

# Fra miljøsynder til eftertragtet råstof

## Kan vi lave brændstof af CO<sub>2</sub>?

Meget tyder på, at Jorden er ved at få et hedeslag, fordi vi udleder for meget CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Hvis vi kan lave CO<sub>2</sub> om til brændstoffer, kan det lille molekyle i stedet blive et eftertragtet råstof. Det kan du læse om i dette kapitel.

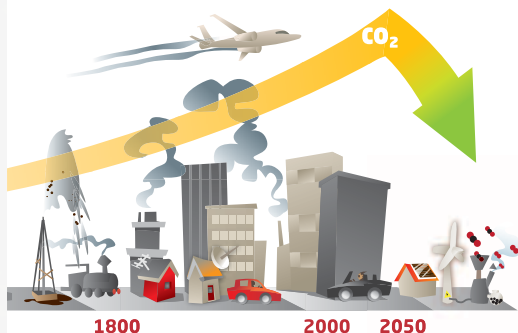
**CO<sub>2</sub>**

Netop nu i forskningen:  
CO<sub>2</sub> skal være vores nye  
kilde til brændstof.



## Fire fede forslag i kampen mod CO<sub>2</sub>

# 32



## Forskerens udfordring: 40

Nadia drømmer om kemi og kærlighed



## Gyser fra den virkelige verden:

# 34

Kvæg og mennesker kvalt af CO<sub>2</sub>

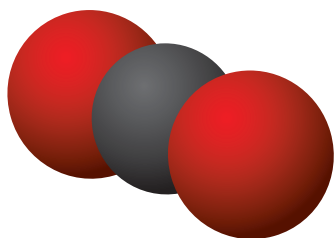


## Hvad sker der i dette kapitel?

- ☛ CO<sub>2</sub> skifter tilstandsform mellem gas, væske og fast stof.
- ☛ Carbon er i kredsløb mellem vand og luft, planter, dyr og mennesker.
- ☛ Energi skifter form igen og igen.
- ☛ Når energi skifter form, går noget af den ofte til spilde som varme.
- ☛ Drivhuseffekten afslører sin gode og sin grumme side.
- ☛ Jorden bliver varmere på grund af mere CO<sub>2</sub> i atmosfæren.
- ☛ Vi prøver at bruge energien mere effektivt.
- ☛ Forskerne forsøger at trække carbonatomet ud af CO<sub>2</sub>.
- ☛ Forskerne vil omdanne vindenergi til kemisk energi i carbonkæder.

**Forskerne foreslår:**  
Få det bedste ud af CO<sub>2</sub>

**37**



## Indhold – Kapitel 2

Introduktion: Det store CO <sub>2</sub> -eksperiment	24
Sodavandsbrus og is, der ikke smelter	26
Jordens lune tæppe	26
Carbons jordomrejse	28
Kuk i carbonkredsløbet	30
Fire fede forslag	32
Forskerens udfordring: Kemi og kærlighed	40
Kan du arbejde som forsker?	41
Resume: Fremtidens eftertragtede råstof	42
Det ved du nu	43
Test dig selv	43



**Danske forskere sender  
'katte' til oiliefelter**

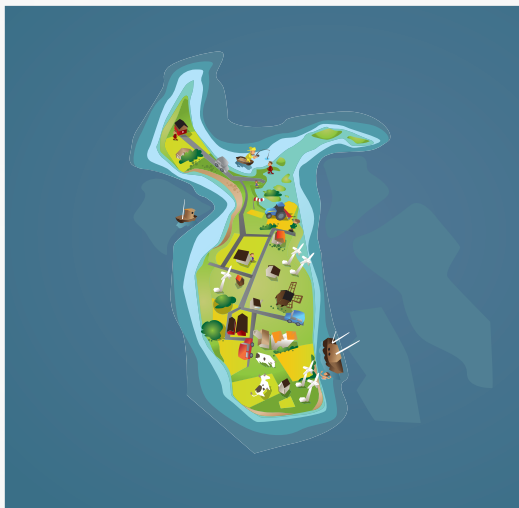
**33**



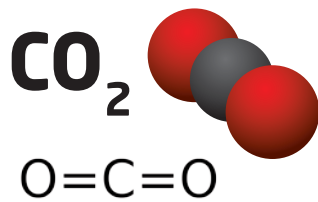
**Stolte øboere:**

**36**

"Sådan gjorde vi Samsø CO<sub>2</sub>-neutral"



Ethanol



**Carbondioxid** (CO<sub>2</sub>) består af et carbonatom (sort) og to oxygenatomer (røde).

## Det store CO<sub>2</sub>-eksperiment

*Wuhuu! Et sted ude i fremtiden er der en forsker, som jubler. Det er lykkedes hende at løse to problemer, som forskerne har kæmpet med i årtier. Hvordan kommer vi CO<sub>2</sub>-forureningen til livs, og hvordan slipper vi af med de fossile brændstoffer? Den unge forsker er overlykkelig. Hun har opfundet en metode til at bruge CO<sub>2</sub> fra luften til at lave miljøvenlige brændstoffer. Nu kan hun være med til at løse et af verdens største klimaproblemer. Måske bliver opfindelsen endda opkaldt efter hende!*

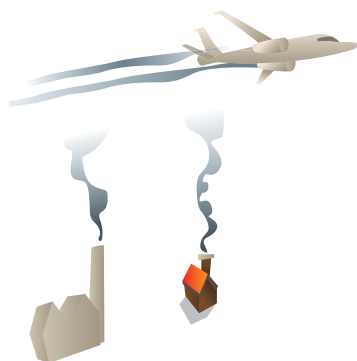
En af de vigtigste forudsætninger for vores moderne industrisamfund er udnyttelsen af *fossile brændstoffer* som olie, kul og naturgas. Disse stoffer består primært af lange kæder af carbon og hydrogen, som man kalder hydrocarbonkæder eller bare *carbonkæder*. Når vi brænder dem af, bliver der frigivet masser af energi, som vi kan bruge i biler og fly, som varme i vores huse og til at lave strøm. Carbonkæderne kan også laves om til kemikalier og plastik.

Men medaljen har desværre en bagside: Uanset hvad vi bruger de fossile brændstoffer til, ender vi i sidste ende altid med at lave CO<sub>2</sub>, der slipper ud i *atmosfæren*. I dag ved vi, at Jorden er blevet varmere i løbet af de sidste hundrede år, og at det sandsynligvis skyldes de store mængder CO<sub>2</sub>, som dannes, når vi brænder olie, kul og naturgas af. Der er desuden enighed om, at temperaturen fortsat vil stige, hvis vi ikke skruer kraftigt ned for udledningen af CO<sub>2</sub>. I Danmark forventer miljøforskere, at klimaet bliver vådere og varmere med flere kraftige storme og regnskyl. Ingen kan dog med sikkerhed forudsige konsekvenserne af, at der bliver varmere på Jorden. Men

det er helt sikkert et stort og risikabelt CO<sub>2</sub>-eksperiment, vi deltager i.

Men hvad nu hvis vi kunne bruge CO<sub>2</sub> til noget? Forestil dig, at man kunne opsamle CO<sub>2</sub> fra eksempelvis fabriksrøg, vriste carbonatomerne fri og samle dem til nye kæder af carbon, akkurat som når du trækker perler på en snor. Hvis det kan lade sig gøre, kan vi erstatte nogle af vores fossile brændstoffer med de nye carbonkæder og bruge dem til alt fra 'grøn benzin' til plastik. Allerbedst ville det være, hvis vi kan bruge CO<sub>2</sub> direkte fra atmosfæren. Så slipper vi for at bruge olie og kul, og vi genbruger den CO<sub>2</sub>, vi udleder fra de nye, grønne brændstoffer.

Desværre er vi endnu ikke særlig gode til at bygge molekyler af carbonatomer uden at bruge en masse energi. Men forskerne arbejder hårdt på sagen, som du kan læse mere om i slutningen af dette kapitel. Indtil da er det vigtigt at finde andre løsninger på CO<sub>2</sub>-problemet. I kapitlet gennemgår vi fire forslag, som du og dine klassekammerater kan diskutere fordelene og ulemperne ved. Det er jo jeres fremtid, det handler om.



**Carbonkæder.** Forskerne prøver at bygge nye brændstoffer af carbonatomer.

## Grundstoffer i dette kapitel:

**C** Carbon (dansk: kulstof)

er livets byggesten. For eksempel er der carbonatomer i hver eneste celle i din krop.

**Cu** Kobber

er et orangerødt, skinnende metal. Kobber er godt til at sætte fart på nogle kemiske reaktioner og til at lede varme og elektricitet.

**H** Hydrogen (dansk: brint)

er det simpleste grundstof på Jorden, og alligevel er det svært at få fat på. Hydrogen findes nemlig ikke frit, men er bundet i kemiske forbindelser, for eksempel vand ( $H_2O$ ). Ved hydrogen forstås normalt gassen  $H_2$ .

**N** Nitrogen (dansk: kvælstof)

indgår i alle levende organismer. I atmosfæren optræder nitrogen som gassen  $N_2$ . Bindingen mellem de to nitrogenatomer er en af de stærkeste kemiske bindinger, der findes.

**Ni** Nikkel

er et hårdt, sølvhvidt metal. Det er vigtigt for mange biokemiske processer. For eksempel indgår nikkel i nogle enzymer.

**O** Oxygen (dansk: ilt)

er livsnødvendigt for langt de fleste organismer på Jorden. Din krop skal bruge oxygen for at forbrænde mad og få energi. Uden oxygen i atmosfæren var mennesket aldrig blevet til. Ved oxygen forstås normalt gassen  $O_2$ .

## Kemiske forbindelser i dette kapitel:

**$C_6H_{12}O_6$**  Glucose

er et sukkerstof og kroppens vigtigste brændstof.

**$CH_3CH_2OH$**  Ethanol

tilhører gruppen af alkoholer. Du kan kende dem på OH-gruppen i deres kemiske formler. Ethanol findes i øl og vin og bruges også som brændstof til biler.

**$CH_4$**  Methan

er en gas, der dannes af visse bakterier, når de nedbryder biologisk materiale. Methan udgør størstedelen af naturgas, som er et fossilt brændstof.

**$CO_2$**  Carbondioxid

er en tung gas, der består af et carbonatom og to oxygenatomer. Det skrives som  $CO_2$ , og sådan omtaler man også tit forbindelsen. Kuldioxid er et gammelt navn for  $CO_2$ .

**$H_2CO_3$**  Kulsyre

er en svag syre. Når  $CO_2$  opløses i vand, dannes der kulsyre. Ionformerne af kulsyre er hydrogencarbonat ( $HCO_3^-$ ) og carbonat ( $CO_3^{2-}$ ).



Når du møder dette symbol, skifter energi form.

## Ordliste

Ord i *kursiv* er forklaret i ordlisten bagerst i bogen.



Scan koden med din mobil, og besøg [www.energipaalager.dk](http://www.energipaalager.dk).



## Sodavandsbrus og is, der ikke smelter

### FAKTA

Vidste du, at CO<sub>2</sub> bruges i brandslukkere og til at holde vindruer kolde i vinproduktionen?

CO<sub>2</sub> kan eksistere i tre tilstandsformer: gas, væske eller fast form.

Prøv at gå på internettet og undersøg, hvilken tilstandsform CO<sub>2</sub> har i brandslukkere og ved køling af druer.

Se f.eks. [wikipedia.org](http://wikipedia.org)



CO<sub>2</sub> findes mange steder i hverdagen, for eksempel i din sodavand. Det er nemlig gas af CO<sub>2</sub>, der giver bobler i flasken. CO<sub>2</sub> kan også eksistere som væske eller fast stof. Disse tre former kaldes stoffets tilstandsformer.

CO<sub>2</sub> fryser først til fast stof ved -78,5 °C og kaldes da for tør-is. Tør-is ligner tætpakket sne og bruges ofte i industrien til at holde fødevarer kolde. Helt modsat almindelig vand-is smelter tør-is ikke, når temperaturen stiger. I stedet

fordamper det direkte til gas, deraf navnet tør-is. Tilsvarende bliver CO<sub>2</sub>-gas direkte til tør-is, når det køles ned til -78,5 °C.

Hvis CO<sub>2</sub> skal være på væskeform ved stuetemperatur, kræver det et tryk omkring 60 gange højere end det normale tryk i atmosfæren, det vil sige det tryk, som vi har her på Jorden. Ved atmosfærisk tryk eksisterer CO<sub>2</sub> altså kun som gas eller på fast form. Gassen CO<sub>2</sub> har en særlig vigtig betydning i atmosfæren.



### FAKTA

Jordens atmosfære består af 78 % nitrogen, 21 % oxygen og en række andre luftarter i små mængder. CO<sub>2</sub> udgør knap 0,039 %.

Hvad består atmosfæren af på Venus? Hvad er den gennemsnitlige temperatur her?

Se f.eks. [rummet.dk](http://rummet.dk)



## Jordens lune tæppe

Du synes nok, det føles som meget, når temperaturen i Danmark svinger med ti eller tyve grader fra nat til dag. Men på planeten Merkur svinger temperaturen dagligt med 620 grader! En af grundene til, at temperaturen svinger meget på Merkur, er, at planeten ingen atmosfære har. På Jorden har vi deri-

mod en atmosfære og derfor også en relativ stabil temperatur. Atmosfæren indeholder nemlig *drivhusgasser*, som er et fælles navn for en række luftarter, der holder på varmen omkring Jorden. De vigtigste drivhusgasser er vand-damp, CO<sub>2</sub> og methan (CH<sub>4</sub>).

Når sollys rammer Jorden, omdannes noget af lysenergien til varme ☀️, og noget af den varme sendes tilbage op i atmosfæren. Uden drivhusgasserne ville varmen forsvinde ud i verdensrummet og gennemsnitstemperaturen på Jorden være  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  i stedet for  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Heldigvis virker gasserne som et tæppe omkring Jorden. Det kaldes for *drivhuseffekten*. Jo højere koncentrationen er af drivhusgasser, jo mere varme holder atmosfæren på.

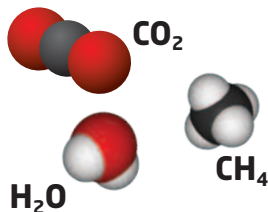
Der er kun knap 0,039 %  $\text{CO}_2$  i atmosfæren. Det er meget mindre end mængden af vanddamp, der i gennemsnit udgør 2 % af atmosfæren. Til gengæld har  $\text{CO}_2$ -molekylet en meget lang levetid i atmosfæren, så når vi udsleder  $\text{CO}_2$ , kan det tage tusindvis af år, før gassen forsvinder igen. Derfor har  $\text{CO}_2$ -koncentrationen i atmosfæren stor betydning for temperaturen på Jorden langt ud i fremtiden.



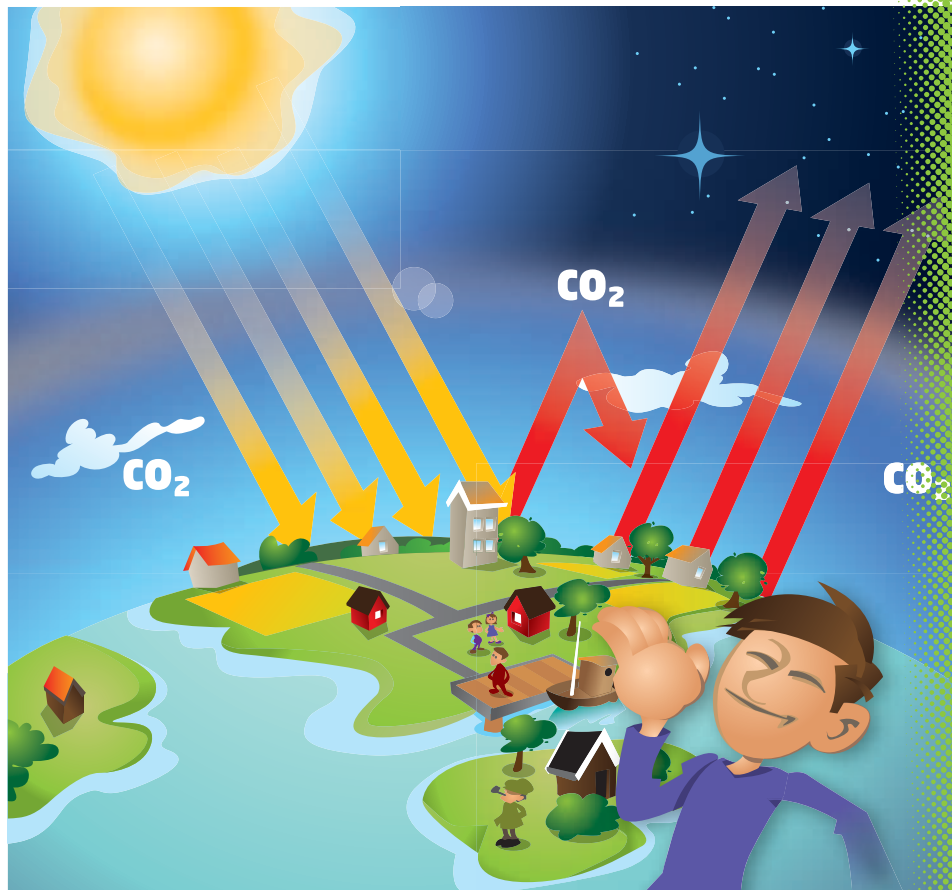
Lysenergi fra Solen bliver til varme på Jorden.

## FAKTA

De vigtigste drivhusgasser er vanddamp, metan og carbon-dioxid.




**Drivhuseffekten.** Drivhusgasser som  $\text{CO}_2$  holder på varmen omkring Jorden.



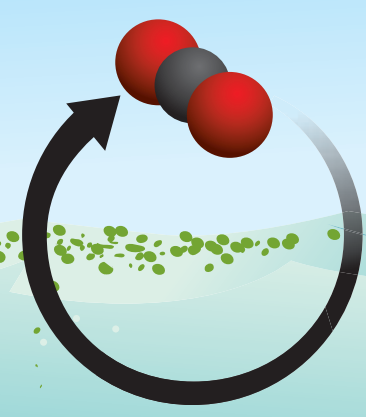


# Carbons jordomrejse


CO<sub>2</sub> er en del af atmosfæren, men hvor kommer den fra? For at forstå det skal vi følge carbonatomets rejse, også kaldt carbons kredsløb. Fra kontinent til kontinent går rejsen gennem luft og vand og endda gennem levende organismer, fordi carbon er byggestenen for alt liv. Der bliver ikke mere eller mindre carbon på Jorden. I stedet bevæger carbon sig rundt i et lukket kredsløb som en del af forskellige kemiske forbindelser. Nogle af de vigtigste carbonforbindelser, som du skal kende, er sukker og CO<sub>2</sub>.



**Dyr og mennesker** kan ikke optage CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. I stedet skaffer de carbon fra sukker ved at spise planter eller andre dyr.



**Oceanerne** både optager og frigiver CO<sub>2</sub> til atmosfæren. CO<sub>2</sub> er opløst i vandet som kulsyre (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Den største mængde carbon i kredsløbet findes i oceanerne.



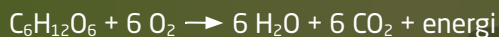
**Fossile brændstoffer** er energirige, kemiske forbindelser. De bliver dannet, når dødt biologisk materiale som planter og dyr hober sig op i undergrunden.

**Planter** omdanner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren til sukker. Processen kaldes *fotosyntese* og bruger energi fra sollyset. Fotosyntesen danner også O<sub>2</sub>.



Der findes mange former for sukker. Glucose har formlen C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>.

**Planter, dyr og mennesker** nedbryder sukker. Processen kaldes *respiration* og forbruger O<sub>2</sub>. Respiration danner CO<sub>2</sub>.



**Døde organismer** bliver nedbrudt af bakterier. Bakterierne frigiver CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> (methan) til atmosfæren.

Fossile brændstoffer består af store mængder carbon. Brændstofferne er dannet under højt tryk over mange millioner år. Olie, kul og naturgas er de mest udbredte fossile brændstoffer.



## Kuk i carbonkredsløbet

### FAKTA

Olie, kul og naturgas er de mest udbredte fossile brændstoffer. De bliver brugt både som brændstof og til at lave andre materialer med carbon i, eksempelvis kemikalier og plastik.



### FAKTA

Hvert år udleder Jordens befolkning over 30 milliarder ton CO<sub>2</sub>. Det er nok til at lægge et 300 meter højt lag af CO<sub>2</sub> ud over hele Danmark.

Dybt nede under Jordens overflade lå de fossile brændstoffer uforstyrret hen i millioner af år. Men siden den *industrielle revolution* i 1700-tallet har vi hentet dem op i enorme mængder og brændt dem af. De fossile brændstoffer er populære, fordi de kan frigive meget *kemisk energi*. Vi får energien ud ved at bryde de *kemiske bindinger* i molekylerne og danne nye bindinger i andre molekyler. Det er det, der sker, når vi brænder de fossile brændstoffer af og danner CO<sub>2</sub>. Energien fra forbrændingen kan vi bruge til opvarmning, elektricitet og transport. Omkring 85 % af verdens energibehov dækkes i dag af fossile brændstoffer.

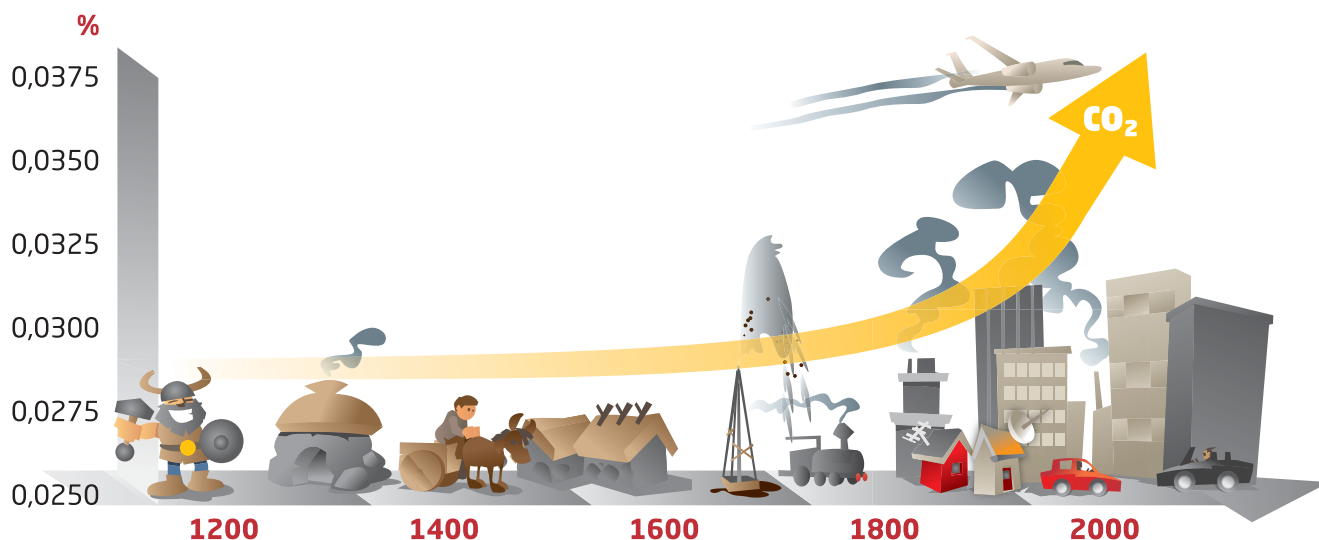
Men de fossile brændstoffer varer ikke evigt. En dag løber vi tør, og inden da skulle vi gerne nå at finde på nye energikilder. Et andet problem, der trænger sig på, er, at når vi brænder olie, kul og naturgas af, flytter vi carbon fra undergrunden til atmosfæren i form af CO<sub>2</sub>.



(Ex. 2.2)

CO<sub>2</sub> nedbrydes ikke naturligt i atmosfæren, men hober sig i stedet op i 500-5.000 år, indtil det bliver optaget i havene. Det fører til større drivhuseffekt og dermed temperaturstigninger og klimaforandringer. I Danmark forudsiger eksperterne blandt andet, at vi får mere regn, vind og højere vandstand i vores have.

På grund af vores enorme forbrug af fossile brændstoffer er koncentrationen af CO<sub>2</sub> i atmosfæren steget med omkring 35 % over de sidste 130 år. Det ved vi blandt andet, fordi forskere har målt CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren hver måned siden 1958 på Mauna Loa Observatoriet på Hawaii. CO<sub>2</sub>-koncentrationen før 1958 har de derimod undersøgt ved hjælp af isboringer på Antarktis og i Grønland. Tilsammen har undersøgelserne givet forskerne en meget detaljeret viden om den stigende mængde CO<sub>2</sub>, og de forudsiger, at koncentrationen vil stige yderligere til 0,045 % inden år 2050.

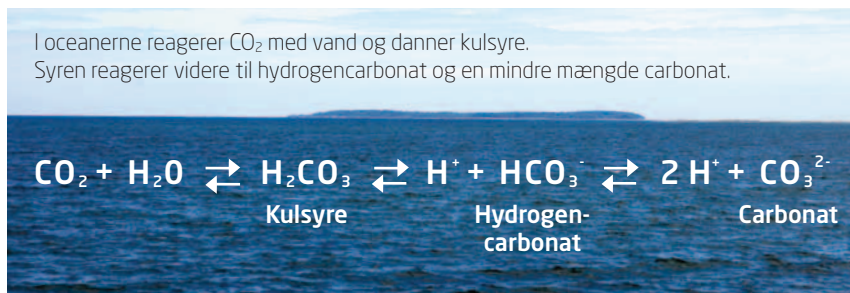


CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren er steget i takt med, at vi har brugt fossile brændstoffer.

Verdenshavene optager noget af den CO<sub>2</sub>, vi udleder til atmosfæren. Udvækslingen er dog mange hundrede år om at nå ned til de dybe havlag, og havene kan derfor ikke fjerne den op-hobede CO<sub>2</sub> hurtigt nok. (Ex. 2.3, 2.4)



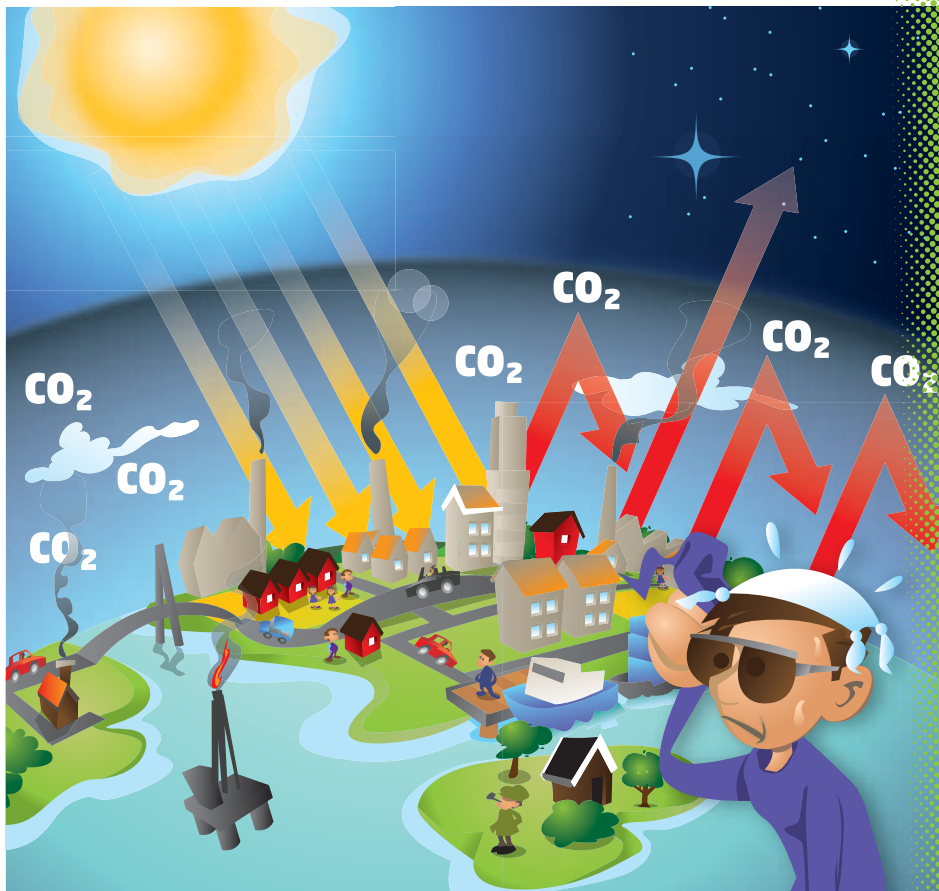
Opløseligheden af CO<sub>2</sub> er størst i koldt vand, så hvis drivhuseffekten stiger, og verdenshavene bliver varmere, kan de ikke indeholde nær så meget CO<sub>2</sub>. Alt i alt er verdens CO<sub>2</sub>-regnskab enormt kompliceret, men mere drivhuseffekt påvirker uden tvivl carbons kredsløb.



Sammenlign billedet til højre med billedet på side 27.

Hvordan påvirker mennesker drivhuseffekten?

Hvor meget CO<sub>2</sub> udleder en dansker i forhold til en svensker, en amerikaner og en filippiner? Se f.eks. [globalis.dk](http://globalis.dk)



**Øget drivhuseffekt.** Afbrænding af fossile brændstoffer udleder CO<sub>2</sub>, som øger drivhuseffekten.

## Fire fede forslag

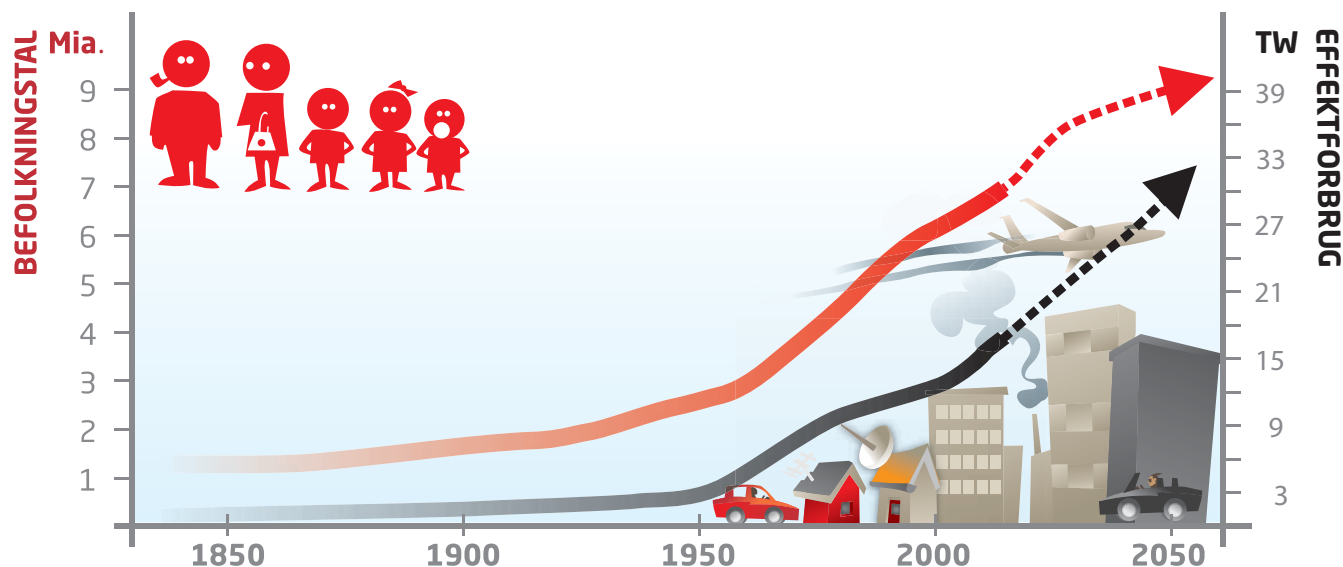
### Fire fede forslag !

1. Stop energispildet
2. Gem gassen af vejen
3. Brug CO<sub>2</sub>-neutral energi
4. Lav energi af CO<sub>2</sub>, og slå to fluer med et smæk!

Kilo	10 <sup>3</sup>	1.000
Mega	10 <sup>6</sup>	1.000.000
Giga	10 <sup>9</sup>	1.000.000.000
Tera	10 <sup>12</sup>	1.000.000.000.000

Sluk lyset, hop op på cyklen, og skru ned for varmen. Det er ikke nogen let opgave at skære ned på CO<sub>2</sub>-udledningen, men du kan selv gøre dit for at bruge mindre strøm, brændstof og varme. Hver gang du sparer på energien, skåner du samtidig atmosfæren for lidt CO<sub>2</sub>. Du kan også hjælpe miljøet ved at drikke vand fra hanen i stedet for at købe vand i plastikflasker. Flaskevand koster både energi at producere og transportere, og selve plastikken fremstilles af olie, som er en energikilde.

Selvom vi hver især sparer på CO<sub>2</sub>, skal der dog alligevel mere til at nedsætte klodens samlede CO<sub>2</sub>-udledning. Vi bliver nemlig flere og flere mennesker på Jorden. I foråret 2011 var vi 6,9 milliarder mennesker, og inden 2050 vil vi sandsynligvis være tæt på 9 milliarder, der alle sammen gerne vil bruge energi og leve, som vi gør i den vestlige verden. Det betyder, at vores samlede energiforbrug vil eksplodere. Heldigvis har forskerne flere ideer til, hvordan vi kan løse CO<sub>2</sub>-problemet. I de følgende afsnit ser vi på fordele og ulemper ved fire forskellige forslag.



**Flere mennesker = større energiforbrug.** Forskerne forudsiger, at vi i fremtiden bliver flere mennesker, der skal bruge meget mere energi. Effektforbruget angiver, hvor meget energi Jorden befolkning bruger per sekund. For eksempel brugte vi i 2008 i gennemsnit 16 terawatt (TW).

### Forslag 1: Slut med energispild

Fossile brændstoffer er ligesom penge. De varer ikke evigt, og det er ærgerligt at brænde dem af på ingenting. Alligevel går energien til spilde mange steder i samfundet. Derfor er det vigtigt at udvikle teknologier og materialer, der udnytter de fossile brændstoffer bedre.

Når energi fra olie og kul omdannes til elektricitet på kraftværker, går mere end 50 % af energien til spilde som varme 🔄. I Danmark har vi derfor mange *kraftvarmeværker*, som sender

den overskydende varme ud til huse som fjernvarme. På den måde bruger vi helt op til 90 % af energien fra de fossile brændstoffer.

Vi kan altså vinde tid ved at bruge de fossile brændstoffer mere effektivt og derved nedsætte vores energispild. Men uanset hvor godt vi udnytter dem, varer olie, kul og naturgas ikke evigt. Kraftvarmeværker fjerner heller ikke problemet med øget drivhuseffekt, for så længe vi bruger fossile brændstoffer, vil vi udlede CO<sub>2</sub> til atmosfæren.



Kraftvarmeværker mindsker energispild.



Selvom vi strækker de fossile brændstoffer, vil de ikke vare evigt.



Vi udleder stadig CO<sub>2</sub>.



Kemisk energi i fossile brændstoffer laves om til elektrisk energi og varme.



## Danmark i front: Katte på oliefelter

Ved et oliefelt i ørkenlandet Qatar står en flok arbejdere og sveder. De pumper olie op fra undergrunden, og det er hårdt arbejde i den brændende sol. Sammen med olien kommer der noget andet op fra undergrunden – naturgas. Den indeholder ligesom olie masser af energi, men gassen er dyr og besværlig at transportere væk fra oliefeltet. Derfor bliver den normalt brændt af i stedet. Naturgassen går altså til spilde. Men på anlægget i Qatar har ingeniører udviklet en plan for naturgassen. De vil lave den om til kunstig diesel, der er et flydende brændstof, som nemt kan transporteres videre.

For at lave naturgassen om skal de bruge *katalysatorer*, eller 'katte' som forskerne kalder dem. 'Kattene' hjælper de kemiske reaktioner, der omdanner naturgassen til diesel, med at ske hurtigere og lettere og dermed også billigere. Derfor er katalysatorer populære i industrien.

Forskere fra den danske virksomhed Haldor Topsøe har udviklet nogle af de katalysatorer, der bruges til fremstillingen af kunstig diesel. Katalysatorerne bliver nu brugt flere steder i verden, og derved spilder vi mindre af det fossile brændstof. På olieanlægget i Qatar producerer de hver dag lige så meget diesel fra naturgas, som vi dagligt bruger i Danmark.



Mere CO<sub>2</sub> i undergrunden giver mindre CO<sub>2</sub> i atmosfæren.



Udslip fra CO<sub>2</sub>-lagre kan være livsfarlige.

## FAKTA

Et CO<sub>2</sub>-lager, der lækker, udskyder blot problemet med CO<sub>2</sub> til fremtiden.

Hvor mange år holder et CO<sub>2</sub>-lager, hvis det ikke får tilført mere CO<sub>2</sub> og lækker med 1 % af den oprindelige mængde hvert år? Hvad med 5 % om året?



## Forslag 2: Gem gassen af vejen

Man siger, at problemer kan fejes ind under gulvtæppet, og med CO<sub>2</sub> er det måske sandt. Nogle forskere foreslår, at vi indsamler den CO<sub>2</sub>, vi udleder fra fossile brændstoffer, og gemmer den væk for at undgå problemet med øget drivhuseffekt.

Ideen går ud på at pumpe CO<sub>2</sub> ned i undergrunden dybt under land eller hav. Det lyder måske som fremtids-snak, men faktisk sker det allerede flere steder i verden. I Nordsøen pumper det norske olieselskab Statoil ASA hvert år næsten en million ton CO<sub>2</sub> ned i Sleipner-reservoiret 1.000 meter under havbunden. CO<sub>2</sub>, som ellers var blevet udledt til atmosfæren.

Lagring af CO<sub>2</sub> i undergrunden er en ung teknologi, og det er stadig en stor udfordring at trække CO<sub>2</sub> ud af fabriksrøg. Desuden er det enorme mængder CO<sub>2</sub>, som skal indfanges, pumpes ned i undergrunden og forhindres i at sive ud igen. Vi udleder årligt over 30 milliarder ton, altså 30.000 gange mere end Statoil pumper ned i Sleipner om året.

Et udslip fra et underjordisk lager kan være farligt, fordi CO<sub>2</sub> er livstruende for mennesker allerede ved koncentrationer på omkring 8 %. Samtidig vejer CO<sub>2</sub> halvanden gang mere end almindelig luft. Det betyder, at den tunge gas lægger sig nederst både ved jorden og nede i lungerne. Her fortrænger den luften og det livsnødvendige oxygen. (Ex. 2.5)



## Gas og gys i Cameroun

Det var en almindelig torsdag aften i den afrikanske landsby Nyos, da beboerne gik til ro. Børnene blev lagt i seng, og kvæget græssede fredeligt udenfor. Ingen kunne forudse den tragedie, der var på vej mod deres landsby, og kun få ville overleve den tragiske aften.

Ved nitiden om aftenen hører en kvinde en rumlen i det fjerne. Kort efter suser et mystisk vindpust igennem hendes hytte, og hun falder til gulvet. Kvinden er træt og forvirret, da hun vågner til en grufuld virkelighed. Omkring hende ligger familie og husdyr livløse hen. Ikke engang fluerne er i live til at kredse om ligene.

Den uhyggelige rumlen stammede fra en dyb sø i et vulkankrater tæt på Nyos. Store mængder CO<sub>2</sub> fra vulkanens indre lå opløst i søens dybeste vand, og af uklare årsager gik den opløste CO<sub>2</sub> pludselig på gasform og strømmede ud af søen med 100 km/t. Fordi CO<sub>2</sub> er tungere end luft, gled den ned ad bjergsiden og indhyllede de nærliggende landsbyer i en dødelig sky, som fortrængte alt oxygen. Over 1.700 mennesker og 3.000 kvæg mistede livet den 21. august 1986 i Cameroun ved Lake Nyos.

### Forslag 3: Bliv grøn, og slip af med den sorte samvittighed

Vi kan spare på de fossile brændstoffer og udnytte dem bedre, men hvordan kan vi helt slippe for at have CO<sub>2</sub> på samvittigheden?

Vind, sol og bølger er alle eksempler på *vedvarende energikilder*, der ikke udleder CO<sub>2</sub>. I Danmark udnytter vi især vindenergi til at lave strøm. Vinden får vingerne på en mølle til at rotere, og det driver en *generator*, som laver strøm 🔄. Omkring 20 % af den danske elforsyning kommer fra vores vindmøller.

Både vind og bølger er i virkeligheden *solenergi*, der er lavet om til an-

dre energiformer, og i modsætning til fossile brændstoffer løber vi aldrig tør for solenergi. Fælles for de vedvarende energikilder er desværre, at de varierer med årstiden, vejret, og hvor vi er på Jorden. Derfor passer vores elforbrug for eksempel sjældent med vindmøllernes produktion af strøm. Uanset hvor mange vindmøller vi bygger, vil der altid være tidspunkter, hvor vinden ikke blæser nok til, at vi kan dække vores elforbrug med vindmøllerne.

Vi er derfor stadig afhængige af fossile brændstoffer. De udfylder hullerne i energiforsyningen, indtil vi lærer at gemme overskud af energi fra vindmøller og andre vedvarende energikilder smartere.



**Variationen i dansk vindkraft.** Elproduktionen fra vindmøller varierer, fordi vindstyrken skifter fra dag til dag. MW betyder megawatt.



Vedvarende energi er CO<sub>2</sub>-neutral eller CO<sub>2</sub>-fri.



Vedvarende energi slipper ikke op.



Vedvarende energikilder er ustabile.



Vedvarende energi er svær at gemme.



Bevægelsesenergi i vindmøllens vinger laves om til elektrisk energi af generatoren.

#### FAKTA

Vedvarende energi kaldes også for:

- alternativ
- bæredygtig
- fornybar *eller*
- grøn energi.

Prøv med dine egne ord at forklare, hvad en vedvarende energikilde er.





Hvis vi vil skifte de fossile brændstoffer ud med vedvarende energikilder, er vi altså nødt til at lære at gemme energien mere effektivt. En anden stor udfordring er at lave grønne brændstoffer til transportsektoren. I dag er transportsektoren ansvarlig for 1/4 af verdens samlede CO<sub>2</sub>-udledning, fordi vi bruger oliebase-rede brændstoffer som benzin og diesel.

Hvis vi lærer at lave elektriciteten fra vedvarende energikilder om til kemiske brændstoffer, slår vi to fluer med et smæk: Vi får lavet energien om til en form, som vi både kan gemme og desuden bruge i vores biler, supertankere og fly.

Desværre er vi endnu ikke særligt gode til at lave grønne brændstoffer. Det prøver forskerne at ændre på, hvilket forslag 4 handler om.



## Grøn ferie på Samsø

Hvis du vil skære ned på din CO<sub>2</sub>-udledning, kan du passende ændre sommerens flyrejse til en cykelferie på Samsø. Her kan du samtidig opleve en dansk ø, der er verdensberømt for at være CO<sub>2</sub>-neutral.

Mere vind og sol end i resten af landet gør Samsø særlig god til at udnytte vedvarende energikilder. Øen kan dække hele sit elforbrug og 70 % af sin varmeforsyning med energi fra vind, sol og biomasse. Er der ikke nok blæst til at drive vindmøllerne, får Samsø strøm fra Jylland, og omvendt leverer de strøm tilbage, når de producerer for meget. Samvittigheden er dog endnu ikke helt ren på Samsø, for bilerne udleder stadig CO<sub>2</sub>, fordi de er afhængige af benzin og diesel. Det er nemlig ikke så let at erstatte brændstofferne med strøm eller sol. Samsø kan dog "betale" for den CO<sub>2</sub>, de udleder, med den grønne energi, de leverer til fastlandet. Derfor får den grønne ø lov til at beholde titlen som CO<sub>2</sub>-neutral.

#### Forslag 4: Få det bedste ud af CO<sub>2</sub>

Du har nu læst tre gode forslag til, hvordan vi sparer på de fossile brændstoffer og nedsætter udledningen af CO<sub>2</sub>. Hvis vi for alvor vil være uafhængige af fossile brændstoffer, er det dog ikke nok at spare på dem eller gemme CO<sub>2</sub> af vejen. Det er heller ikke nok kun at lave strøm og varme fra vedvarende energikilder. Hvis vi vil have en pålidelig energiforsyning og dække samfundets behov for mange forskellige typer energi, skal vi lære at lave kemiske brændstoffer. I modsætning til strøm og varme kan kemisk energi nemlig både gemmes og bruges i transportsektoren.

Fossile brændstoffer består af kæder af carbon og hydrogen, som frigiver energi, når vi brænder dem af. Forslag 4 går

ud på at erstatte brændstofferne med nye carbonkæder. De skal laves ved at opsamle CO<sub>2</sub> fra luften og sætte de enkelte carbonatomer sammen. Selvom kæderne ser lidt anderledes ud end fossile brændstoffer, kan de stadig frigive masser af energi, der kan bruges som brændstof i biler og fly eller på kraftværker, når der mangler energi fra vedvarende kilder. Carbonkæderne kan også erstatte noget af den olie, som vi i dag bruger til at fremstille kemikalier og plastik.

Energien til at lave de nye brændstoffer skal komme fra elektricitet leveret fra vindmøller eller solceller. På den måde laver vi den 'grønne' strøm om til kemisk energi, så vi får gavn af den, også når vi laver mere strøm, end vi kan nå at bruge med det samme ↻.



CO<sub>2</sub> kan erstatte fossile brændstoffer og bruges til 'grøn' benzin og kemikalier.



Der er brug for mere forskning, før CO<sub>2</sub> kan opsamles og laves om til carbonkæder.



Forskerne vil lave elektrisk energi om til kemisk energi.



**Elektrisk energi laves om til kemisk energi.** Den grønne strøm leverer energi til at spalte CO<sub>2</sub> til carbon og oxygen. Carbonatomerne bruges til at lave nye carbonkæder til brændstof i biler. Elektrisk energi er derved lavet om til energi i kemiske bindinger.

Se også filmen  
'Fra miljøsynder til  
eftertragtet råstof'.



Selvom forslaget er godt, er det desværre også ret svært. For eksempel er det ikke så ligetil at skille CO<sub>2</sub> fra de andre stoffer i fabriksrøg. Det er heller ikke særligt nemt bare at tage CO<sub>2</sub> direkte fra atmosfæren, der er jo kun 0,039 %. (Ex. 2.6)

Endnu sværere bliver det, når CO<sub>2</sub> skal spaltes til oxygen- og carbonatomer. De kemiske bindinger mellem de to O-atomer og C-atomet er nogle af de stærkeste kemiske bindinger, der findes. Det betyder, at CO<sub>2</sub> er et meget stabilt molekyle, og at det kræver meget energi at bryde de kemiske bindinger.

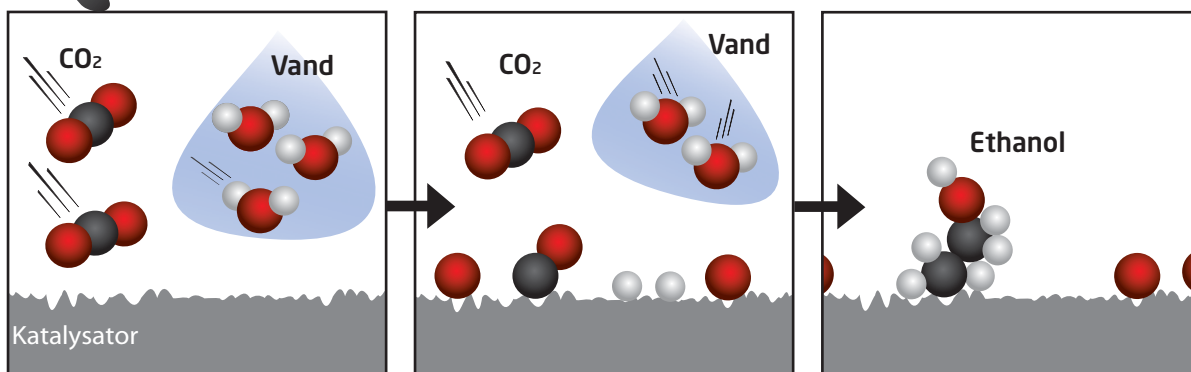
Det er også vanskeligt at styre, hvilke kæder der bliver dannet, når de frie carbonatomer sætter sig sammen på nye måder. Hvis man for eksempel gerne vil lave ethanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) som erstatning for benzin, er det en ulempe, hvis der samtidig bliver dannet for mange andre typer carbonkæder. Så bliver produktionen af ethanol ineffektiv og alt for dyr.

Forskere over hele verden prøver at udvikle effektive metoder til at spalte

CO<sub>2</sub> og styre fremstillingen af nye carbonkæder. Nogle af forskerne sidder her i Danmark. På DTU har man samlet nogle af de dygtigste forskere i CASE-projektet, der netop arbejder med omdannelse af CO<sub>2</sub> til brændstoffer og kemikalier.

CASE står for 'Catalysis for Sustainable Energy', som på dansk betyder 'Katalyse til vedvarende energi'. *Katalysatorer*, eller 'katte' som forskerne kærligt kalder dem, er kemiske værktøjer. 'Kattene' gør det lettere at bryde og danne bindinger mellem atomer, med andre ord *katalyserer* de den kemiske reaktion.

En katalysator virker ved at binde forskellige molekyler til sin overflade. I stedet for at molekylerne farer frit rundt i luften, holder katalysatoren dem fast, og på den måde kan molekylerne nemmere og hurtigere reagere med hinanden og danne nye kemiske bindinger. Katalysatoren forbruges ikke selv i reaktionen, men styrer, hvilke nye molekyler der dannes. Den får også reaktionen til at forløbe hurtigere og kræve mindre energi.



**Katalysatoren eller 'katten'** binder CO<sub>2</sub>- og vandmolekyler til sin overflade. På den måde bliver ethanol hurtigere dannet, og reaktionen kræver mindre energi. Oxygenatomerne bliver samlet til O<sub>2</sub> på den anden side af katalysatoren.

## Inspiration fra naturen

Et af de eneste materialer, der i dag kan bruges til at katalysere omdannelsen af CO<sub>2</sub> til ethanol, er kobber (Cu). Desværre er kobber ikke en særlig god katalysator. Reaktionen kræver for meget energi, og der bliver dannet for lidt ethanol og for mange spildprodukter. Hvis forslag 4 skal blive rigtig populært, kræver det, at forskerne i CASE finder katalysatorer, der er bedre end kobber.

Nogle bakterier har et *enzym*, som har specialiseret sig i at spalte CO<sub>2</sub>, og forskerne har opdaget, at grundstoffet nikkell spiller en meget vigtig rolle i enzymets funktion. Enzymet selv er for skrøbeligt til at blive brugt i industrien, men det kan lede forskerne i CASE på sporet af interessante grundstoffer. Den nye viden kan de bruge til at fremstille mere effektive katalysatorer til at omdanne CO<sub>2</sub>.

Dette eksempel viser, hvordan forskerne arbejder, når de opfinder nye katalysatorer. Ofte bliver de inspireret af naturen, hvor der gennem millioner af år er blevet udviklet gode enzymer. Derefter prøver de at efterligne enzymerne og designe katalysatorer til præcis det formål, de skal bruge dem til. Hvis det en dag lykkes at fremstille en god CO<sub>2</sub>-katalysator, kan vi begynde at bruge carbon fra CO<sub>2</sub>.

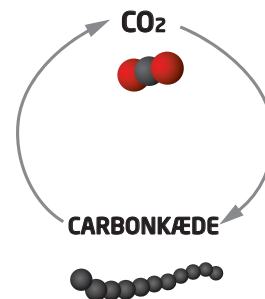
I første omgang vil forskerne prøve at indfange den CO<sub>2</sub>, der kommer fra fabrikkerne. Derved kan vi genbruge carbon fra fossile brændstoffer flere gange.

Hvis vi længere ude i fremtiden lærer at indfange CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, bliver forslag 4 en CO<sub>2</sub>-neutral energikilde. Når de nye carbonkæder brændes af, reagerer de med luftens oxygen og danner CO<sub>2</sub> på ny. På den måde får vi en evig cyklus, hvor vi indfanger og udleder CO<sub>2</sub> til atmosfæren helt uden at bruge fossile brændstoffer.

Læs mere om enzymer i industrien i kapitel 4.

## FAKTA

Et enzym er en biologisk katalysator. For eksempel er det enzymer, der katalyserer nedbrydningen af din mad i maven og tarmene.



## Forskerens udfordring: Kemi og kærlighed



Nadia fortæller:

- Da jeg søgte om støtte til min forskning, vidste jeg, at det gjaldt om at præsentere mit projekt klart og tydeligt. Jeg skulle overbevise fonden om, at det var vigtigt, at de støttede min forskning.

- Klokkerne var halv fire om morgenen, før jeg blev færdig med min ansøgning, fortæller Nadia. Hun har læst kemi på DTU og forsker i dag i at lave brændstoffer af CO<sub>2</sub>. Til sit afsluttende projekt søgte Nadia om et legat på 100.000 kr. til sin forskning, men det var hun ikke den eneste, der gjorde.

- Min kæreste søgte det samme legat til sin forskning, og vi sad oppe hele natten og skrev ansøgninger. Vi var dødtrætte til sidst, men det var rart, at vi kunne hjælpe og støtte hinanden. Nadia drømte om, at bare en af dem ville få legatet, men vidste godt, at deres chancer var små. Konkurrencen var benhård, for der er mange studerende, som søger de store legater, og kun få får dem. Derfor gælder det om at have de bedste argumenter.

- Mit stærkeste argument i ansøgningen var, at mit projekt kan være med til at løse en af verdens største udfordringer, nemlig at lave brændstoffer, der ikke øger mængden af CO<sub>2</sub> i atmosfæren, forklarer Nadia.

Men månederne gik, og hun hørte ikke noget nyt. Hun begyndte at miste håbet, indtil der en dag poppede en mail op i indbakken. 'Kære studerende, vi er glade for at kunne

De næste par dage blev der åbnet mange champagneflasker, for familie og venner ville ønske tillykke. Men der blev også skålet på endnu en nyhed. De to unge forskere afslørede

nemlig, at de var blevet forlovet.

- Så kan man da tale om god kemi, grinede Nadias mor.

Takket være legatet kunne Nadia rejse til USA og møde forskere på et af USA's bedste universiteter, Stanford Universitet. Her arbejder de også med at omdanne CO<sub>2</sub> til brændstof.

På Stanford lærte Nadia mere om de enzymer i naturen, der gennem millioner af år har perfektioneret det, som hun prøver at efterligne kunstigt, nemlig at omdanne CO<sub>2</sub> til brændstof.

- Jeg har altid godt kunne lide at fordybe mig i matematik, fysik og kemi og forstå, hvordan verden fungerer. Det er også derfor, jeg gerne vil være forsker, så jeg kan være med til at løse problemet med den øgede CO<sub>2</sub>-udledning.



meddele dig ...', læste Nadia og troede ikke sine egne øjne.

- Jeg ringede med det samme til min kæreste, og han havde selv noget af en overraskelse. Han havde også fået legatet!

*Nadia Luciw forsker i CO<sub>2</sub> i forskningsgruppen CASE på DTU. Hun modtog Oticon-stipendiet på 100.000 kr. i 2009 til støtte til sit afsluttende projekt i sin uddannelse som kemiingeniør. I dag er Nadia i gang med sit treårige ph.d.-studium, også i CASE.*

# Kan du arbejde som forsker?

Lav fire grupper i klassen. Forestil jer, at I er en gruppe af forskere, som vil løse problemet med CO<sub>2</sub>-forurening. Hver gruppe vælger at arbejde med et af de fire løsningsforslag fra kapitlet, der handler om at mindske CO<sub>2</sub>-udledningen. Der er fordele og ulemper ved dem alle.

Forskergrupperne skal konkurrere om et fiktivt legat på 100.000 kr. Vinderen

vil blive den gruppe, der bedst kan argumentere for, at de har brug for støtte til at udvikle netop deres område.

Forbered et mundtligt oplæg, hvor I fortæller resten af klassen, hvorfor jeres forslag er særlig godt til at nedbringe CO<sub>2</sub>-forureningen. Overvej, hvad I har brug for at forske i, det vil sige, hvad I skal blive bedre til eller vide mere om for at gøre forslaget endnu bedre.



Jeres oplæg kan indeholde:

## 1. En præsentation af jeres forslag:

- Hvordan foreslår I at nedbringe mængden af CO<sub>2</sub>? Lav en planche med billeder, så det er lettere for resten af klassen at forstå.
- Hvem er I afhængige af for at gennemføre forslaget? For eksempel industrien/politikerne/borgerne.
- Hvor i verden ville jeres forslag gøre mest nytte? Vil det for eksempel have den største virkning i bestemte områder som storbyer eller øde landområder?
- Er det dyrt/billigt? Har fattige lande råd til at bruge jeres forslag?

## 2. En argumentation for, at I har brug for mere forskning til at gøre forslaget endnu bedre:

- Hvorfor kan jeres forslag ikke løse hele problemet med CO<sub>2</sub>?
- Hvad vil I bruge pengene til? For eksempel til at indsamle mere viden/undersøge eller afprøve noget/udvikle nye produkter/nå ud til flere mennesker med jeres budskab?

Oplæggene afsluttes med en afstemning, hvor alle stemmer på den gruppe (ikke jeres egen), der har argumenteret bedst for sit forslag.

## Fremtidens eftertragtede råstof



Du har nu lært, hvad CO<sub>2</sub> er, hvor det kommer fra, og at det kan ændre temperaturen på Jorden. Du har også læst tre bud på, hvad vi kan gøre for at sænke CO<sub>2</sub>-udledningen her og nu, og et fjerde bud på, hvordan forskerne vil gøre det i fremtiden.

De to første forslag er gode ideer, som vi skal blive bedre til at udnytte, men de ændrer ikke på, at de fossile brændstoffer en dag slipper op. De kan heller ikke stoppe CO<sub>2</sub>-udledningen.

Det tredje forslag erstatter derimod fossile brændstoffer med vedvarende og CO<sub>2</sub>-frie energikilder. Selvom teknologien hele tiden bliver bedre, lider de vedvarende energikilder desværre af to alvorlige problemer: De er svære at gemme, og da de hovedsageligt bliver brugt til at lave elektricitet, kan de ikke bruges som brændstof til vores

transportsektor, der er afhængig af kemisk energi.

I det sidste forslag har du læst om, hvordan nogle forskere vil løse problemet med at gemme og skaffe kemisk energi uden at bruge fossile brændstoffer. Den upopulære miljøsynder CO<sub>2</sub> kan bruges til at fremstille grønne brændstoffer og kemikalier og bliver måske en dag et eftertragtet råstof. Det vil dog kræve flere års forskning og videnskabelige gennembrud. Derfor har vi brug for nye, iderige videnskabsfolk, der kan opfinde metoderne til at opfange og genbruge carbon fra CO<sub>2</sub>.


Der er imidlertid også helt andre forslag fra videnskaben, som du sikkert ikke har hørt om endnu. Læs videre i de næste kapitler om endnu flere bud på, hvordan din fremtidige verden skal se ud.

## Det ved du nu

- Carbon er et grundstof, der findes i alle levende organismer.
- Carbon bevæger sig rundt i et lukket kredsløb som en del af kemiske forbindelser i jorden, luften, vandet, dyr, planter og mennesker.
- I atmosfæren findes carbon som drivhusgassen  $\text{CO}_2$ .
- Mere drivhuseffekt giver varmere klima.
- $\text{CO}_2$  udledes til atmosfæren, når vi brænder fossile brændstoffer af.
- Det meste af vores energi kommer fra de fossile brændstoffer kul, olie og naturgas.
- Vedvarende energikilder som sol, vind og bølger forsyner os med  $\text{CO}_2$ -neutral elektricitet.
- Elektricitet er svær at gemme og bruge i transportsektoren.
- Forskere prøver at lave elektrisk energi om til kemisk energi ved hjælp af katalysatorer.
- Elektricitet kan for eksempel bruges til at lave  $\text{CO}_2$  om til ethanol.
- Ethanol er kemisk energi, der både kan gemmes og bruges som brændstof i transportsektoren.



## Test dig selv

- \* Hvilke tre tilstandsformer kan  $\text{CO}_2$  findes på, og hvilken form kræver det højeste tryk?
- \* Er  $\text{CO}_2$  en let eller tung gas?
- \* Hvor mange procent  $\text{CO}_2$  er der i atmosfæren i dag?
- \* Nævn to andre drivhusgasser.
- \* Hvad kan indeholde mest opløst  $\text{CO}_2$ : Varmt vand eller koldt vand?
- \*\* Opskriv formlerne for molekylerne oxygen og hydrogen på gasform.
- \*\* Beskriv, hvad der sker i fotosyntesen.
- \*\* Hvorfor stiger  $\text{CO}_2$ -koncentrationen i atmosfæren?
- \*\* Hvorfor er det et problem, at vi udleder  $\text{CO}_2$  til atmosfæren?
- \*\* Hvilket materiale kan katalysere omdannelsen af  $\text{CO}_2$  til ethanol?
- \*\*\* Hvorfor kan Samsø kalde sig  $\text{CO}_2$ -neutral?
- \*\*\* Forklar nogle af problemerne ved at bruge vedvarende energi i dag.
- \*\*\* Hvordan virker en katalysator?
- \*\*\* Giv et eksempel på, hvordan energi kan skifte fra en form til en anden.  
*Se evt. bokse med  i kapitlet.*
- \*\*\* Naturgas indeholder metan ( $\text{CH}_4$ ). Hvorfor er det en fordel at brænde den af frem for at slippe den ud i atmosfæren?  
*Tip: Prøv at læse afsnittet om drivhuseffekten på side 26-27.*

