

# Fra miljøsynder til eftertragtet råstof



Kapitlet præsenterer eleverne for CO<sub>2</sub> set fra flere vinkler: Som en vigtig kemisk forbindelse både i naturen og industrien og som en livsnødvendig, men også problematisk gas i atmosfæren. Eleverne får desuden en forståelse for, hvorfor CO<sub>2</sub> er uløseligt forbundet med vores forbrug af fossile brændstoffer. Slutelig gennemgås fire forslag til, hvordan vi kan undgå de uheldige

følgenvirkninger af CO<sub>2</sub> ved at gemme den væk, udlede mindre eller genbruge den. CASE's forskning indgår i det fjerde forslag og handler om at bruge CO<sub>2</sub> som råstof til at lave CO<sub>2</sub>-neutrale, carbonholdige brændstoffer. For hvert forslag gennemgås desuden relevante ulemper eller begrænsninger. Dette tydeliggør, at løsningen på fremtidens energiforsyning sandsynligvis skal findes i en

kombination af mange forskellige teknologiske og videnskabelige initiativer.

Kapitlet kræver ingen særlige forunderskaber og giver sammen med kapitel 1 en grundig introduktion til verdens energibehov og problemstillingen om fossile brændstoffer.

## Følgende emner behandles:

- ☛ Tilstandsformer af CO<sub>2</sub> og gassens opløselighed i vand
- ☛ Drivhuseffekten
- ☛ Carbonkredsløbet
- ☛ CO<sub>2</sub>-udledning og øget drivhuseffekt
- ☛ Energiforbrug og befolkningsvækst
- ☛ Fjernvarme og kraftvarmeværker
- ☛ Lagring af CO<sub>2</sub> i undergrunden
- ☛ Vedvarende energi og begrebet CO<sub>2</sub>-neutral
- ☛ Udvikling af carbonholdige brændstoffer fra CO<sub>2</sub>
- ☛ Forskning i katalysatorer til at omdanne grøn elektricitet til kemisk energi

# Gode råd og mere viden

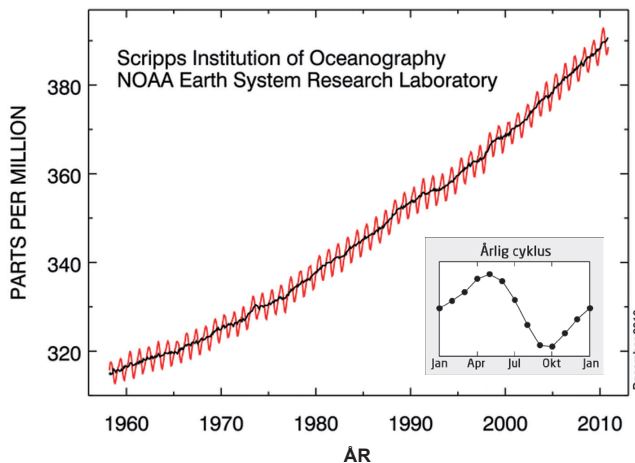
## Sodavandsbrus og is, der ikke smelter

CO<sub>2</sub> bruges i industrien til mange andre formål end dem, der er nævnt i bogen. For eksempel bliver CO<sub>2</sub>-målere benyttet ved grænsekontroller til at afsløre flygtninge, der forsøger at skjule sig i store varevogne eller containere. Flygtningenes vejtrækning gennem mange timer vil nemlig resultere i en højere CO<sub>2</sub>-koncentration i vognen end normalt.

## Jordens lune tæppe Carbons jordomrejse Kuk i carbonkredsløbet

Disse afsnit lægger vægt på at forklare henholdsvis den naturlige og den øgede drivhuseffekt. Ligeledes bliver det naturlige carbonkredsløb og menneskets indflydelse på dette forklaret. Eleverne får derved en forståelse for, at CO<sub>2</sub> og carbon ikke kun er relevant i sammenhæng med fossile brændstoffer og øget drivhuseffekt, men også udgør en livsnødvendig del af atmosfæren og en naturlig del af menneskets respiration.

Bemærk, at atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold på den nordlige halvkugle er højere om vinteren end om sommeren. Om sommeren er den samlede fotosyntese større end respirationen, hvorved der er et nettooptag af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Om vinteren vendes billedet, når løvtræerne taber bladene, og planter dør. Det døde materiale bliver nedbrudt, den samlede respiration overstiger fotosyntesen, og CO<sub>2</sub>-koncentrationen sti-



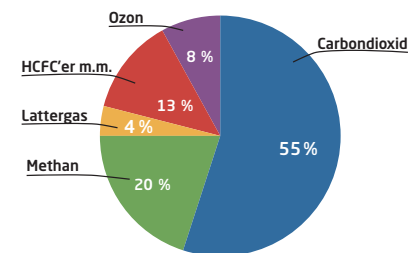
**Atmosfærisk CO<sub>2</sub>** målt ved Manua Loa Observatoriet. Kilde: [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)

ger. Den takkede kurve, der opstår, når man måler CO<sub>2</sub>-koncentrationen, kaldes Keeling-kurven opkaldt efter Charles D. Keeling (1928-2005). Han var en amerikansk pioner inden for måling af CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Nyeste målinger fra Manua Loa Observatoriet på Hawaii for CO<sub>2</sub>-koncentrationen kan hentes fra [www.esrl.noaa.gov/gmd/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/).

En drivhusgas kendetegnes ved, at den absorberer infrarød (IR) stråling, også kaldt varmestråling, i atmosfæren. Luftarter med denne egenskab skal have mindst tre molekyler. Derfor fungerer hverken nitrogen (N<sub>2</sub>) eller oxygen (O<sub>2</sub>) som drivhusgas, selvom de udgør størstedelen af vores atmosfære. Bidraget til global opvarmning fra en given drivhusgas afhænger blandt andet af, hvilke dele af det infrarøde spektrum gassen absorberer, og af gassens levetid i atmosfæren. Som skemaet på næste side viser, absorberer methan for eksempel langt mere IR-stråling end CO<sub>2</sub>. Til gengæld er methans levetid i atmosfæ-

ren kort. Endelig afhænger en drivhusgas' effekt også af mængden af gassen. Der er langt mere CO<sub>2</sub> end methan i atmosfæren.

Det overrasker måske de fleste elever at høre, at den vigtigste drivhusgas er vanddamp, som udgør 2/3 af den samlede mængde drivhusgasser. Dette er et godt eksempel til at aflive typiske misforståelser om, at drivhusgasser er 'giftige' eller 'farlige at indånde'. Koncentration af vanddamp i atmosfæren afgøres først og fremmest af Jordens overfladetemperatur. Højere temperaturer fører til højere fordampning og mere vand-



### Bidraget fra forskellige drivhusgasser

til den totale menneskeskabte øgning af drivhuseffekten. Kilde: [www.global-klima.org](http://www.global-klima.org)

De vigtigste drivhusgasser (foruden vanddamp)						
Drivhusgas	Kemisk formel	Før-industriell koncentration	Koncentration år 2005	Atmosfærisk levetid (år)	Menneskeskabte kilder	Global opvarmningseffekt
<b>Carbondioxid</b>	CO <sub>2</sub>	280 ppm	379 ppm	Variabel 400-1.000	Fossile brændstoffer, cementproduktion, opdyrkning af jord	1
<b>Methan</b>	CH <sub>4</sub>	0,70 ppm	1,77 ppm	12	Fossile brændstoffer, rismarker, landbrugsdyr	21
<b>Dinitrogenoxid (lattergas)</b>	N <sub>2</sub> O	0,28 ppm	0,32 ppm	114	Gødning, forbrændingsmotorer, industri	310

Med global opvarmningseffekt menes, hvor meget varme en drivhusgas kan tilbageholde i forhold til CO<sub>2</sub>.

damp i atmosfæren. Menneskets aktiviteter påvirker ikke direkte luftens indhold af vanddamp, men det er en god øvelse for eleverne at overveje, om vi indirekte risikerer at påvirke mængden af vanddamp. Med lidt hjælp kan eleverne nå til den rette konklusion, at hvis øget udledning af menneskeskabte drivhusgasser som CO<sub>2</sub> hæver temperaturen, kan det medføre en øget fordampning af vand og altså en selvforstærkende drivhuseffekt.

Som et humoristisk indslag i undervisningen om drivhusgasser kan methan fra prutter og bøvser tages op som et emne. Drøvtyggere som for eksempel køer er den største enkeltstående kilde til udledning af methan og står for i alt 22 %. På [www.dmi.dk](http://www.dmi.dk) kan man blandt andet læse mere om forskeres forsøg på at ændre kostsammensætningen for drøvtyggere og derved spare på udledningen af drivhusgasser. Menneskeprutter indeholder også methan, og vi producerer 1-2 liter prutter dagligt. Mere information kan ses på [www.netdoktor.dk](http://www.netdoktor.dk).

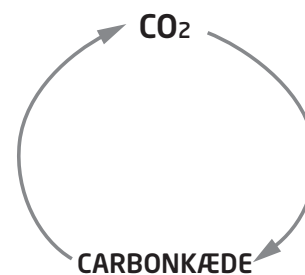
### Fire fede forslag

Kapitlet gennemgår fire løsningsforslag til CO<sub>2</sub>-problematikken. Alle indeholder de fordele og ulemper, som er fremhævet med grønne og røde smileys. Løsningsforslagene fokuserer på at udnytte de fossile brændstoffer bedre ved at forbedre de nuværende industrielle processer (forslag 1), indfange CO<sub>2</sub>-forureningen (forslag 2), skifte til vedvarende energi (forslag 3) og endelig lære at bruge CO<sub>2</sub> og vedvarende energi til at lave nye brændstoffer (forslag 4).

Ideen med at omdanne vedvarende energi til kemisk energi ved hjælp af katalysatorer er gennemgående for hele bogen, men i dette kapitel fremhæves CO<sub>2</sub> som et nyt råstof til at lave CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer. Princippet i CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer er, at de udleder samme mængde CO<sub>2</sub> til atmosfæren, når de brændes af, som de optog fra atmosfæren for at blive dannet. Ved hjælp af elektrisk energi fra eksempelvis vindmøller og solceller vil CASE fremstille carbonholdige brændstoffer som methanol eller længere carbonkæder fra CO<sub>2</sub>

og vand. Fordelen ved længere carbonkæder er, at de indeholder mere energi per kilo, er nemmere at blande i benzin og er mindre giftige. Det er dog en stor udfordring at styre reaktionerne til at fremstille methanol frem for den kortere methan. Hvis udbyttet af reaktionen ikke er højt nok, bliver produktionen for dyr. En anden udfordring er at få processen til at forløbe ved lavere temperaturer end de 300 °C, det normalt kræver at fremstille methanol. Ideelt set skal brændstoffet kunne fremstilles ved stuetemperatur, så processen ikke er afhængig af store, krævende fabrikker, men også kan foregå på mindre, lokale produktionsanlæg for eksempel i ulande. Denne problemstilling er den samme for fremstillingen af ammoniak til brændstof, der bliver gennemgået i elevbogens kapitel 5. Læs mere på [www.case.dtu.dk](http://www.case.dtu.dk).

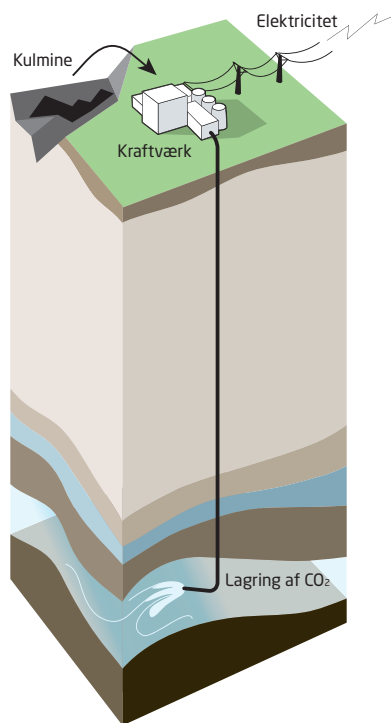
I takt med at CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer erstatter fossile brændstoffer, kan vi altså bremse den stigende mængde CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Men fossile brændstoffer bliver fortsat brugt i højere grad, og de vil blive brugt mange årtier endnu. Derfor kan andre løsninger på CO<sub>2</sub>-problematikken være relevante her og nu, som for eksempel at indfange og opbevare den CO<sub>2</sub>, vi udleder.



Teknologien kendes på engelsk som CCS, Carbon Capture and Storage. I elevbogens afsnit nævnes Sleipner-reservoiret i Nordsøen, som allerede opbevarer 8 millioner ton  $\text{CO}_2$ . Den naturgas, der udvindes fra Sleipner, indeholder nemlig 9 %  $\text{CO}_2$ , som i stedet for at blive udledt til atmosfæren bliver deponeret i undergrunden. Der findes forskellige metoder til at rense naturgas eller røggas fra fabrikker for  $\text{CO}_2$ . Én metode er at lede gassen hen over en amin-opløsning, som optager  $\text{CO}_2$  (aminer er molekyler med mindst en N-C binding, og hvor nitrogen er bundet til hydrogen hvis ikke til carbon). Efterfølgende koges blandingen, så  $\text{CO}_2$  frigøres, hvorefter den komprimeres og pumpes ned i undergrunden. Et pilotprojekt fra Dong Energy på Esbjergværket har med succes vist, at 90 % af røggassens  $\text{CO}_2$  kan fanges ved hjælp af denne teknologi. En af de store udfordringer er dog at nedbringe energiforbruget.

Selvom lagring af  $\text{CO}_2$  er en forholdsvis ny teknologi, har det længe været muligt at indfange  $\text{CO}_2$  fra en blanding med andre gasser. For eksempel har ubåde anlæg, der benytter kemisk absorption til at rense luften for  $\text{CO}_2$ . Ellers ville mandskabets udånding af  $\text{CO}_2$  efterhånden gøre luften umulig at leve i.

En sjov opgave for eleverne kan være at udregne deres egen udledning af  $\text{CO}_2$ . Opgaven kan løses hjemme eller i undervisningen, hvis der er et smartboard i klassen med internetadgang. Testen kan findes på hjemmesiden for Dong Energy under 'Tjek dit forbrug'. Efter at



have gennemført testen oplyses der, hvor mange ton  $\text{CO}_2$  man sparer årligt, hvor mange plantede træer det svarer til, og hvor mange ikke-kørte kilometer. Se [www.dongenergy.dk](http://www.dongenergy.dk).

I 2009 var Danmarks energiforbrug på 809 petajoule (PJ,  $10^{15}$  joule), mens vores samlede produktion af primær energi var på 1008 PJ. Siden 1997 har vi produceret mere energi, end vi forbruger, og derfor eksporteret energi. Uddybende oplysninger og statistik over Danmarks forbrug af energi samt  $\text{CO}_2$ -udledning udgives årligt på Energistyrelsens hjemmeside [www.ens.dk](http://www.ens.dk). Statistik over verdens forbrug af energi, fordeling af energikilder samt  $\text{CO}_2$ -udledning kan hentes fra U.S. Energy Information Administration, [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov).

## Klasseopgaven

I klasseopgaven sidst i kapitlet opfordres eleverne til at arbejde videre i grupper med et af de fire forslag til at løse  $\text{CO}_2$ -problemet, som er beskrevet i kapitlet. Eventuelt kan lektierne tilrettelægges, så eleverne læser de indledende sider i kapitlet samt det ene løsningsforslag, de vælger at arbejde med i klasseopgaven. De løsningsforslag, elevgrupperne ikke selv arbejder med, får de i stedet fremlagt af deres klassekammerater.

I klasseopgaven skal eleverne konkurrere om et fiktivt legat til støtte til deres løsningsforslag. Eleverne skal derfor have forstået fordelene ved deres forslag, men også ulemperne. Legater bør nemlig tildeles dem, der bedst kan argumentere for, hvordan de vil forbedre og udvikle deres løsningsforslag. Opgaven afrundes med en afstemning, hvor klassen kårer den gruppe, der har argumenteret bedst. En rigtig præmie til vinderne kan kun bidrage til festlighederne. Efter konkurrencen kan læreren følge op på oplæggene og diskutere med eleverne, om de mener, vi som samfund bør koncentrere alle vores ressourcer på ét løsningsforslag eller udvikle mange sideløbende. Et gennemgående tema i bogen er, at fremtidens energiforsyning næppe bliver fossilfri, uden at vi gør brug af mange løsninger.

## Svar på opgaver

? Prøv at gå på nettet og undersøg, hvilken tilstandsform CO<sub>2</sub> har i brandslukkere og ved køling af druer. *Se f.eks. wikipedia.org.*

**Svar:** CO<sub>2</sub>-brandslukkere indeholder flydende CO<sub>2</sub> under tryk. Når væsken frigives fra flasken, bliver den til fast stof og gas. Det faste stof omdannes til gasformig CO<sub>2</sub>. På fast form (tøris) bruges CO<sub>2</sub> blandt andet i vinindustrien til at køle druerne.

? Hvad består atmosfæren af på Venus? Hvad er den gennemsnitlige temperatur her? *Se f.eks. rummet.dk.*

**Svar:** Hovedbestanddelen af Venus' atmosfære er carbondioxid (96,5 %) og nitrogen (3,5 %). Gennemsnits-temperaturen er 465 °C.

? Sammenlign billedet til højre med billedet på side 31. Hvordan påvirker mennesker drivhuseffekten?

**Svar:** Ved at flippe mellem side 27 og 31 kan eleverne visuelt sammenligne den naturlige drivhuseffekt og den øgede drivhuseffekt. Øget drivhuseffekt ses i sammenhæng med øget forbrug af fossile brændstoffer og mere CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Det medfører, at en større mængde af Jordens varmestråling tilbageholdes i atmosfæren på trods af, at solindstrålingen er den samme.

? Hvor meget CO<sub>2</sub> udleder en dansker i forhold til en svensker, en amerikaner og en filippiner? *Se f.eks. globalis.dk.*

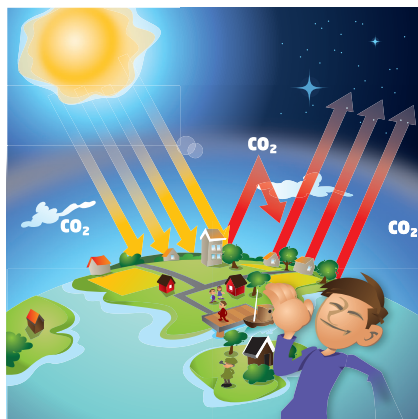
**Svar:** En dansker udledte i gennemsnit 9,18 ton CO<sub>2</sub> i 2007, en svensker udledte 5,38 ton, en amerikaner 18,91 ton, og en filippiner udledte 0,8 ton. Opgaven kan efterfølges af en klasserunde, hvor eleverne selv prøver at vurdere, om de udleder mere eller mindre end gennemsnittet. Eksempelvis kan de overveje: Hvor ofte rejser de til udlandet? Hvor mange elektriske apparater har de på værelset? Hvordan transporterer de sig rundt?

? 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?

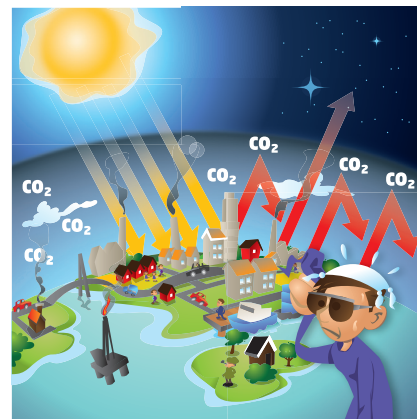
**Svar:** Et CO<sub>2</sub>-lager med en given mængde vil have udledt al gassen igen efter 100 år, hvis det lækker med 1 % af den oprindelige mængde om året. Hvis det lækker med 5 %, er gassen udledt igen efter 20 år.

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

**Svar:** Nøglesætninger for eleverne kan være: øger ikke mængden af CO<sub>2</sub>, kan ikke bruges op, er ikke baseret på fossile brændstoffer, er tilgængelig for alle.



Drivhuseffekten (side 27).



Øget drivhuseffekt (side 31).

## Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

I eksperimentsamlingen findes både en vejledning til eleverne og til lærerne.

