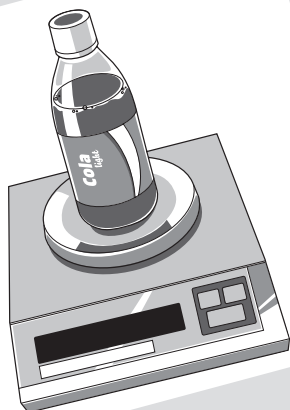
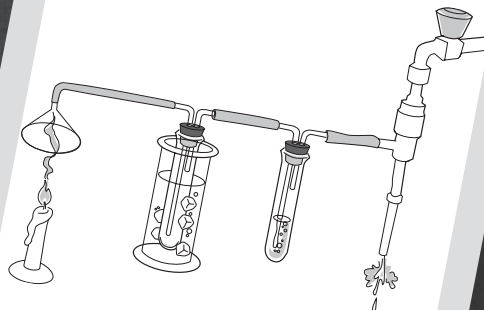


# Kapitel 2: Fra miljøsynder til eftertragtet råstof



Eksperiment 2.1:  
Hvor meget CO<sub>2</sub>  
kan en cola frigive?

22



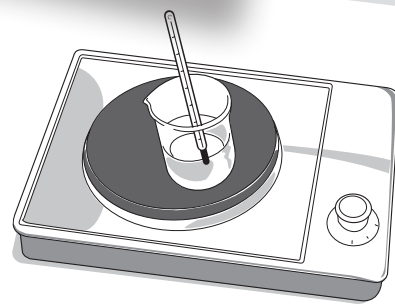
Eksperiment 2.2:  
Forbrændings-  
produkter

25



Eksperiment 2.3:  
Vand uden brus

28



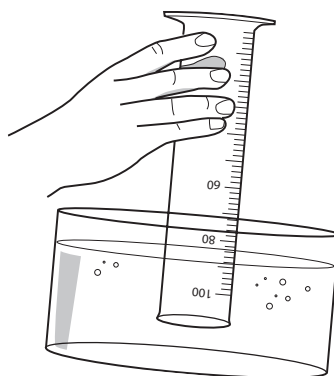
Eksperiment 2.4:  
Surt vand

32



Eksperiment 2.5:  
Kvæl flammen

36



Eksperiment 2.6:  
Gas i vand

39



## Eksperiment 2.1: Hvor meget CO<sub>2</sub> kan en cola frigive?

### Eksperiment med CO<sub>2</sub> på gasform

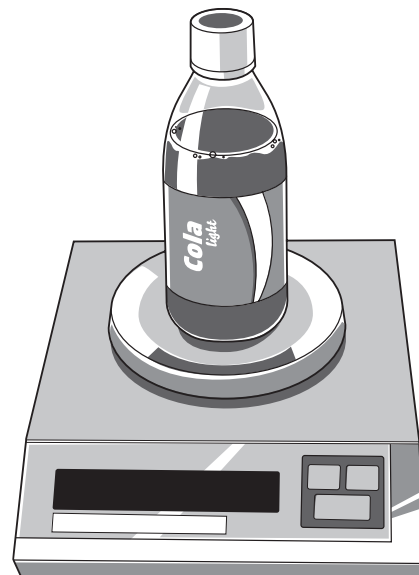
#### Formål

I skal finde massen af carbondioxid (CO<sub>2</sub>), der bruser ud af en cola.

#### I skal bruge

En halv liter cola

Vægt (nøjagtighed 0,1 g, gerne 0,01 g)

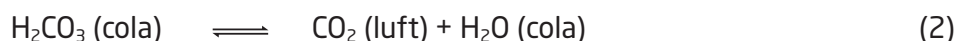


#### Oplæg

CO<sub>2</sub> er en gas, som altid findes omkring os. For eksempel udånder både dyr og mennesker CO<sub>2</sub>. Gassen bruges også til mange formål i industrien, for eksempel til at lave brus i cola og andre sodavand. CO<sub>2</sub> opløses i cola under tryk og reagerer efterfølgende delvist med vandet i væsken og danner kulsyre (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>):



Når låget skrues af colaflasken, falder trykket, og noget af det opløste CO<sub>2</sub> bruser op som bobler. Resten af H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> bliver imens langsomt omdannet til CO<sub>2</sub>, indtil der opstår en ligevægt mellem mængden af CO<sub>2</sub> i sodavanden og mængden af fri CO<sub>2</sub> i luften:



#### Sådan gør I

1. Stil den uåbnede cola på vægten, og nulstil (tarér). Noter massen i skemaet nedenfor.
2. Åbn forsigtigt flasken, og lad CO<sub>2</sub> sive ud. Undgå, at der løber væske ud af flasken.
3. Skru låget helt på igen, og vej flasken. Noter massen.
4. Vend roligt den lukkede flaske op og ned et par gange.
5. Skru forsigtigt (!) låget af igen, og lad CO<sub>2</sub> sive ud.
6. Skru låget helt på igen, og vej igen flasken. Noter massen.
7. Gentag punkt 4-7 cirka 30 gange, eller indtil massen ikke længere falder markant. I kan ryste flasken lidt kraftigere for hver gang.

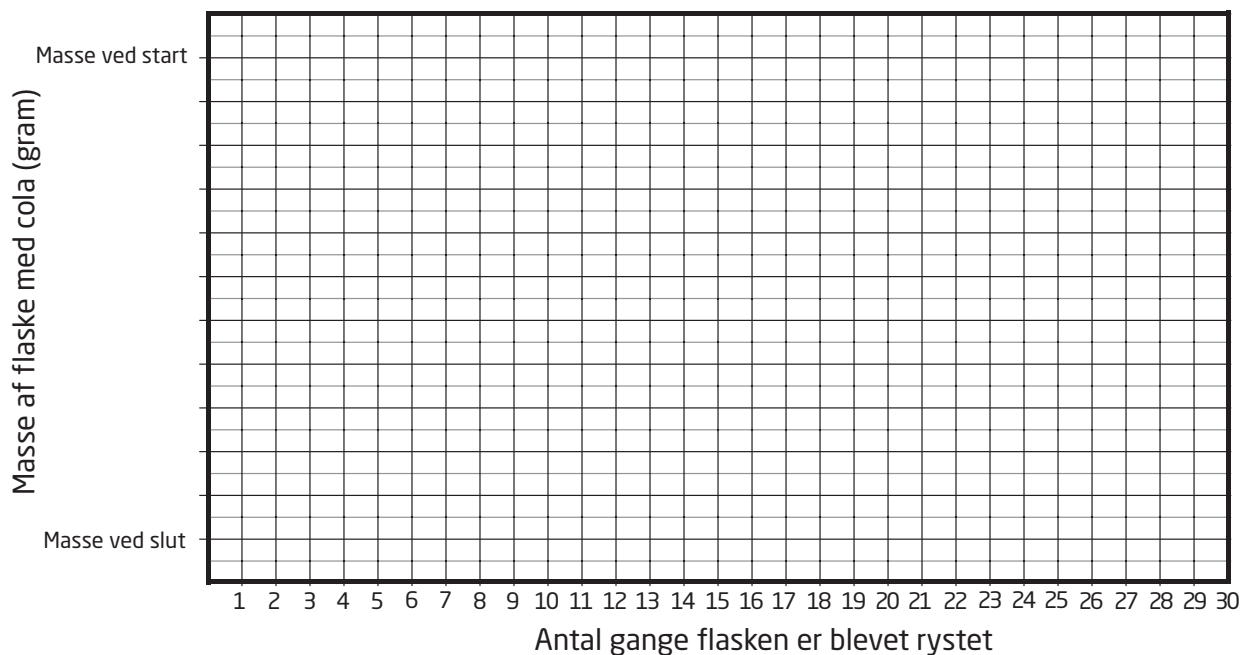
Ryst nummer	(Uåbnet cola)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse/g											

Ryst nummer	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Masse/g										

Ryst nummer	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Masse/g										

**Efterbehandling**

1. Indsæt jeres tal for massen af flaske og cola efter hvert ryst i grafen nedenfor.



2. Udregn det totale massetab i gram.

---

3. Et gram  $\text{CO}_2$  fylder 0,55 liter (ved  $20^\circ\text{C}$  og normalt atmosfærisk tryk). Beregn, hvor mange liter den totale mængde  $\text{CO}_2$  frigivet fra eksperimentet fylder.

---

4. Sammenlign jeres resultater med resten af klassens resultater.

---

---

5. Plastikflasker er ikke 100 % tætte. Derfor siver gassen over tid ud gennem flasken. Hvilken betydning har det for klassens resultater, hvis I bruger colaer med forskellig udløbsdato?

---

6. pH-værdien ændrer sig lidt i løbet af eksperimentet. Hvorfor ændres pH-værdien? Forventer I, at pH-værdien er steget eller faldet?

---

---

7. Hvordan tror I, jeres resultater ville blive, hvis I brugte en meget kold sodavand?  
Tip: Prøv at læse afsnittet 'Kuk i carbonkredsløbet' i elevbogen.

---

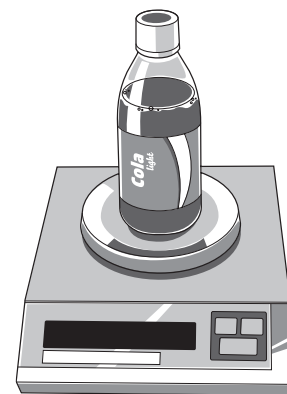
---

## Eksperiment 2.1: Hvor meget CO<sub>2</sub> kan en cola frigive?

### Eksperiment med CO<sub>2</sub> på gasform

#### Baggrundstekst

Afsnittene 'Sodavandsbrus og is, der ikke smelter' og 'Kuk i carbonkredsløbet'



#### Beskrivelse

Eleverne skal finde mængden af den CO<sub>2</sub>, som de kan få ud af colaen ved at ryste flasken. Ved løbende at veje colaen kan de konstatere, at massen falder, hvilket bekræfter, at der er CO<sub>2</sub> opløst i colaen, selvom gassen er usynlig.

#### Forklaringer

CO<sub>2</sub> er opløst i sodavand ved et tryk på ca. to atmosfære. Når flasken åbnes, bruser en del CO<sub>2</sub> ud, idet trykket i flasken udlignes med trykket udenfor. Efter det kortvarige, tydelige brus etablerer der sig en ligevægt mellem CO<sub>2</sub> opløst i væsken og CO<sub>2</sub> på gasform i luften. Ligevægten etableres kun langsomt, fordi dannelsen af CO<sub>2</sub> ikke sker så let frit i væsken. Boblen skal helst have en overflade, som den kan dannes på, eksempelvis en lille urenhed eller ujævnhed på indersiden af flasken. Når eleverne ryster colaflasken, ryster de flere luftbobler ned i væsken. Boblerne forøger den overflade, som CO<sub>2</sub> bliver dannet på. Dermed fremskynder eleverne frigivelsen af CO<sub>2</sub> fra colaen.

Elevernes grafer kan se forskellige ud, afhængigt af hvor kraftigt de ryster flaskerne og dermed, hvor meget CO<sub>2</sub> der slipper ud af flasken per ryst. Efter noget tid flader graferne ud, da der opstår en ligevægt mellem mængden af CO<sub>2</sub> i colaen og i luften.

Opløseligheden af CO<sub>2</sub> (g) i vand er 3,48 g/l ved 0 °C og 1,45 g/l ved 25 °C. Det vil sige, at kold cola (og andre sodavand) kan indeholde mere CO<sub>2</sub> end varm, så hvis eksperimentet blev gentaget med en iskold cola, ville eleverne ikke kunne ryste lige så meget CO<sub>2</sub> ud af colaen. pH stiger lidt under eksperimentet, da mængden af kulsyre falder. Det er dog ikke tilstrækkeligt til, at eleverne kan måle forskel før og efter eksperimentet.

#### Gode råd til eksperimentets udførelse

1. Brug colaer med samme udløbsdato, så mængden af CO<sub>2</sub> er bedst sammenlignelig. CO<sub>2</sub> diffunderer igennem flasker af plastik, så over tid mister colaen noget af bruset.
2. Brug colaer med samme temperatur.
3. Sørg for, at hele klassen bruger samme værdier på y-aksen, så graferne let kan sammenlignes. Den bedste inddeling af akserne besluttet i fællesskab, når målingerne er overstået.
4. Som supplement kan eleverne bygge molekylmodeller af CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O og H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> samt beskrive molekylerne, idet de forklarer, hvad de forskellige kugler og pinde repræsenterer.

#### Fejlkilder

1. CO<sub>2</sub>-gassen, der undslipper fra flasken, kan være mættet med vanddamp og derved give et større vægttab. Dette er dog marginalt.
2. Eleverne kan komme til at spilde cola, når de ryster flasken.

## Eksp. 2.2: Forbrændingsprodukter

### Eksp. om forbrænding

#### Formål

I skal påvise, hvilke stoffer der dannes, når stearin brænder.

#### I skal bruge

Kobbersulfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ )

Mættet kalkvand ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

Isterninger

Bukkede glastrør

Bunsenbrænder

Cylinderglas (250 ml)

Glastragt

Keramisk net

Plastslanger

Porcelænseskål

To propper med to huller

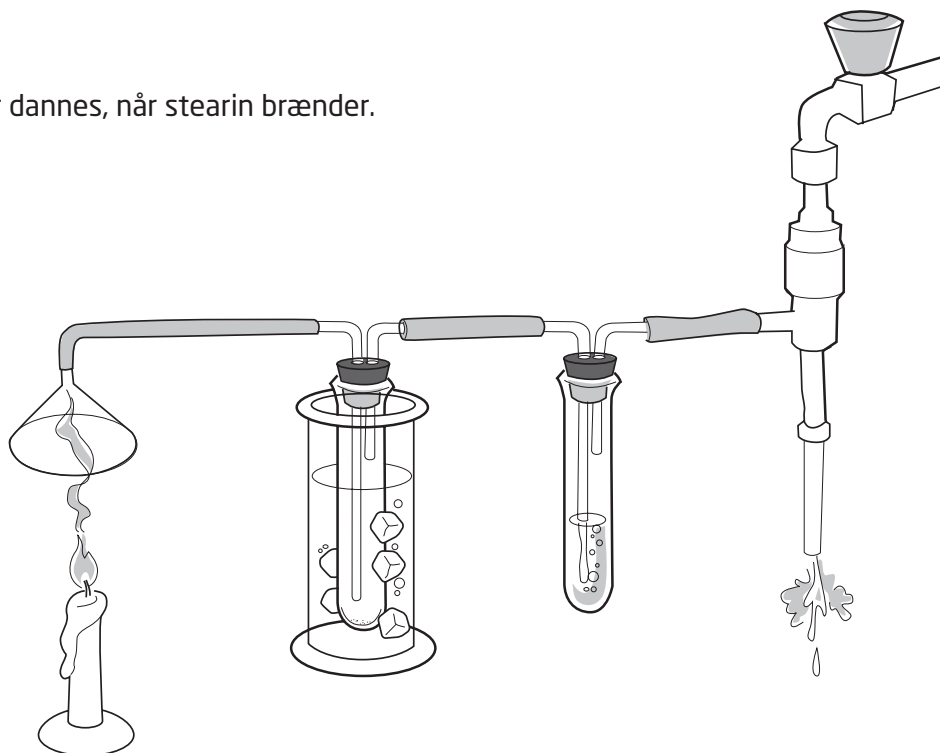
To reagensglas

Spatel

Stearinlys

Trefod

Vandluftpumpe



#### Oplæg

Stearin er en kemisk forbindelse, der blandt andet indeholder grundstofferne carbon (C) og hydrogen (H). Ved forbrænding reagerer stearin med oxygen. Carbonatomerne brænder til carbondioxid ( $\text{CO}_2$ ), og hydrogenatomerne til vanddamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Det samme sker, når man brænder fossile brændstoffer af. De indeholder nemlig også masser af carbon og hydrogen og danner derfor også  $\text{CO}_2$ , når de forbrændes.

I kan påvise  $\text{CO}_2$  med mættet kalkvand. Når I bobler  $\text{CO}_2$  gennem kalkvand, bliver det nemlig uklart. Vandet fra forbrændingen af stearin påviser I med afvandet kobbersulfat, der er gråt. Den grå farve kommer, når man fjerner vand fra det normale, blå kobbersulfat. Når det afvandede kobbersulfat kommer i kontakt med vand, bliver det blåt igen.

#### Sådan gør I

##### Fremstilling af afvandet kobbersulfat

1. Hæld et par spatelfulde blåt kobbersulfat i en porcelænseskål.
2. Sæt skålen på et keramisk net på en trefod, og opvarm skålen med en bunsenbrænder. Rør rundt i skålen med en spatel, til pulveret har mistet den blå farve.

##### Påvisning af $\text{CO}_2$ og $\text{H}_2\text{O}$

3. Hæld lidt afvandet kobbersulfat i et reagensglas.
4. Hæld mættet kalkvand i et andet reagensglas.
5. Byg den viste opstilling. Reagensglasset med kobbersulfat skal være i isvand i et cylinderglas.
6. Tænd stearinlyset, og start vandluftpumpen.

Herved suges forbrændingsprodukterne fra stearinlyset først gennem reagensglasset med afvandet kobbersulfat og derefter gennem glasset med mættet kalkvand. Vandampen fortætter i det kolde reagensglas.

### Efterbehandling

1. Hvad ser I i de to reagensglas?

---

---

2. Forklar jeres iagttagelser:

---

---

3. Hvad er en forbrænding?

---

---

---

4. Prøv at afstemme den simple forbrændingsreaktion af methan (CH<sub>4</sub>):



*Tip: Princippet bag afstemning af reaktionsligninger er, at der altid skal være samme antal af hver type atom på begge sider af reaktionspilen. Hvis der for eksempel er fire hydrogenatomer på venstre side af pilen, det vil sige før reaktionen, skal der også være fire hydrogenatomer på højre side, altså efter reaktionen.*

## Eksp. 2.2: Forbrændingsprodukter

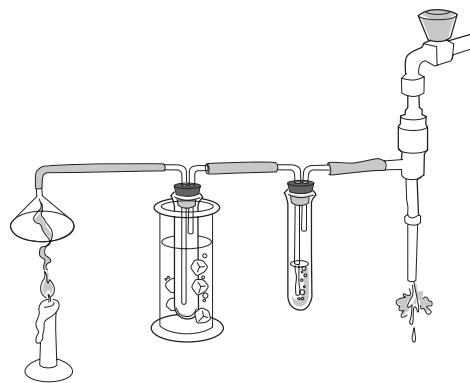
### Eksp. om forbrænding

#### Baggrundstekst

Afsnittet 'Kuk i carbonkredsløbet'

#### Beskrivelse

Dette eksperiment viser, at ved afbrænding af fossile brændstoffer, for eksempel stearin, dannes  $\text{CO}_2$  og vand. Eleverne påviser  $\text{CO}_2$  med mættet kalkvand, mens vanddampen fortættes på et koldt reagensglas og påvises med kobbersulfat.



#### Forklaringer

Stearin indeholder foruden carbon og hydrogen også oxygen. Formlen er  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ . Forbrændingsreaktionen kan skrives som:



Mættet kalkvand fremstilles ved at opløse 1 g calciumoxid i 500 ml demineraliseret vand. Opløsningen filtreres efter nogle timer. Koncentrationen af opløsningen bliver ca. 0,02 mol/l. Når man bobler  $\text{CO}_2$  gennem kalkvand, dannes det faste stof calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) som et bundfald. Reaktionen kan skrives som:



Hvis  $\text{CO}_2$  bobles gennem opløsningen i længere tid, kan bundfaldet genopløses som calciumhydrogencarbonat:



Kobbersulfat kan bruges til påvisning af vand. Rent kobbersulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) er gråt (hvidt), mens det blå kobbersulfat indeholder krystalvand. Formlen er  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ . Ved opvarmning af det blå kobbersulfat fordampes krystalvandet, og farven bliver hvidlig. Ved kontakt med vand kommer den blå farve igen.

Mængden af vand, der fortættes, er lille, da der ikke brændes så meget stearin af. Typisk dannes der blot nogle dråber på indersiden af det kolde reagensglas, som eleverne efterfølgende kan ryste ned på det afvandede kobbersulfat.

#### Gode råd til eksperimentets udførelse

Eksp. kan udvides med forbrænding af andre brændstoffer, eksempelvis et stykke træ, rapsolie (brug en forbrændingsske) eller sukker (dyppet i aske), eventuelt fordelt på de forskellige hold elever. Ved hver afbrænding kan eleverne konstatere dannelsen af  $\text{CO}_2$  og vand og konkludere, at en forbrænding (med undtagelse af rent carbon, det vil sige kul, grafit og diamant) altid fører til dannelsen af disse to produkter. For vejledning omkring udførelsen af disse eksperimenter se eksp. 4.3: Carbon i hverdagen.

## Ekspiriment 2.3: Vand uden brus

### Frivelse af $\text{CO}_2$ fra vand

#### Formål

I skal undersøge frigivelsen af  $\text{CO}_2$  fra dansk vand under opvarmning.

#### I skal bruge

To flasker dansk vand

Bægerglas (1 liter)

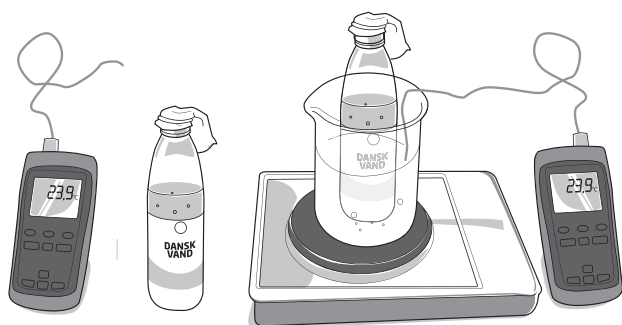
1-2 termometre

To elastikker

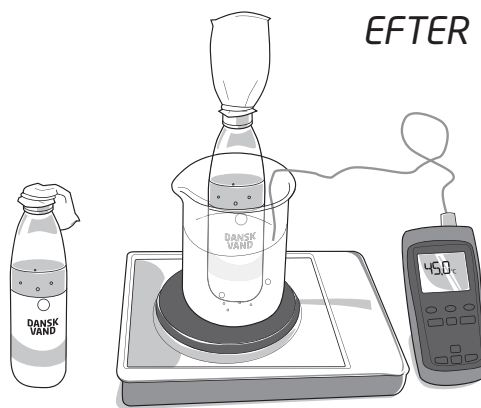
To plastikposer

Varmeplade

FØR



EFTER



Opstillingen ved eksperimentets start (venstre) og afslutning (højre)

#### Oplæg

Boblerne i dansk vand og andre sodavand er  $\text{CO}_2$  på gasform. Under fremstillingen på fabrikken er  $\text{CO}_2$  blevet opløst i vandet under tryk. Når kapslen skrues af flasken, falder trykket i flasken, og noget af gassen frigives. I kan drive mere  $\text{CO}_2$  ud af væsken ved at varme den op. Under opvarmningen kan I opsamle den uddrevne gas i en pose, der sidder på flaskens åbning.

#### Sådan gør I

1. Åbn flaskerne med dansk vand. Sæt plastikposer fast omkring flaskernes åbninger med elastikker.
2. Fyld et bægerglas ca. halvt op med vand, og stil det på en varmeplade.
3. Stil den ene flaske i vandbadet. Plastikposen må ikke kunne nå ned på varmepladen.
4. Mål temperaturen i luften og i vandbadet. Helst med hvert sit termometer.
5. Varm vandbadet op til 40-50 °C ved **svag** varme. Hold hele tiden øje med temperaturen og poserne under opvarmningen. Hvad sker der? Skriv jeres observationer ned.



**Forklaringer**

Når CO<sub>2</sub> opløses i vand, reagerer noget af gassen med vandet, så der opstår en ligevægt:



Der er altså både CO<sub>2</sub> og kulsyre i vandet. Når vandet varmes op, falder opløseligheden af CO<sub>2</sub>, så det frigives fra væsken som bobler. Under opvarmningen forskydes reaktionen derfor mod venstre, indtil der igen opstår en ligevægt mellem CO<sub>2</sub> og kulsyre, men nu med mindre kulsyre i vandet. Vandet er blevet 'fladt'.

**Efterbehandling**

1. Hvordan viser forsøget, at der frigives gas fra vandet?

---

---

2. Hvis verdenshavene bliver varmere, hvordan vil det så påvirke mængden af CO<sub>2</sub> opløst i havene?

---

---

3. Nogle verdenshave optager typisk CO<sub>2</sub>, mens andre typisk frigiver CO<sub>2</sub>. Kan du forklare, hvorfor der er forskel? Og kan du give nogle eksempler? Du kan bruge et verdenskort til at finde ud af, hvor de forskellige verdenshave ligger.

---

---

---

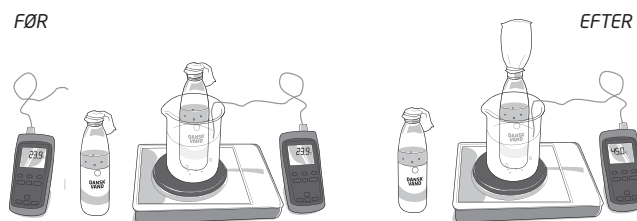
4. Hvor ender CO<sub>2</sub> frigivet fra verdenshavene?

---

---

## Eksperiment 2.3: Vand uden brus

### Frigivelse af $\text{CO}_2$ fra vand



### Baggrundstekst

Afsnittet 'Kuk i carbonkredsløbet' (Kulsyre i havvand)

### Beskrivelse

Når eleverne varmer danskvand op i et vandbad, frigiver danskvandet hurtigere  $\text{CO}_2$  end den kolde danskvand, som de sammenligner med. Forskellen måles ved at montere plastikposer omkring åbningen på begge flasker. Posen på den varme danskvand bliver i løbet af forsøget 'pustet' op, men den anden pose forbliver flad. Øvelsen demonstrerer, at opløseligheden af  $\text{CO}_2$  i vand afhænger af vandets temperatur.

### Forklaringer

#### Opløseligheden af $\text{CO}_2$ i vand

Når  $\text{CO}_2$  opløses i vand, danner  $\text{CO}_2$  svage bindinger til vandmolekylerne. Hvis temperaturen i vandet stiger, mindskes styrken af bindingerne og dermed også mængden af opløst  $\text{CO}_2$ . Dette princip gælder for alle vandopløselige gasser. Opløseligheden af  $\text{CO}_2$  i vand er 3,48 g/l ved 0 °C og 1,45 g/l ved 25 °C.

$\text{CO}_2$  opløses i sodavand og danskvand ved et tryk på ca. to atmosfære. Når flasken åbnes, falder trykket. Derfor bruser en del  $\text{CO}_2$  ud, indtil der opstår en ligevægt mellem  $\text{CO}_2$  opløst i væsken og  $\text{CO}_2$  på gasform i luften. Efter det kortvarige, tydelige brus etablerer ligevægten sig dog kun langsomt, fordi dannelsen af  $\text{CO}_2$  frit i væsken ikke sker så let. Når sodavand, danskvand eller andre kulsyreholdige væsker varmes op, falder opløseligheden, og  $\text{CO}_2$  frigives derfor hurtigere fra væsken. Vandet bliver 'fladt'.

#### Verdenshavene som $\text{CO}_2$ -reservoir

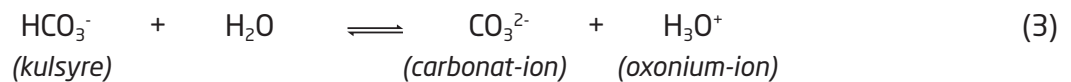
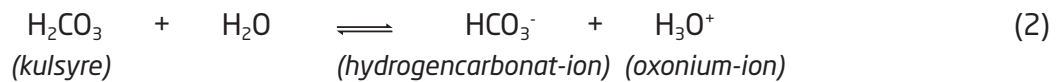
Verdenshavene spiller en vigtig rolle for reguleringen af mængden af  $\text{CO}_2$  i atmosfæren og dermed også for drivhuseffekten. Når  $\text{CO}_2$  er opløst i vand, tilbageholder det nemlig ikke længere varme i atmosfæren. I relation til global opvarmning kan varmere have blive en del af en 'ond cirkel' (hvis vi kun ser på temperaturens betydning). Hvis opløseligheden af  $\text{CO}_2$  i havene falder, kan det medføre højere koncentration af  $\text{CO}_2$  i atmosfæren, hvilket kan resultere i mere drivhuseffekt, som igen kan medføre endnu varmere have, hvorefter cyklussen starter forfra.

Bevægelsen af  $\text{CO}_2$  frem og tilbage mellem atmosfæren og verdenshavene påvirkes dog ikke blot af verdenshavenes temperatur, men også af deres dybde, bølger og vindhastigheder på havoverfladen og mængden af mikroskopiske planter og dyr i havet. Bevægelsen påvirkes naturligvis også af mængden af  $\text{CO}_2$  i atmosfæren, der igen påvirkes af naturlige og menneskeskabte aktiviteter på landjorden. Derfor er  $\text{CO}_2$ -balancen ikke noget simpelt regnestykke.

Generelt gælder der dog, at  $\text{CO}_2$  bevæger sig hurtigt frem og tilbage mellem havene og atmosfæren, når der er en forskel i  $\text{CO}_2$ 's gstryk i de to 'rum'. Havene kan indeholde meget mere  $\text{CO}_2$  end atmosfæren, fordi det meste af den opløste  $\text{CO}_2$  reagerer med vand og derved danner kulsyre og dissociationsprodukterne hydrogencarbonat-, carbonat- og oxonium-ioner\*:



$\text{H}_2\text{CO}_3$  er en syre med to protoner ( $\text{H}^+$ ), og syren reagerer yderligere med vand gennem to trin:



*\*Bemærk, at opløsningen af  $\text{CO}_2$  i elevvejledningen er beskrevet i en forenklet version.*

Reaktionerne sænker  $\text{CO}_2$ 's gstryk i vandet, og dermed kan der opløses endnu mere  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren i havene. Da opløseligheden af  $\text{CO}_2$  er størst i koldt vand, optager have på de nordlige breddegrader typisk  $\text{CO}_2$ , mens have ved de sydlige breddegrader frigiver  $\text{CO}_2$ .

### Gode råd til eksperimentets udførelse

1. Hvis eleverne instrueres i at varme danskvanden højere op end til den her angivne temperatur, bør de før forsøget hælde lidt væske ud af flaskerne. Dette er nødvendigt, fordi væsken udvider sig ved opvarmning, og fordi plastikflaskerne bliver blødere og dermed kan trække sig sammen.
2. I stedet for plastikposer kan eleverne bruge små balloner. De vil kunne få ballonen på den opvarmede flaske til at rejse sig, men trykket er dog ikke højt nok til at spile ballonen ud.
3. Til diskussionen om verdenshavenes optag og frigivelse af  $\text{CO}_2$  kan læreren vise eleverne et verdenskort, hvor de kan se de forskellige haves geografiske placering.

## Ekspiriment 2.4: Surt vand

### Undersøgelse af opløseligheden af $\text{CO}_2$ i vand

#### Formål

I skal undersøge opløseligheden af  $\text{CO}_2$  i vand ved forskellige temperaturer ved at måle pH-værdien.

#### I skal bruge

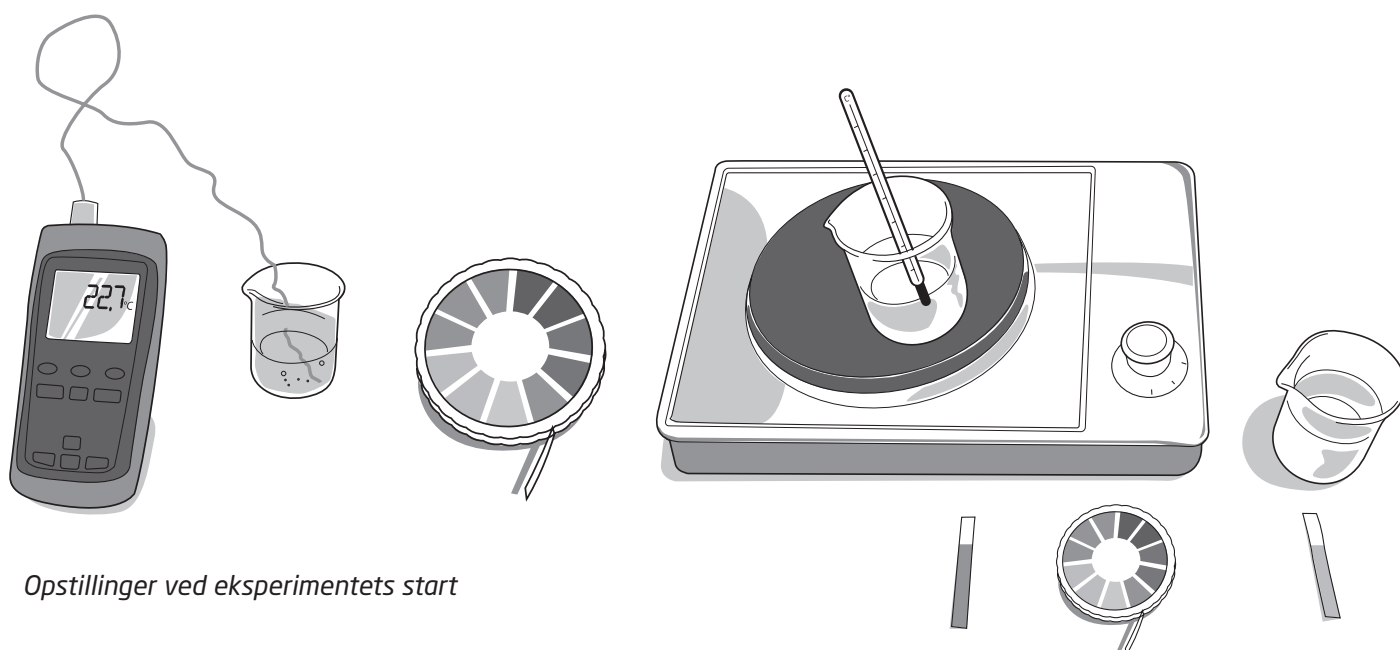
200 ml danskvand

Indikatorpapir

Termometer

To bægerglas (100 ml)

Varmeplade



Opstillinger ved eksperimentets start

#### Oplæg

$\text{CO}_2$  opløst i vand kaldes kulsyre, fordi  $\text{CO}_2$  gør vandet surt. I skal undersøge, hvordan indholdet af  $\text{CO}_2$  i vand ændrer sig, når I varmer vandet op. Ændringen måler I ved at måle pH-værdien. pH er et mål for surhedsgraden af en opløsning og måles med en indikatorstrimmel, hvor farven angiver pH.

#### Sådan gør I

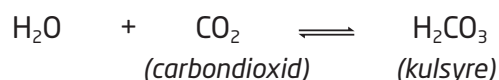
1. Hæld 100 ml danskvand i hvert af de to bægerglas.
2. Mål temperaturen med termometret.
3. Mål pH-værdien med en indikatorstrimmel.
4. Lad bægerglas nr. 1 stå, og stil bægerglas nr. 2 på en varmeplade. Varm dansk vandet op til kogepunktet.
5. Mål igen temperatur og pH-værdi i begge glas.
6. Sluk varmepladen, og lad dansk vandet i bægerglas nr. 2 køle af. Vandet i bægerglas nr. 2 må højst være fem grader varmere end dets temperatur ved eksperimentets begyndelse. I kan evt. fremskynde afkølingen ved at sætte glasset i et koldt vandbad eller i koldt vand i en vask med flad bund og prop.
7. Når bægerglas nr. 2 er kølet af, måles igen temperatur og pH-værdi i begge bægerglas.

Bægerglas	Tidspunkt for måling	Temperatur	pH
Bægerglas nr. 1	Ved eksperimentets start (punkt 1)		
Bægerglas nr. 1	Under henstand (punkt 5)		
Bægerglas nr. 1	Ved eksperimentets afslutning (punkt 7)		
Bægerglas nr. 2	Ved eksperimentets start (punkt 1)		
Bægerglas nr. 2	Under opvarmning (punkt 5)		
Bægerglas nr. 2	Ved eksperimentets afslutning (punkt 7)		

### Forklaring

CO<sub>2</sub> fra atmosfæren bliver langsomt opløst i verdenshavene. På den måde spiller havene en vigtig rolle i reguleringen af mængden af fri CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

Når CO<sub>2</sub> opløses i vand, reagerer noget af den med vandet, så der opstår en ligevægt:



Der er altså både CO<sub>2</sub> og kulsyre i vandet. Når vandet varmes op, falder opløseligheden af CO<sub>2</sub>, så den frigives fra væsken som bobler. Under opvarmning forskydes ligevægten derfor mod venstre. Når dansk-vandet igen er afkølet, er der mindre kulsyre i, og dette får pH-værdien til at stige.

### Efterbehandling

1. I hvilket af de to bægerglas er pH størst efter eksperimentet?

---

---

2. Hvad viser eksperimentet om opløseligheden af CO<sub>2</sub> i vand ved forskellige temperaturer?

---

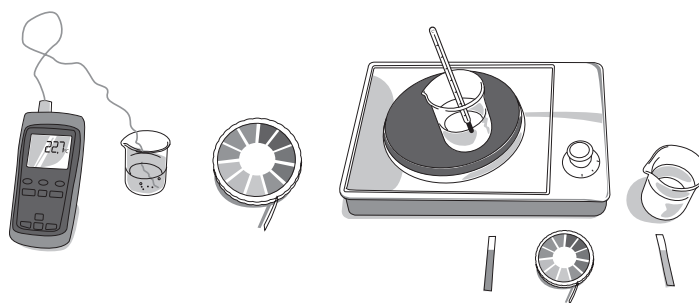
---

## Ekspæriment 2.4: Surt vand

Undersøgelse af opløseligheden af  $\text{CO}_2$  i vand

### Baggrundstekst

Afsnittet 'Kuk i carbonkredsløbet' (Kulsyre i havvand)



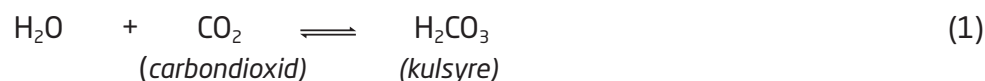
### Beskrivelse

Ekspærimentet demonstrerer, at opløseligheden af  $\text{CO}_2$  falder i varmt vand. Det kan måles som en stigning i pH, fordi mængden af opløst  $\text{CO}_2$  i danskvand (kulsyre) falder. Forskellen registreres ved at måle pH-værdien af de to væsker før, under og efter opvarmningen af den ene danskvand.

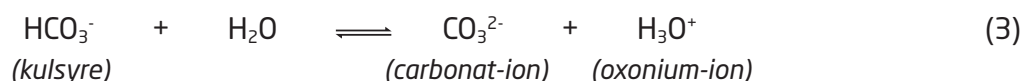
### Forklaringer

Opløseligheden af  $\text{CO}_2$  falder, når temperaturen stiger, fordi bindingerne mellem  $\text{CO}_2$  og vandmolekylerne bliver svagere, når temperaturen stiger. Dette princip gælder for alle vandopløselige gasser.

Bemærk, at opløsningen af  $\text{CO}_2$  i vand er beskrevet i en forenklet version i elevvejledningen. Den fulde reaktion er følgende:



$\text{H}_2\text{CO}_3$  er en syre med to protoner ( $\text{H}^+$ ), og syren reagerer yderligere gennem to trin med vand:



Der er altså både  $\text{CO}_2$ , kulsyre, hydrogencarbonat-, carbonat- og oxonium-ioner i vandet. Det er dannelsen af  $\text{H}_3\text{O}^+$  (oxonium-ionen), der medfører, at opløsningen bliver mere sur. Når sodavand, danskvand og andre kulsyreholdige væsker varmes op, falder opløseligheden af  $\text{CO}_2$ , så den frigives fra væsken som bobler. Under opvarmning forskydes begge reaktioner derfor mod venstre, indtil der igen opstår en ligevægt mellem  $\text{CO}_2$ , kulsyre og kulsyrens ionformer, men nu med mindre kulsyre og dermed  $\text{H}_3\text{O}^+$  i vandet. Vandet er blevet mindre surt.

### Fejlkilder

Ovenstående forklaring er forsimplet, idet vi kun tager højde for temperaturen. Eksperimentet forstyrres imidlertid af flere komplikationer:

1. Da pH-værdien i sig selv er temperaturafhængig, kan vi ikke bare sammenligne den ved to forskellige temperaturer og tage det som mål for CO<sub>2</sub>-indholdet.
2. pH-værdien for det opvarmede danskvand vil typisk være højere efter afkølingen end ved eksperimentets start, men lavere end pH-værdien målt under opvarmningen:

$$\text{pH (start)} < \text{pH (afkøling)} < \text{pH (opvarmning)}$$

Når danskvandet varmes op, tvinges CO<sub>2</sub> ud af væsken, fordi opløseligheden af CO<sub>2</sub> falder og pH stiger. Når danskvandet efterfølgende afkøles, stiger opløseligheden igen, og pH falder en smule. Vi kan dog aldrig genopløse lige så meget CO<sub>2</sub>, som der var i den uåbnede flaske. Dette skyldes, at CO<sub>2</sub> er påfyldt danskvandet under et højere tryk end det atmosfæriske.

3. pH-værdien vil over tid også stige i den uopvarmede danskvand, fordi CO<sub>2</sub> er påfyldt under tryk. Det høje tryk har forskudt ligevægten kunstigt mod kulsyre i den uåbnede flaske. I den åbne flaske vil ligevægten indstille sig i en ny venstreforskudt ligevægt. Når vi alligevel kan måle en "lav" pH-værdi, efter at flasken er åbnet, skyldes det, at CO<sub>2</sub> kun frigives langsomt, og ligevægten derfor er længe om at indstille sig. Hvis den uopvarmede danskvand får lov til at stå flere timer, bør en stigning i pH kunne måles.

*Eksempel på resultater af et eksperiment:*

Bægerglas	Tidspunkt for måling	Temperatur	pH
Bægerglas nr. 1	Ved eksperimentets start	22,7	6
Bægerglas nr. 1	Under henstand (punkt 5)	23	6,3
Bægerglas nr. 1	Ved eksperimentets afslutning (efter 2 t)	23,4	6,5
Bægerglas nr. 2	Ved eksperimentets start	22,7	6
Bægerglas nr. 2	Under opvarmning	100	8,5
Bægerglas nr. 2	Ved eksperimentets afslutning (efter 2 t)	26,5	7,5*

\* Bemærk, at pH-værdien falder en hel enhed under afkølingen.

## Eksperiment 2.5: Kvæl flammen

### *Eksperiment med en tung luftart*

#### **Formål**

I skal vise, at luftarten  $\text{CO}_2$  er tungere end almindelig luft. I skal desuden undersøge, om  $\text{CO}_2$  kan brænde.

#### **I skal bruge**

Fortyndet eddikesyre ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) (5-7 %)

Natron ( $\text{NaHCO}_3$ )

Bægerglas (100 ml)

Fyrfadslys

Konisk kolbe (250 ml)

Tændstikker

Evt. nogle molekylebyggesæt



#### **Oplæg**

Når et materiale brænder, reagerer det med oxygen i luften.

Hvis man fjerner oxygen, kan materialet ikke brænde.

I dette eksperiment skal I først fremstille  $\text{CO}_2$  ved en reaktion mellem natron og eddikesyre. Dernæst skal I prøve at erstatte oxygen i et glas med  $\text{CO}_2$  og undersøge, hvordan  $\text{CO}_2$  påvirker forbrændingen.  $\text{CO}_2$  vejer halvanden gang så meget som almindelig luft. Hvis I har nok  $\text{CO}_2$ , kan I derfor skubbe al luften og dermed også oxygen ud af glasset.

#### **Sådan gør I**

1. Tænd et fyrfadslys, og sæt det forsigtigt ned i bægerglasset. Stil bægerglasset til side.
2. Hæld to store spatelfulde (2 g) natron i en kolbe.
3. Afmål 25 ml eddike, og hæld det i kolben. Stil straks kolben roligt på bordet, og rør ikke mere ved den. Hvad sker der?
4. Når væsken ikke længere bruser så kraftigt, bærer I forsigtigt kolben hen til bægerglasset med lyset.
5. Hæld langsomt den usynlige luft fra kolben ned i bægerglasset, mens I holder øje med lyset. Hvad sker der?
6. Prøv at tænde lyset igen.
7. Hæld forsigtigt den usynlige luft ud af bægerglasset, uden at lyset falder ud.
8. Prøv igen at tænde lyset.



**Efterbehandling**

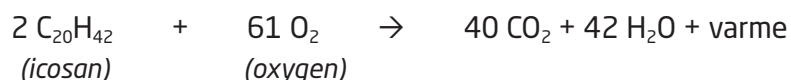
1. Hvad er en forbrænding?

---



---

2. Fyrfadslys indeholder forskellige tunge carbonhydrider, det vil sige molekyler, der udelukkende består af carbon og hydrogen. Et eksempel på et carbonhydrid er stoffet icosan. Icosan reagerer således med luftens oxygen:



Forklar ved hjælp af reaktionsskemaet, hvorfor lyset gik ud.

---



---

3. Hvorfor slukkes flammen ikke, hvis man hælder den usynlige luft alt for langsomt ned i glasset?

---

4. Når lyset brænder, udvikler det CO<sub>2</sub>. Hvorfor slukker lyset så ikke sig selv?

---

5. Kan CO<sub>2</sub> bruges som brandslukker?

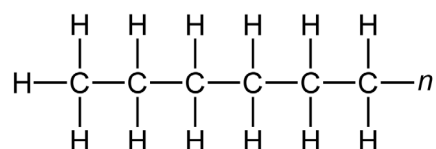
---

6. Hvorfor tror I, at for meget CO<sub>2</sub> kan være farlig for dyr og mennesker?

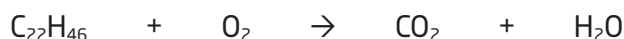
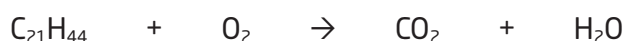
---

7. Prøv at bygge et icosanmolekyle ved hjælp af nogle molekylebyggesæt.

Brug stregformlen nedenfor som model. *n* betyder, at molekylet fortsætter med mange carbonatomer.



8. Fyrfadslys kan også indeholde C<sub>21</sub>H<sub>44</sub> (hencosan) og C<sub>22</sub>H<sub>46</sub> (docosan). Afstem reaktionsskemaerne for disse nedenfor:



*Tip: Princippet bag afstemning af reaktionsligninger er, at der altid skal være samme antal af hver type grundstofatom på begge sider af reaktionspilen, det vil sige både før og efter reaktionen. Hvis der for eksempel er fire hydrogenatomer på venstre side af pilen, skal der også være fire hydrogenatomer på højre side.*

## Eksperiment 2.5: Kvæl flammen

*Eksperiment med en tung luftart*

### Baggrundstekst

*Afsnittene 'Forslag 2: Gem gassen af vejen' og 'Gas og gys i Cameroun'*



### Beskrivelse

Eksperimentet demonstrerer, at CO<sub>2</sub> er en tung gas, og at en forbrænding kræver tilstedeværelse af oxygen. Konklusionen er, at CO<sub>2</sub> fortrænger oxygen, og at CO<sub>2</sub> kan slukke ild, fordi den ikke kan brænde.

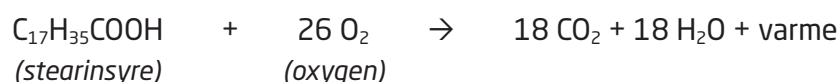
### Forklaringer

Densiteten af CO<sub>2</sub> er over 50 % højere end luftens densitet. Ved 25 °C og atmosfærisk tryk er CO<sub>2</sub>'s densitet 1,80 g/l, mens luftens er 1,18 g/l.

Forklaringen om nødvendigheden af oxygen for en forbrænding og tunge gassers evne til at fortrænge oxygen kan suppleres med en forklaring af, hvordan en CO<sub>2</sub>-brandslukker fungerer. Sådanne brandslukkere indeholder CO<sub>2</sub>-gas under meget højt tryk. Faktisk så højt, at gassen fortættes til væske. Når man åbner flasken, strømmer væsken ud med meget høj hastighed. Væsken fordamper, og gassen fortrænger oxygen fra det område, man sprøjter på.

Grunden til, at lyset ikke slukker sig selv, selvom det udvikler CO<sub>2</sub>, er, at varmen fra flammen skaber en opadgående luftstrøm, som bærer CO<sub>2</sub> væk fra flammen og ud af glasset. Derved strømmer der hele tiden frisk luft og dermed også oxygen ned langs indersiden af bægerglasset.

Bemærk, at de fleste fyrfadslys ikke indeholder stearin, men hvis man ønsker at tale om "rigtige" stearinlys, så indeholder de stearinsyre, der reagerer således med luftens oxygen:



CO<sub>2</sub>'s høje densitet kan udnyttes til brandslukning, men den gør også gassen potentielt farlig for dyr og mennesker. I vulkanske områder findes flere steder lokale "Dødens Dale". Det er lavninger, hvor udsivende CO<sub>2</sub> fra vulkanerne samles og kan kvæle mindre dyr. På bryggerier, hvor der dannes CO<sub>2</sub> ved gæring, er man meget påpasselige med kældre, hvor CO<sub>2</sub> kan hobe sig op.

### Fejkilder

Hvis eleverne hælder CO<sub>2</sub>-gassen for langsomt ned i glasset, kan den almindelige luft og dermed oxygen nå at blande sig med CO<sub>2</sub>, så lyset bliver ved med at brænde.

## Eksperiment 2.6: Gas i vand

*Eksempel på, hvordan man indfanger CO<sub>2</sub> fra vand*

### Formål

I dette eksperiment skal I prøve at indfange CO<sub>2</sub> ved at lade den reagere med natriumhydroxid (NaOH).

### I skal bruge

Rød CO<sub>2</sub>-indikator

Natriumhydroxid (NaOH) (0,1 M)

CO<sub>2</sub> fra trykflaske

eller fra en gasudvikler med natron (NaHCO<sub>3</sub>) og eddikesyre (CH<sub>3</sub>COOH)

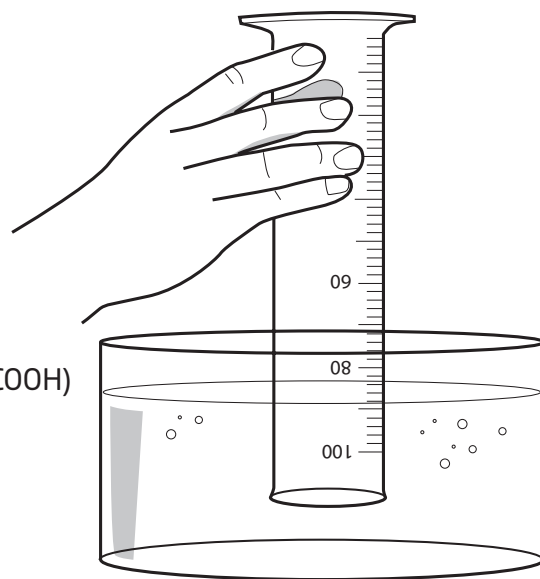
Vand

Bægerglas (250 ml)

Måleglas (100 ml)

Sikkerhedsbriller

Evt. et molekylebyggesæt



### Oplæg

Hvis en gas er usynlig, skyldes det, at den ikke absorberer synligt lys. I stedet passerer lyset lige igennem den. Derfor må vi bruge indirekte tegn for at vise, at gassen er til stede. For eksempel kan du 'se' luft, når du pumper din cykel. Dækket bliver hårdt, fordi du fylder det med luftmolekyler.

I dette eksperiment skal I vise tilstedeværelsen af rent carbondioxid, det vil sige CO<sub>2</sub>-gas, ved hjælp af indirekte tegn. Dernæst skal I indfange CO<sub>2</sub> ved at lade den reagere med NaOH i et lukket måleglas.

### Sådan gør I

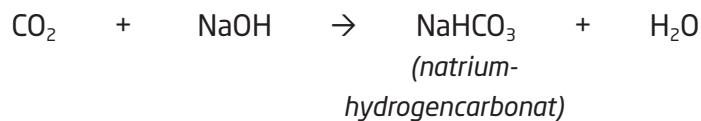
1. Hæld 15 ml indikator i en halv liter vand i et bægerglas.
2. Hæld 10 ml NaOH i vandet.
3. Før en slange fra trykflasken med CO<sub>2</sub> ned i et 100 ml måleglas. Fyld glasset op med CO<sub>2</sub>. I stedet for en trykflaske med CO<sub>2</sub> kan I bruge en gasudvikler.
4. Sæt en prop i måleglasset. Proppen skal sidde løst, så den let kan vippes af igen.
5. Vend hurtigt glasset på hovedet, så det står med åbningen nedad i bægerglasset.
6. Proppen vippes af mod bægerglassets side. Bevæg måleglasset fra side til side med små bevægelser. Hvad sker der?

---

### Forklaringer

CO<sub>2</sub> opløst i vand kaldes også kulsyre. Syren påvirker vandets pH-værdi, og ændringen i pH kan ses med en indikator. Når indikatoren skifter farve fra rød til gulorange, er det tegn på, at CO<sub>2</sub> er blevet opløst i vandet. Et andet tegn på, at CO<sub>2</sub> bliver opløst, er, at der stiger vand op i måleglasset.

Opløsningen af  $\text{CO}_2$  i vand foregår ikke særlig hurtigt, men vi kan sætte skub i reaktionen både ved at tilsætte  $\text{NaOH}$  og ved at ryste glasset.  $\text{CO}_2$  reagerer med  $\text{NaOH}$  og danner natriumhydrogencarbonat efter følgende reaktion:



Når vi ryster glasset, laver vi en større vandoverflade. Den større vandoverflade giver et større kontaktareal mellem  $\text{CO}_2$ -gassen og væsken.

### Efterbehandling

1. Hvorfor skifter væsken i måleglasset farve, når I ryster det?

---

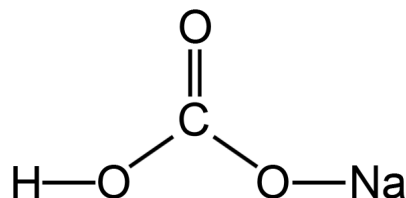
---

2. Hvorfor stiger vandet op i måleglasset?

---

---

3. Prøv at bygge natron og et kulsyre molekyle ved hjælp af et molekylebyggesæt. Brug stregformlen for natron nedenfor som model.



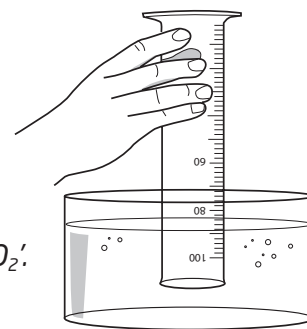
4. Hvad er forskellen på de to stoffers sammensætning?

---

---

## Eksp. 2.6: Gas i vand

*Eksempel på, hvordan man indfanger CO<sub>2</sub> fra vand*



### Baggrundstekst

*Afsnittene 'Forslag 2: Gem gassen af vejen' og 'Forslag 4: Få det bedste ud af CO<sub>2</sub>'*

### Beskrivelse

Eleverne viser, at usynlig CO<sub>2</sub>-gas, som er opløst i en væske, kan påvises ved ændringer i pH. Eksperimentet demonstrerer, at opløst CO<sub>2</sub> kan indfanges ved at lade gassen reagere med en base, i dette tilfælde NaOH. Når opløst CO<sub>2</sub> reagerer med NaOH, dannes der en opløsning af natriumhydrogencarbonat. I princippet kunne man efterfølgende inddampe opløsningen og dermed indfange CO<sub>2</sub> på fast form som natron.

### Forklaringer

*Indfangning af CO<sub>2</sub>*

I den fjerde rapport (2007) fra FN's Klimapanel IPCC konkluderer panelet, at verdens CO<sub>2</sub>-udledning bør sænkes med 50-80 %, hvis vi vil undgå de mest skadelige påvirkninger af vores klima. I afsnittene fra elevbogen anført under 'Baggrundstekst' beskrives to metoder til at fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren: Enten ved at gemme CO<sub>2</sub> af vejen i underjordiske reservoirer og/eller ved at bruge CO<sub>2</sub> som råmateriale for carbonholdige materialer. Det sidstnævnte er en del af forskningen i CASE. Begge metoder udfordres dog af det vanskelige ved at indfange CO<sub>2</sub> fra forbrændingen i blandt andet bilmotorer, på fabrikker og kraftværker. Ifølge en rapport fra Europa-Kommissionen fra 2004 repræsenterer indfangningen af CO<sub>2</sub> eksempelvis 70-80 % af udgifterne i forbindelse med CO<sub>2</sub>-lagring under jorden. Derfor har det stor betydning for begrænsningen af CO<sub>2</sub>-udledningen, at der udvikles billigere metoder til at indfange CO<sub>2</sub>.

### Gode råd til eksperimentets udførelse

*Gasudvikler*

I eksperimentet kan eleverne bruge CO<sub>2</sub> fra en gasudvikler, som laves ved at blande natron (NaHCO<sub>3</sub>) og eddikesyre (CH<sub>3</sub>COOH) i en sprøjteflaske.

Materialer:

50 ml fortyndet eddikesyre (1:4, dvs. 5-7 %)

1 tsk. natron (strøget mål)

1 stk. plastikslange, ca. 30 cm

1 tom 500 ml sprøjteflaske

Monter den ene ende af en slange i proppen af en tom 500 ml sprøjteflaske. Stik slangens anden ende ned i måleglasset fra eksperimentet. Skru låget af sprøjteflasken, og hæld en teskefuld natron ned i flasken. Hæld 50 ml eddikesyre i, og skru straks låget på. Fyld måleglasset med CO<sub>2</sub>.