grann.

### **Förklaring 2: Vattnet kokar på riktigt**

Den andra saken som kan hända är att vattnet kokar på riktigt.

När trycket på det flytande vattnet minskar kan vattenmolekylerna som utgör det flytande vattnet lättare bilda bubblor. De behöver nu inte lika mycket rörelseenergi för att putta undan och lyfta upp vattnet. Kokpunkten har sjunkit. Kokpunkten fortsätter sjunka allt medan flaskan kyls ner - och därmed fortsätter vattnet koka.

När vattnet kokar bildas ny vattenånga som ansluter sig till den redan existerande vattenångan. Temperaturen fördelas mellan dem och de fortsätter kylas ner tillsammans.

Till slut har vattenångan kylts ner till rumstemperatur. Nu minskar inte dess tryck på det flytande vattnet längre. Det flytande vattnet slutar koka. Nu råder äntligen dynamisk jämvikt i flaskan. Vid det här läget, vid rumstemperatur (20 °C), har vattenångan ett tryck av 0,023 atmosfär. Det betyder att trycket i flaskan nu endast är 2,3 % av vad den normalt är i atmosfären. Så alltmedan flaskan har svalnat har temperaturen av vattenångan (och det flytande vattnet) sjunkit från 100 °C till 20 °C och trycket har sjunkit från 1 atmosfär till 0,023 atmosfär. Ganska fantastiskt.

En sak som kan tyckas märklig är hur vattennivån inte tycks förändras. För hela tiden har ju vattenmolekyler lämnat det flytande vattnet och blivit till vattenånga, och därmed borde vattennivån minska. Faktum är att den gör det, men det är så lite så det knappast syns. Det krävs en otroligt liten mängd flytande vatten för att bilda en stor mängd vattenånga. När flytande vatten övergår till vattenånga expanderar det i storleksordningen 1 000 gånger.

En annan sak som kan tyckas märklig är så många bubblor vattenånga kan ansluta sig till vattenångan. Hur får all vattenånga plats? Även det är faktiskt inga problem, för eftersom vattenångan kyls ner hela tiden så minskar den också i volym. Även denna volymförändring kan vara i storleksordningen 1 000 gånger.

Har du kommit så här långt kan du faktiskt fortsätta undersökningen. Ställ flaskan uppochner och skruva upp korken bara lite lätt. Du kommer nu se hur luft börjar pysa in, helt in enlighet med

förklaring 1. Du kan nu fuskoka flaskan ett bra tag, ända tills trycket i flaskan är uppe på 1 atmosfär igen.

### Praktiska knep

En nyckel till att lyckas med den här undersökningen är att vattenången inte flyr ut ur flaskan innan du hunnit skruva på korken. Därför ska du vara snabb med det. Av samma anledning ska du välja en flaskas med en liten öppning. Förmodligen spelar även formen på flaskan roll, där vissa flaskor håller kvar vattenången bättre.

Allra viktigast är förstås att hitta en kork som sluter tätt, även under stora tryckskillnader. Annars får du nöja dig med att fuskoka - men även det är häftigt.

Dock, om din kork inte sluter helt tätt och du fuskokar, kan du faktiskt få till riktig kokning ganska enkelt! Det gör du genom att kyla ner flaskan snabbt, så snabbt att tillräckligt mycket luft inte hinner in genom gliporna vid korken och vattnet måste koka. Ett sätt är att lägga en isbit på botten av flaskan. Ett annat är att ställa flaskan i diskhon och spola kallt vatten. Bered dig då på våldsam kokning! Men var då också extra uppmärksam på risken att flaskan kan spricka.



## Experimentera

För att göra denna undersökning till ett experiment kan du försöka besvara någon av nedanstående frågor. Glöm inte att ställa en hypotes och att förklara resultatet.

- Hur längre kokar egentligen flaskan - kokar den verkligen för evigt?
- Vad händer om du lägger en isbit på botten av flaskan?
- Vad händer om du inte ställer flaskan uppochner?
- Sugs det in eller pyser det ut gas när du till slut öppnar korken?
- Vad händer om du har i lite smuts som flyter i flaskan?
- Stiger eller sjunker vattennivån i flaskan?
- Vid vilken temperatur slutar vattnet att koka?
- Låt en ballong som du blåst upp till en pingisbolls storlek flyta i flaskan. Vad händer med den?
- Vad händer om du använder hälften så mycket vatten?
- Vad händer om du, när du öppnar dörren till mikrovågsugnen, väntar i en halv minut innan du sätter på korken?
- Vad händer om du använder mjölk i stället?
- Vad händer om du ställer flaskan i diskhon och håller svalt vatten på den? Var extra uppmärksam på risken att flaskan kan spricka!

## Film

Se undersökningen på film. Surfa in på

[www.experimentskafferiet.se/experiment/evigt\\_kokande\\_flaskan](http://www.experimentskafferiet.se/experiment/evigt_kokande_flaskan), eller scanna streckkoden med din mobil.

