

Energi på lager

Wulffeld, Elisabeth; Hansen, Anne

Publication date:
2011

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Wulffeld, E., & Hansen, A. (2011). Energi på lager. Catalysis for Sustainable Energy (CASE), Danmarks Tekniske Universitet.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Den måske største udfordring, som verden står overfor lige nu, er, hvordan vi skaffer rigelig, ren og vedvarende energi i fremtiden. Hvis sol, vind og vand skal dække vores energibehov, er vi nødt til at finde ud af, hvordan vi skaffer energi, når det er vindstille, eller Solen ikke skinner. Vi skal lære at lægge overskydende energi på lager. Vi skal også blive bedre til at omdanne vedvarende energi til brændstoffer, som vi kan bruge i vores transportmidler. *Energi på lager* handler om forskernes jagt på ren energi og fremtidens brændstoffer.

Energi på lager er et undervisningsmateriale til fysik/kemi-elever i 8.-9. klasse. Det samlede materiale består foruden elevbogen af tilhørende eksperimenter og lærervejledninger samt otte korte film. Alt materiale er udsendt som klassesæt til landets grundskoler og kan desuden frit downloades fra www.energipaalager.dk. Her finder man også supplerende materiale og elevbogen som e-bog.

Energi på lager

Energi på lager

Følg forskernes jagt på ren energi og fremtidens brændstoffer



Fra miljøsynder til eftertragtet råstof

Fra sort til gul energi

Affald på tanken

Verdens bedste energikilde

Ammoniak som grønt brændstof



DTU

CASE

Catalysis for Sustainable Energy

DTU



Energi på lager

Følg forskernes jagt på ren energi og fremtidens brændstoffer

Elisabeth Wulffeld
Anne Hansen



Energi på lager

DTU

1. udgave, 1. oplag, 2011

Oplag: 65.000

ISBN: 978-87-87669-29-0

Elevbogen kan frit hentes som e-bog og pdf-fil på www.energipaalager.dk.

Ansv. redaktør: Anne Hansen, CASE

Forfattere: Elisabeth Wulffeld, Anne Hansen, CASE

Fagredaktører:

Erik Both, lærebogsforfatter

Henning Henriksen, lærebogsforfatter

Dorthe Adamsen, skolekonsulent og lærer, Tårnby Kommune

Charlotte Degn Bauner, lærer, Tårnby Kommune

Elzebeth Wøhlk, skolekonsulent og lærer, Tårnby Kommune

Knud Skov, skolekonsulent, Gladsaxe Kommune

Ole Trinhammer, cand.scient., Nanotekar, DTU Fysik

samt forskere fra CASE, DTU

En stor tak til alle for omhyggelig gennemgang af materialet og for mange gode råd og vejledning.

Grafisk design: Andreas Hermansen

Grafisk tilrettelæggelse: Anne Frejberg Juhl-Schmidt og Grethe Kofoed

Fotograf: Lisbeth Holten

Illustrator: Martin Ørsted Rasmussen

Korrektur: Lene Bengtsen

Tryk: Trykcentret

Bogen er trykt på FSC-mærket papir.

Undervisningsmaterialet er produceret og udgivet af forskningsinitiativet Catalysis for Sustainable Energy (CASE) ved Danmarks Tekniske Universitet.

Undervisningsmaterialet er udgivet med støtte fra Nordea-fonden og Familien Hede Nielsens Fond.

NORDEA
FONDEN

Eksterne samarbejdspartnere:

CONCITO – Danmarks grønne tænketank

Haldor Topsøe A/S

Scan koden med din mobil, og besøg www.energipaalager.dk.

Sms 'scan' til 1220 for at hente program (almindelig sms-takst).



Fremtidens energiforsyning

CO₂-udledning, klimaforandringer og mangel på energi i fremtiden er emner, som nutidens unge dagligt konfronteres med. I langt færre tilfælde stifter de bekendtskab med de løsningsforslag og forskningsresultater, der skal bidrage til opbygningen af et samfund baseret på vedvarende energikilder. Det vil vi gerne ændre på.

‘Energi på lager’ er et undervisningsmateriale om videnskaben bag fremtidens energiforsyning. Materialet henvender sig til fysik/kemi-elever i 8. og 9. klasse og er udarbejdet af forskningsinitiativet Catalysis for Sustainable Energy (CASE) på DTU. Formålet er at fortælle eleverne om den forskning, der foregår netop nu inden for vedvarende energi, og præsentere dem for teknologier og forskningsresultater, der kan være med til at løse de udfordringer, deres egen fremtid bliver præget af. Arbejdsgruppen bag materialet er sammensat af interne og eksterne fagfolk herunder kommunikationsfolk, forskere, lærere, elever samt lærebogsforfattere.

Energi på lager

Det gennemgående tema er udnyttelse af vedvarende energi med fokus på, hvordan vi sikrer en billig, rigelig og stabil energiforsyning fri for fossile brændstoffer. Vi skal lære at lægge overskydende energi på lager til tidspunkter med lav produktion eller højt forbrug. Det er i høj grad forskning og teknologi i samspil, der skal løfte denne opgave. Fokus for forskningen i CASE er udviklingen af katalytiske materialer, der gør det lettere at omdanne vedvarende energi til kemisk. Den kemiske energi kan lagres og transporteres som brændstoffer og dermed bruges i transportsektoren. Desuden kan brændstofferne gemmes og dermed sikre en stabil energiforsyning baseret på sol, vind, vand og biomasse. Målet for CASE er udviklingen af katalysatorer, der er billigere og mere effektive end dem, vi har i dag.

Materialet formidler ikke kun forskningen i CASE, men præsenterer også mange andre spændende forslag og forskningsresultater inden for udnyttelse af vedvarende energi. I udarbejdelsen af materialet har vi tilstræbt en vigtig balance mellem samfundets alvorlige problemstillinger inden for energiforsyning og de positive vinkler på en række løsningsforslag. Derved skulle eleverne gerne opnå en erkendelse af emnets vigtighed, men uden at føle sig håbløst konfronteret med det. Endvidere fremhæves personlige fortællinger om unge forskere og deres arbejde for at inspirere eleverne og give dem et indblik i livet som forsker.

CASE

CASE er finansieret af en bevilling på 120 millioner kroner fra Videnskabsministeriet. Bevillingen har gjort det muligt at samle nogle af de dygtigste danske og udenlandske forskere inden for katalyse. Som universitet og forskere ønsker vi at bidrage til forståelsen af udfordringer og løsninger inden for fremtidens energiforsyning især hos nutidens yngre generationer. Det er vores håb, at vi med ‘Energi på lager’ har skabt et inspirerende og faglig relevant undervisningsmateriale, der illustrerer mulighederne for udnyttelse af vedvarende energikilder og den dertil nødvendige forskning. Desuden håber vi, at elevernes forståelse og interesse for naturvidenskab bliver styrket gennem arbejdet med energi og katalyse.

God fornøjelse!

Jens Kehlet Nørskov
Leder af CASE

Søren Dahl
Leder af CASE

Anne Hansen
Associeret leder og redaktør





Fra sort til gul energi

I fremtidens energiforsyning skal olie, kul og naturgas skiftes ud med ren og vedvarende energi. Her spiller Solen en vigtig rolle.

6



Fra miljøsynder til eftertragtet råstof

I CO₂-projektet vil forskerne bruge overskydende strøm fra for eksempel vindmøller til at spalte CO₂ og lave kemisk energi i nye carbonmolekyler.

20



Verdens bedste energikilde

Energi fra Solen kan ubesværet dække verdens hastigt stigende energibehov. Derfor prøver forskerne at lave solenergi om til brændstoffer.

44

Indhold

| | |
|--|-----|
| Kapitel 1: Fra sort til gul energi | 6 |
| Kapitel 2: Fra miljøsynder til eftertragtet råstof | 20 |
| Kapitel 3: Verdens bedste energikilde | 44 |
| Kapitel 4: Affald på tanken | 66 |
| Kapitel 5: Ammoniak som grønt brændstof | 86 |
| Ordliste | 106 |
| Register | 110 |
| Billedkilder | 112 |



Affald på tanken

CASE-forskerne vil bruge rester fra marken og skraldespanden til at lave fremtidens brændstoffer. Men først skal de udvikle nogle rigtig gode 'katte'.

66



Ammoniak som grønt brændstof

I ammoniakprojektet arbejder forskerne på at gemme elektrisk energi som kemisk energi i ammoniak.

86

Fra sort til



gul energi



Forskerne gemmer sol til natten ved hjælp af katten.

Fremtidens energiforsyning byder på store udfordringer. Fossile brændstoffer forurener, mens vedvarende energi er svær at gemme og svær at forbrænde i vores transportmidler. Derfor leder forskerne efter metoder til at omdanne og gemme solenergi.

Indhold – Kapitel 1

| | |
|--|----|
| Introduktion: Den store energiudfordring | 10 |
| Energi | 11 |
| Energikilder | 12 |
| Fossile brændstoffer | 13 |
| Forskerne dyrker Solen | 14 |
| Kemiske katte | 15 |
| Mød forskerne i CASE | 16 |
| Kan du arbejde som forsker? | 17 |
| Resume: Den manglende brik | 18 |
| Det ved du nu | 19 |
| Test dig selv | 19 |



Hvad sker der i dette kapitel?

- ☛ Olie, kul og gas indeholder kemisk energi.
- ☛ Kemisk energi bliver til varme, strøm og brændstoffer.
- ☛ Fossile brændstoffer er billige og kan nemt bruges i vores transportmidler.
- ☛ Fossile brændstoffer forurener og slipper en dag op.
- ☛ Sol, vind og vandkraft bliver aldrig brugt op.
- ☛ Vi kan ikke få energi fra sol og vind, når det er mørkt eller vindstille.
- ☛ Forskerne bruger katalysatorer til at omdanne solenergi til kemisk energi.
- ☛ Forskerne leder efter billigere og bedre katalysatorer.

Grundstoffer i dette kapitel:

Au (dansk: guld)

er et blødt metal, som sjældent reagerer med andre stoffer. For eksempel reagerer guld ikke med luftens oxygen, og metallet skal derfor aldrig pudses. Der findes kun begrænsede mængder guld i naturen.

C Carbon (dansk: kulstof)

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

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 mange 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 nitrogenmolekyler er en af de stærkeste kemiske bindinger, der findes.

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 .

Pt Platin

er et sjældent metal, som er dyrere end guld. Det er utroligt holdbart og kan tåle høje temperaturer. Platin bruges både i industrien og i smykker.

Kemiske forbindelser i dette kapitel:

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 stoffet bruges også som brændstof til biler.

NH_3 Ammoniak

er en giftig gas med en ubehagelig lugt. Det er det næstmest producerede kemikalie i verden. Ammoniak bliver primært brugt til at lave kunstgødning, men det er også et rigtigt godt brændstof.

Olie, kul og naturgas

Olie, kul og naturgas er fossile brændstoffer dannet fra døde dyr og planter. Brændstofferne indeholder kemisk energi, der frigives, når de forbrændes. Olie, kul og naturgas består primært af carbon og hydrogen, der under forbrændingen omdannes til CO_2 og H_2O .



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.



Se også filmen
'Hvad er problemet?'



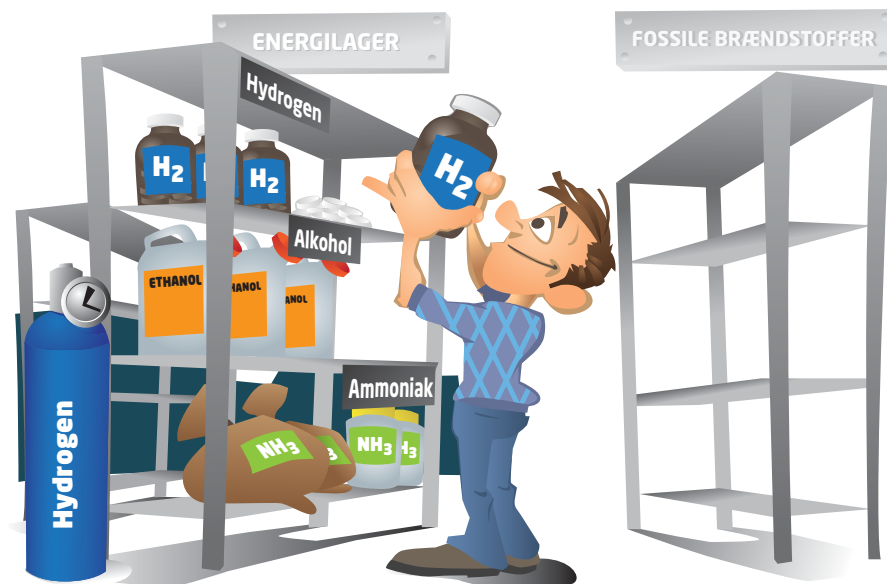
Den store energiudfordring

En af de største udfordringer, som verden står over for lige nu, er, hvordan vi skaffer rigelig, ren og *vedvarende energi* i fremtiden. Uden energi går verden i stå. Energi er grundlaget for vores rige, moderne samfund og helt uundværlig, hvis vi vil bekæmpe fattigdom og sygdomme. Desuden bliver vi flere og flere mennesker, der alle har brug for energi. Uheldigvis kommer det meste af vores energi i dag fra *fossile brændstoffer* som olie, kul og naturgas, der forurener og på et tidspunkt slipper op.

I fremtidens miljøvenlige energiforsyning spiller Solen hovedrollen. Solen er nemlig den største energikilde, vi

har til rådighed. Samtidig skaber den de fleste andre *vedvarende energikilder*. Selvom vi kalder dem vedvarende, afhænger mængden af energi dog af vejret og tiden på døgnet og året. En stabil energiforsyning kræver derfor, at vi lærer at gemme overskydende energi, så vi har energi på lager til mørke nætter og vindstille dage. I modsætning til olie kan vi heller ikke bruge vedvarende energi direkte til vores transportmidler. I stedet skal vi blive bedre til at omdanne energien til brændstoffer, som vi kan forbruge i vores biler, skibe og fly. I denne bog kan du læse om forskernes jagt på ren energi og fremtidens brændstoffer.

Befolkningsvækst. I 2050 forventes Jordens befolkning at være steget til 9 milliarder mennesker, der alle har brug for energi.



Energi på lager. De fossile brændstoffer forurener, og en dag slipper de op. Derfor har vi brug for den rene, vedvarende energi. Og når det er mørkt eller vindstille, har vi brug for brændstoffer som hydrogen, ethanol og ammoniak fra energilageret.

Energi

Energi E måles i joule (J). Energi er et udtryk for evnen til at udføre et arbejde eller varme noget op. En bilmotor bruger energi til at drive bilen fremad, og en elkedel bruger energi til at varme vand op.

Den mængde energi, som for eksempel elkedlen omsætter per sekund, kaldes for elkedlens effekt. Effekt måles i joule per sekund (J/s) og skrives med symbolet P . En joule per sekund defineres også som en watt (W). I 2008 var verdens gennemsnitlige effektforbrug på $16 \cdot 10^{12}$ watt. Det betyder, at Jordens befolkning hvert sekund året rundt forbruger 16.000.000.000.000 joule.

Ekspertene forudsiger, at verdens samlede effektforbrug stiger til $30 \cdot 10^{12}$ watt i 2050 og $45 \cdot 10^{12}$ watt i 2100. Om blot 90 år skal vi altså skaffe helt op til tre gange så meget energi, som vi forbruger i dag.

Energien skal forsyne os med både varme, strøm og ikke mindst kemisk energi i form af brændstoffer til vores transportmidler.



Der findes mange forskellige former for energi. Uanset formen gælder det dog, at energi hverken kan fremstilles eller forsvinde, den kan kun skifte form. Solceller og vindmøller laver for eksempel sol- og vindenergi om til elektrisk energi, og i elkedlen bliver elektrisk energi lavet om til varme 🔁.

Se også filmen 'Energi skifter form'.

FAKTA

Energi E måles i joule (J).

FAKTA

Effekten P er energiforbruget per sekund (J/s). P måles i watt (W).

En 15 W sparepære forbruger 15 J/s.



Elkedlen omdanner elektrisk energi til varme.



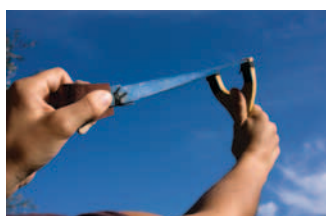
Skriv navnene på de forskellige former for energi, som vises på billedet herunder.

Afhold en fotokonkurrence. Alle i klassen tager billeder af eksempler på energi, der omdannes fra en type til en anden. Den, der finder flest eksempler, har vundet.



Energikilder

Generelt kan de forskellige energiformer inddeles i to kategorier: Bevægelsesenergi, der også kaldes kinetisk energi, og oplagret energi også kaldet potentiel energi.



Energi. Forskellige energiformer kan inddeles i to kategorier: Kinetisk (bevægelse) energi og potentiel (oplagret) energi.

- **Kinetisk energi (bevægelse)** er for eksempel vind- og bølgeenergi.
- **Potentiel energi (oplagret)** kan være energien i en strakt elastik i en slangebøsse. Det er også den energi, der er bundet i de *kemiske bindinger* mellem atomerne i et stof. Når stoffet forbrændes, frigøres noget af den *kemiske energi*, der så kan bruges til at udføre et arbejde. Mad og planter indeholder kemisk energi. Det gør fossile brændstoffer også.











Energi kan også inddeles efter, om den kommer fra en vedvarende eller en midlertidig energikilde. De fossile brændstoffer slipper en dag op, fordi vi forbruger dem langt hurtigere, end

naturen kan nå at gendanne dem. Ekspertter vurderer, at vi kun har olie og naturgas 40-60 år endnu og kul i cirka 200 år.

Ud over de lettilgængelige reserver findes der dog også store reserver af olie og naturgas i blandt andet Canada, Sibirien og Arktis. Disse reserver kan formentlig forsyne os med energi i mange århundreder, men da de er svære at udvinde, afhænger det af, om forskerne kan udvikle teknologien til at udvinde brændstofferne. Desuden vil priserne på fossile brændstoffer stige voldsomt, efterhånden som de bliver sværere og dyrere at skaffe.

Et godt vedvarende alternativ er Solen, som skinner milliarder af år endnu. Desuden skaber Solen hele tiden både vind, bølger, regn, smeltevand og planter. Derfor kalder vi også disse energikilder for vedvarende.

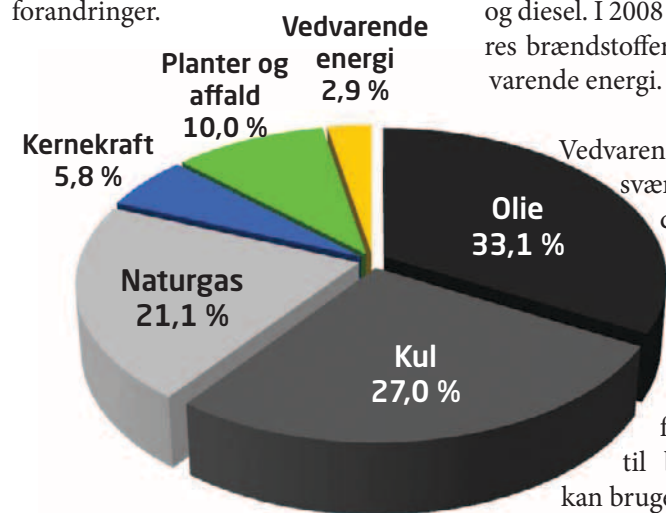
Læs mere om biomasse i kapitel 4.

| Vedvarende energikilder | | Midlertidige energikilder | |
|---|-------------|---|-------------------------|
|  | Solenergi |  | Olie |
|  | Vindenergi |  | Kul |
|  | Bølgeenergi |  | Naturgas |
|  | Vandkraft |  | Uran-baseret kernekraft |
|  | Biomasse | | |
|  | Jordvarme | | |

Fossile brændstoffer

I 2008 kom over 81 % af verdens energi fra olie, kul og naturgas og 5,8 % kom fra *kernekraft*. 10 % kom fra forbrænding af planter og affald, hvoraf en stor del ikke var vedvarende energi. Blot 2,9 % af energien kom fra vedvarende energikilder som sol, vind, vand og jordvarme.

Desværre forurener afbrændingen af fossile brændstoffer. Olie, kul og gas består primært af carbon og hydrogen. Når stofferne forbrændes, reagerer carbonatomerne med oxygen i atmosfæren og danner CO₂. I dag er CO₂-koncentrationen i *atmosfæren* 30 % højere, end den var før den *industrielle revolution* i slutningen af 1700-tallet. Samtidig med CO₂-stigningen har FN's Klimapanel dokumenteret stigende havniveauer, smeltende iskapper og stigende temperaturer ved jordoverfladen. Da CO₂ absorberer varme, tyder det på, at for meget CO₂ i atmosfæren fører til global opvarmning og derigennem til alvorlige klimaforandringer.



Energiforbrug. Verdens forbrug af energi i 2008 fordelt på energikilder.

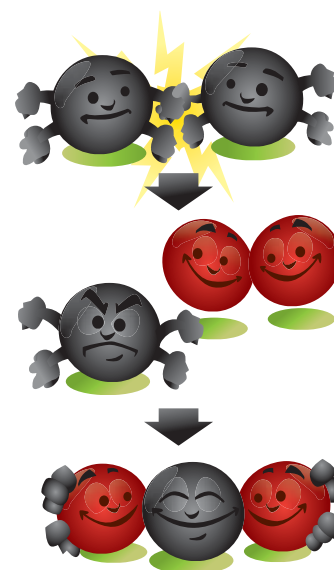
Et andet problem ved fossile brændstoffer er, at en stor del af verdens olie-, kul- og naturgasreserver findes i politisk ustabile lande. Derfor ønsker mange lande at blive uafhængige af fossile brændstoffer og i stedet skabe deres egen vedvarende energiforsyning.

Når vi alligevel bliver ved med at forbruge fossile brændstoffer, skyldes det især to forhold. For det første er de billige, fordi de er relativt nemme at hente op fra undergrunden, og fordi de indeholder meget energi per kilo og per liter. For det andet er fossile brændstoffer, som navnet siger, brændstoffer. Det betyder, at de indeholder kemisk energi, som netop er den energiform, vi bruger i vores biler, busser, skibe og fly.

I Danmark får vi hele 17 % af vores energi fra vedvarende energikilder. Alligevel er vi som alle andre lande stærkt afhængige af kemisk energi fra fossile brændstoffer i form af benzin og diesel. I 2008 kom blot 0,01 % af vores brændstoffer til transport fra vedvarende energi.

Vedvarende energikilder er sværere at udnytte, fordi de ofte indeholder mindre energi per volumen end de fossile brændstoffer. Desuden skal energien laves om flere gange for at blive til brændstoffer, som vi kan bruge i supertankere og fly.

Læs mere om CO₂ i kapitel 2.



Carbon elsker Oxygen. Når carbonholdige molekyler (sort) forbrændes, danner carbonatomerne lynhurtigt par med luftens oxygen (rød), så der dannes CO₂.

Se også filmen
'Lagring af energi'.



På dansk betyder CASE 'Katalyse til vedvarende energi'.



Ved at spalte vand med solenergi, omdannes energien til kemisk energi.



Læs mere om Solen
i kapitel 3.

Læs mere om ammoniak
i kapitel 5.

Forskerne dyrker Solen

Dette kapitel hedder 'Fra sort til gul energi', fordi det er Solen, der skaber alle vedvarende energikilder. Den eneste undtagelse er jordvarme, der kommer fra Jordens indre. Solens energi omdannes til bevægelsesenergi i vind og bølger og gennem *fotosyntesen* til kemisk energi i planterne. Solens varme skaber også regn og smeltevand, der kan bruges til vandkraft.

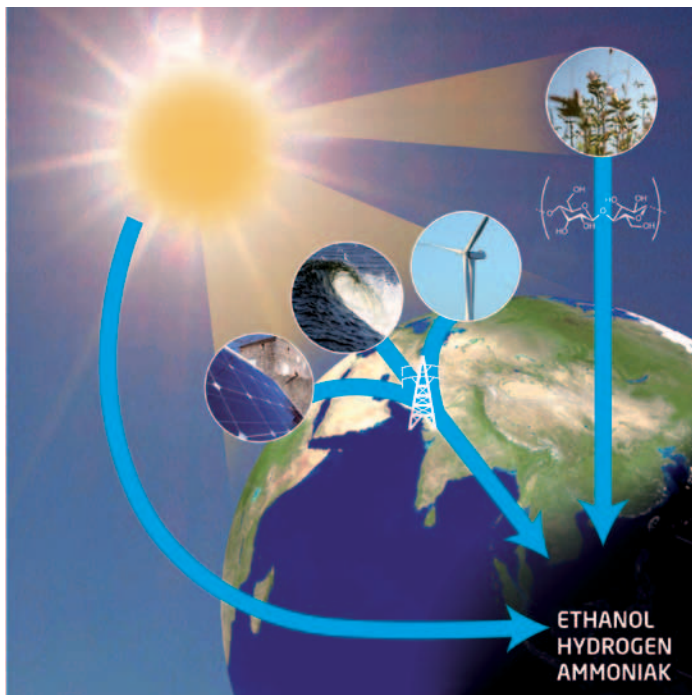
I forskningsprojektet CASE (Catalysis for Sustainable Energy) på DTU arbejder en gruppe forskere, der er vilde med Solen. De har en plan. Forskerne vil lave *solenergi* om til kemisk energi, som kan gemmes og bruges som brændstoffer. For eksempel vil forskerne lave kemisk energi ved at bruge solenergi til at spalte vand til hydrogen (H_2) og oxygen (O_2). Solenergien ligger nu gemt som kemisk energi i bindingerne mellem de to hydrogen-

atomer og de to oxygenatomer. Når hydrogen forbrænder, frigives energien igen, samtidig med at vand gendannes.

Solenergi kan også omdannes til kemisk energi via energi i planter, vind og bølger. Når vindmøllerne for eksempel laver mere strøm, end vi kan nå at bruge, kan strømmen laves om til kemisk energi i ammoniak eller ethanol. I princippet kan man også gemme strøm ved hjælp af batterier. De er dog bedst til at gemme små mængder energi, blandt andet fordi de er længe om at lade op. Hvis man skal gemme meget store mængder energi, fylder batterier desuden alt for meget. I stedet satser forskerne derfor på at omdanne solenergi til kemisk energi. (Ex. 1.1)

Du kan læse mere om CASE-projekter i bogens næste fire kapitler.

Ex



Fra sol til kemi. I CASE vil forskerne omdanne solenergi til kemisk energi i for eksempel hydrogen, ethanol og ammoniak. Omdannelsen kan ske direkte eller indirekte via vind, vandkraft og planter.

Kemiske katte



Se også filmen 'Katalysatorer'.



De kemiske reaktioner, der skal til for at lave solenergi om til kemisk energi, sker ikke af sig selv. Ligesom du er nødt til først at knokle op ad bakke, før cyklen af sig selv triller nedad igen, kræver det energi at skubbe reaktionerne i gang. Det skyldes, at bindingerne mellem atomerne i de gamle molekyler skal brydes, før atomerne kan finde sammen til nye molekyler.

Størrelsen af den bakke, som den kemiske reaktion skal over, før den fortsætter af sig selv, kalder man *aktiveringsenergi*. Energien til at overvinde bakken kan for eksempel komme fra varme. Men for at sænke aktiveringsenergien og dermed energiforbruget tager forskerne kemiske katte til hjælp. 'Katte' er forskerslang for *katalysatorer*, og forskerne i CASE er eksperter i at udvikle katalysatorer.

En katalysator er et materiale, der sætter fart på kemiske reaktioner uden selv at blive forbrugt. 'Katten' virker ved at binde de molekyler, som skal reagere, til sin overflade. Derved svækkes de kemiske bin-

dinge i molekylerne, så de lettere kan danne nye forbindelser. På den måde sænker 'katten' aktiveringsenergien, så reaktionen kræver mindre energi og forløber hurtigere. (Ex. 1.2 og Ex 1.3)

Både naturen og industrien bruger katalysatorer. Naturens katalysatorer er *enzymerne*, mens man i industrien ofte bruger katalysatorer lavet af grundstoffer som platin, kobber og jern. (Ex. 1.4)

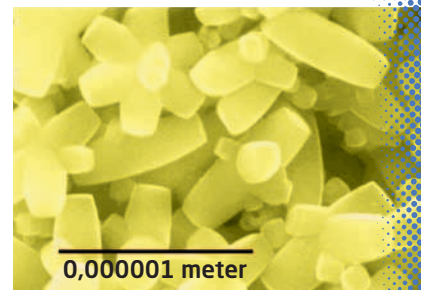
Katalysatorer kan ikke undværes, når solenergi skal omdannes til brændstoffer, fordi de kemiske reaktioner ikke sker af sig selv. Derfor spiller katalysatorer en meget central rolle, hvis vi i fremtiden skal erstatte fossile brændstoffer med vedvarende energi. Desværre er mange af de 'katte', der findes i dag, ikke gode nok. Ofte er de også alt for dyre. For eksempel er platin en rigtig god katalysator, men desværre koster den endnu mere end guld. I resten af bogen kan du læse om CASE-forskernes søgen efter effektive katalysatorer lavet af billige materialer. Målet er at skaffe ren, kemisk energi, som alle har råd til.

Ex

Ex



Katalysatorpiller er fulde af bitte-små katalysatorpartikler. Pillerne bliver brugt i industrien for eksempel til at fremstille plastik.



Katalysatorer er ofte kun få millionte dele af en meter eller endnu mindre. De kan for eksempel være runde, sekskantede eller lignende små blomster.



Aktiveringsenergi. Katalysatorer sænker reaktioners aktiveringsenergi, så de lettere forløber. Det svarer til, at bakken bliver mindre, så det kræver mindre energi at komme over.

Mød forskerne i CASE

Den store opgave, som CASE-forskerne har kastet sig over, kan de naturligvis ikke løse alene. Heldigvis arbejder forskere over hele verden

sammen om at skabe fremtidens rene energiforsyning. I CASE arbejder der forskere fra 13 forskellige lande. Her kan du møde nogle af dem.

Alan fra Mexico, 32 år

Jeg kom til Danmark for at arbejde i CASE. Min kone Wei er fra Kina og arbejder også som forsker i CASE.

Christos fra Grækenland, 31 år

Jeg er forsker i CASE, fordi jeg synes, det er vigtigt at skaffe ren og billig energi i fremtiden.



Fabio fra Italien, 27 år

Selvom jeg er rejst fra solrige Italien, arbejder jeg stadig med solstråler. Jeg afprøver nemlig materialers evne til at spalte vand ved hjælp af solenergi.

Jun fra Kina, 27 år

Jeg undersøger, hvor gode forskellige materialer er til at optage Solens lys. Mit mål er at finde et materiale, som kan optage op til 70 % af Solens lys.

Pia fra Danmark, 27 år

Min forskning går ud på at lave overskydende strøm fra solceller og vindmøller om til kemisk energi. Det kan du høre mere om i filmen om CO₂.

Irek fra Rusland, 26 år

Jeg er på jagt efter katalysatorer, der kan omdanne CO₂, CO og H₂ til brændstoffet methanol (CH₃OH).

**Isabela fra Rumænien, 30 år**

Efter CASE kan jeg vælge at forske videre i Spanien eller hjemme i Rumænien. Jeg tror, jeg fortsætter i Rumænien, så jeg kan se min familie og mine venner.



- Opstil en hypotese om en oplevelse fra din hverdag (hvorfor er din cykel flad, hvorfor faldt kagen sammen?).
- Overvej, hvordan du kan afprøve hypotesen.
- Fremlæg dit forslag for klassen.

Kan du arbejde som forsker?

Videnskaber som fysik og kemi består af en række regler og love, men hvordan er de blevet til, og hvordan ved vi, de er rigtige? Svaret findes i det gamle, græske ord 'hypotese'. En hypotese er et udsagn, som man tror er rigtigt, indtil det bliver modbevist gennem eksperimenter.

Forestil dig, din mobil pludselig går ud. Du opstiller hypotesen: 'Mobilen kan ikke tænde, fordi den er løbet tør

for strøm'. Du oplader mobilen, men den tænder stadig ikke, så din hypotese er forkert. Du opstiller en ny hypotese: 'Mobilen er i stykker, fordi den blev våd i et regnvejr i går'. Du skiller mobilen ad og ser, at den er fuld af fugt. Din anden hypotese giver altså en sandsynlig forklaring på fænomenet. Så længe hypotesen ikke kan modbevises, eller du finder en anden hypotese, som også kan forklare fænomenet, kan du anse din forklaring som troværdig.

Jun fra CASE leder efter materialer til et apparat, som kan omdanne solenergi til kemisk energi. Juns hypotese er, at der findes et materiale, som kan optage hele 70 % af Solens lys. For at afprøve hypotesen undersøger hun en række forskellige materialer. I eksperiment 1.5 skal I selv opstille og afprøve hypoteser om, hvad der sker i en kemisk reaktion i cola. Udfør eksperimentet, og se, om jeres hypoteser er sandsynlige. (Ex 1.5)



Den manglende brik

Fem udfordringer

Fremtidens energikilder skal:

1. Være billige
2. Være rene
3. Være vedvarende
4. Kunne gemmes
5. Kunne omdannes til brændstoffer.



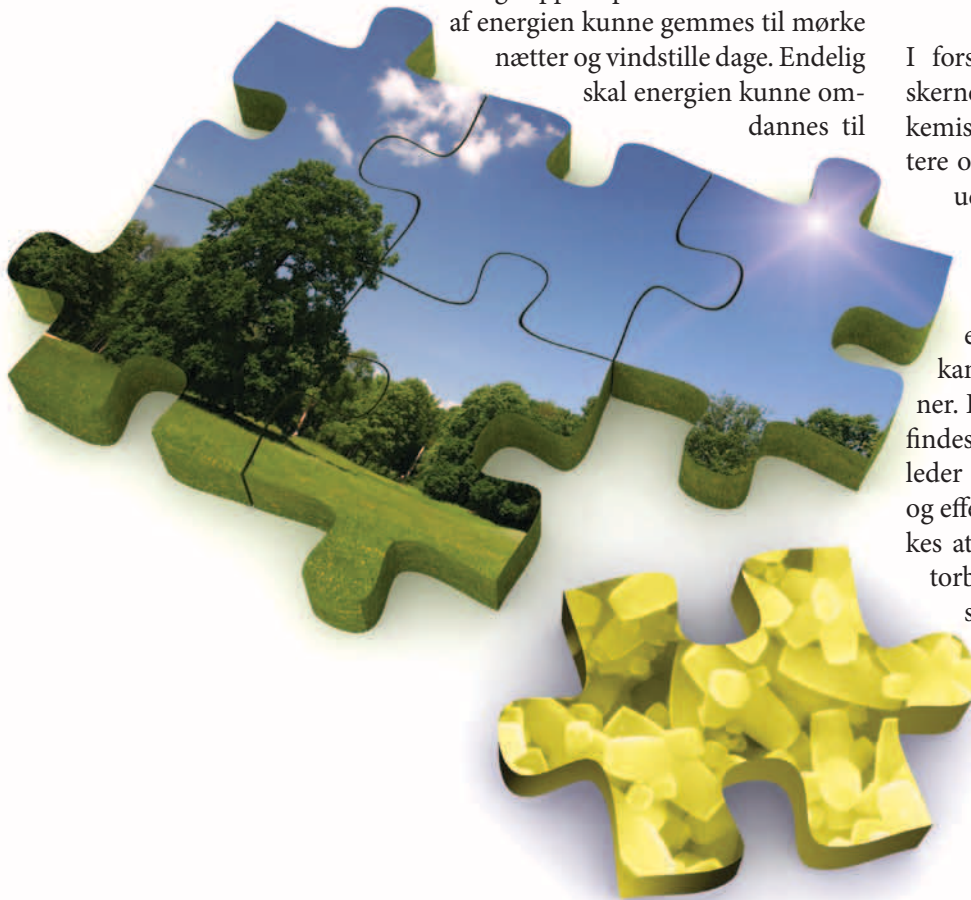
I over 200 år har verden nydt godt af billig og rigelig kemisk energi fra olie, kul og naturgas. I fremtiden har vi brug for endnu mere energi. Ikke mindst i verdens fattige lande, hvor befolkningerne vokser, og hvor de ønsker sig den samme velstand og udvikling som i resten af verden. Derfor er det vigtigt, at fremtidens energikilder er så billige, at alle har råd til dem.

Nye energikilder skal også være både rene og vedvarende i modsætning til de fossile brændstoffer, der forurener og en dag slipper op. Desuden skal en del af energien kunne gemmes til mørke nætter og vindstille dage. Endelig skal energien kunne omdannes til

brændstoffer, som vi kan forbrænde i vores transportmidler.

Kravene til fremtidens energikilder er store. Derfor bliver vores energiforsyning sandsynligvis et puslespil af mange forskellige løsninger afhængigt af, hvilke naturressourcer der er til rådighed. For eksempel har vi meget vind i Danmark, Norge har mange floder med smeltevand, og landene i Afrika har meget sol. Fælles for disse typer energi er dog, at de skal omdannes til andre energiformer, før vi kan udnytte dem effektivt.

I forskningsprojektet CASE vil forskerne omdanne vedvarende energi til kemisk. Kemisk energi er nemlig lettere og mere praktisk at gemme. Desuden kan den bruges som brændstof til vores transportmidler. Men energipuslespillet mangler en brik. Omdannelsen af energi kræver katalysatorer, der kan sætte gang i de kemiske reaktioner. Desværre er de katalysatorer, der findes i dag, ikke effektive nok. Derfor leder forskerne målrettet efter billige og effektive katalysatorer. Hvis det lykkes at finde den manglende katalysatorbrik, kan fremtidens energiforsyning blive ren og vedvarende. Lyse hoveder og gode ideer er velkomne!



Det ved du nu

- Mængden af vedvarende energi afhænger af vejret og tiden på døgnet og året.
- Energi forsvinder aldrig, den skifter bare form.
- Over 81 % af verdens energi kommer fra olie, kul og naturgas.
- Fossile brændstoffer udleder CO_2 .
- Global opvarmning medfører stigende havniveauer, smeltede iskapper og stigende temperaturer.
- Solenergi bliver til vind, vandkraft og planteenergi.
- Kemisk energi kan gemmes og bruges som brændstof.
- Det kræver energi at starte en kemisk reaktion, fordi bindingerne i de reagerende molekyler først skal brydes.
- Katalysatorer sætter fart på de kemiske reaktioner.
- Enzymer er naturens katalysatorer.



Test dig selv

- * Hvilken enhed måles energi i?
- * Hvilken enhed måles effekt i?
- * Hvilke grundstoffer består olie, kul og naturgas primært af?
- * Hvorfor er fossile brændstoffer populære?
- * Giv eksempler på vedvarende energikilder, som forskellige lande har meget af.
- ** Forklar, hvad energi er.
- ** Hvilke tre energiformer har vi brug for i samfundet?
- ** Forklar, hvad kemisk energi er.
- ** Hvilket grundstof danner carbon gerne forbindelser med i atmosfæren?
- ** Hvad kaldes den energi, der skal til for at sætte en kemisk reaktion i gang?
- *** Hvorfor er det svært at udnytte vedvarende energi?
- *** Hvad bruger vi kemisk energi til i samfundet?
- *** Hvordan virker en katalysator?
- *** Hvorfor har forskerne brug for at udvikle nye katalysatorer?
- *** Forklar, hvad en hypotese er.



Fra miljøsynder til eftertragtet råstof

Kan vi lave brændstof af CO₂?

Meget tyder på, at Jorden er ved at få et hedeslag, fordi vi udleder for meget CO₂ til atmosfæren. Hvis vi kan lave CO₂ om til brændstoffer, kan det lille molekyle i stedet blive et eftertragtet råstof. Det kan du læse om i dette kapitel.

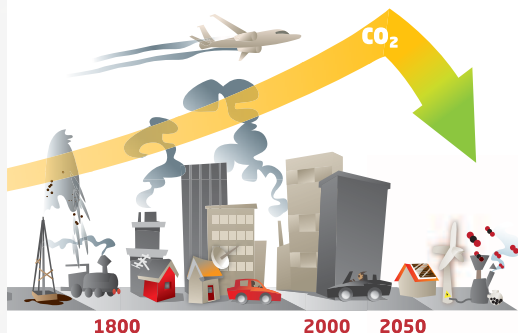
CO₂

Netop nu i forskningen:
CO₂ skal være vores nye
kilde til brændstof.



Fire fede forslag i kampen mod CO₂

32



Forskerens udfordring: 40

Nadia drømmer om kemi og kærlighed



Gyser fra den virkelige verden:

34

Kvæg og mennesker kvalt af CO₂

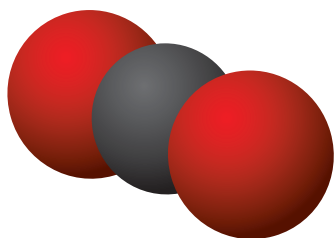


Hvad sker der i dette kapitel?

- ☛ CO₂ 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 CO₂ i atmosfæren.
- ☛ Vi prøver at bruge energien mere effektivt.
- ☛ Forskerne forsøger at trække carbonatomet ud af CO₂.
- ☛ Forskerne vil omdanne vindenergi til kemisk energi i carbonkæder.

Forskerne foreslår:
Få det bedste ud af CO₂

37



Indhold – Kapitel 2

| | |
|--|----|
| Introduktion: Det store CO ₂ -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**

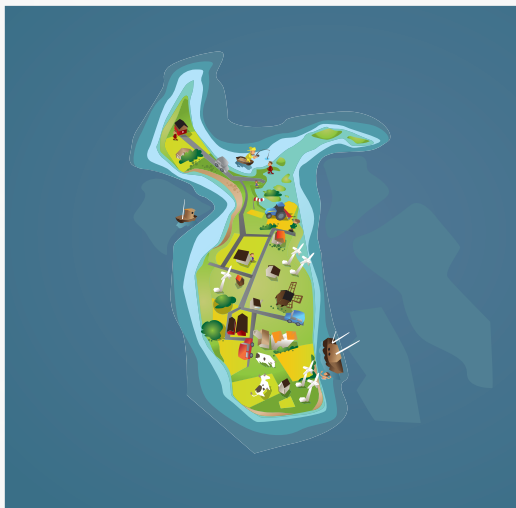
33



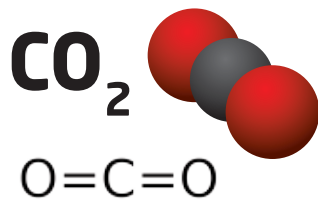
Stolte øboere:

36

"Sådan gjorde vi Samsø CO₂-neutral"



Ethanol



Carbondioxid (CO_2) består af et carbonatom (sort) og to oxygenatomer (røde).

Det store CO_2 -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_2 -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_2 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_2 , 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_2 , 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_2 . 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_2 -eksperiment, vi deltager i.

Men hvad nu hvis vi kunne bruge CO_2 til noget? Forestil dig, at man kunne opsamle CO_2 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_2 direkte fra atmosfæren. Så slipper vi for at bruge olie og kul, og vi genbruger den CO_2 , 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_2 -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.



Sodavandsbrus og is, der ikke smelter

FAKTA

Vidste du, at CO₂ bruges i brandslukkere og til at holde vindruer kolde i vinproduktionen?

CO₂ kan eksistere i tre tilstandsformer: gas, væske eller fast form.

Prøv at gå på internettet og undersøg, hvilken tilstandsform CO₂ har i brandslukkere og ved køling af druer.

Se f.eks. wikipedia.org



CO₂ findes mange steder i hverdagen, for eksempel i din sodavand. Det er nemlig gas af CO₂, der giver bobler i flasken. CO₂ kan også eksistere som væske eller fast stof. Disse tre former kaldes stoffets tilstandsformer.

CO₂ fryser først til fast stof ved -78,5 °C og kaldes da for tørnis. Tørnis ligner tætpakket sne og bruges ofte i industrien til at holde fødevarer kolde. Helt modsat almindelig vand-is smelter tørnis ikke, når temperaturen stiger. I stedet

fordamper det direkte til gas, deraf navnet tørnis. Tilsvarende bliver CO₂-gas direkte til tørnis, når det køles ned til -78,5 °C.

Hvis CO₂ 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 CO₂ altså kun som gas eller på fast form. Gassen CO₂ har en særlig vigtig betydning i atmosfæren.



FAKTA

Jordens atmosfære består af 78 % nitrogen, 21 % oxygen og en række andre luftarter i små mængder. CO₂ udgør knap 0,039 %.

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

Se f.eks. 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 vanddamp, CO₂ og methan (CH₄).

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.

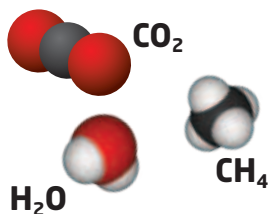
Der er kun knap 0,039 % CO_2 i atmosfæren. Det er meget mindre end mængden af vanddamp, der i gennemsnit udgør 2 % af atmosfæren. Til gengæld har CO_2 -molekylet en meget lang levetid i atmosfæren, så når vi udsleder CO_2 , kan det tage tusindvis af år, før gassen forsvinder igen. Derfor har CO_2 -koncentrationen i atmosfæren stor betydning for temperaturen på Jorden langt ud i fremtiden.



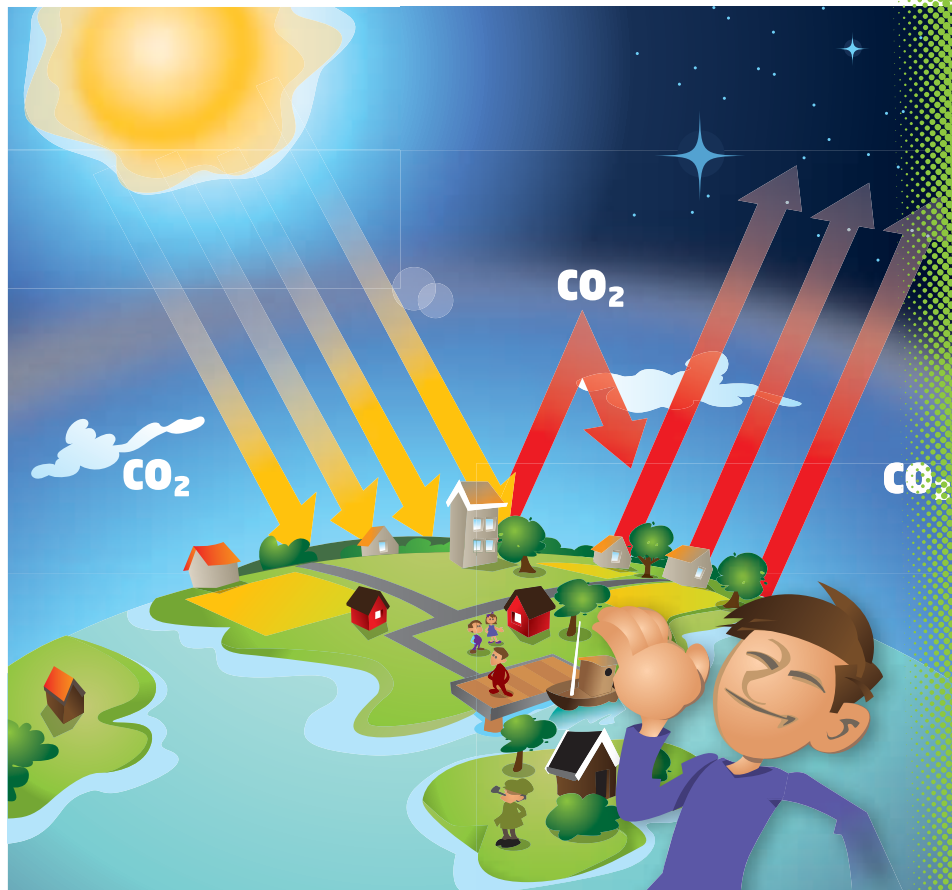
Lysenergi fra Solen bliver til varme på Jorden.

FAKTA

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




Drivhuseffekten. Drivhusgasser som CO_2 holder på varmen omkring Jorden.

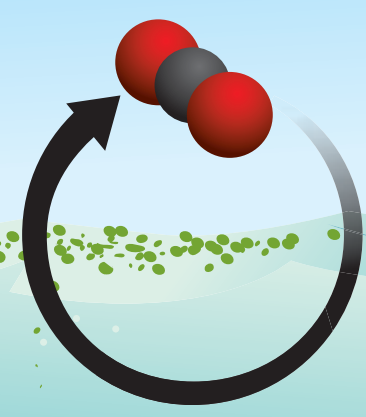


Carbons jordomrejse


CO₂ 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 CO₂.



Dyr og mennesker kan ikke optage CO₂ fra atmosfæren. I stedet skaffer de carbon fra sukker ved at spise planter eller andre dyr.



Oceanerne både optager og frigiver CO₂ til atmosfæren. CO₂ er opløst i vandet som kulsyre (H₂CO₃). Den største mængde carbon i kredsløbet findes i oceanerne.



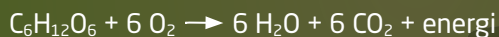
Fossile brændstoffer er energirige, kemiske forbindelser. De bliver dannet, når dødt biologisk materiale som planter og dyr hober sig op i undergrunden.

Planter omdanner CO₂ fra atmosfæren til sukker. Processen kaldes *fotosyntese* og bruger energi fra sollyset. Fotosyntesen danner også O₂.



Der findes mange former for sukker. Glucose har formlen C₆H₁₂O₆.

Planter, dyr og mennesker nedbryder sukker. Processen kaldes *respiration* og forbruger O₂. Respiration danner CO₂.



Døde organismer bliver nedbrudt af bakterier. Bakterierne frigiver CO₂ og CH₄ (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 CO₂. Det er nok til at lægge et 300 meter højt lag af CO₂ 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 CO₂. Energien fra forbrændingen kan vi bruge til opvarmning, elektricitet og transport. Omkring 85 % af verdens energibehov dækkes i dag af fossile brændstoffer.

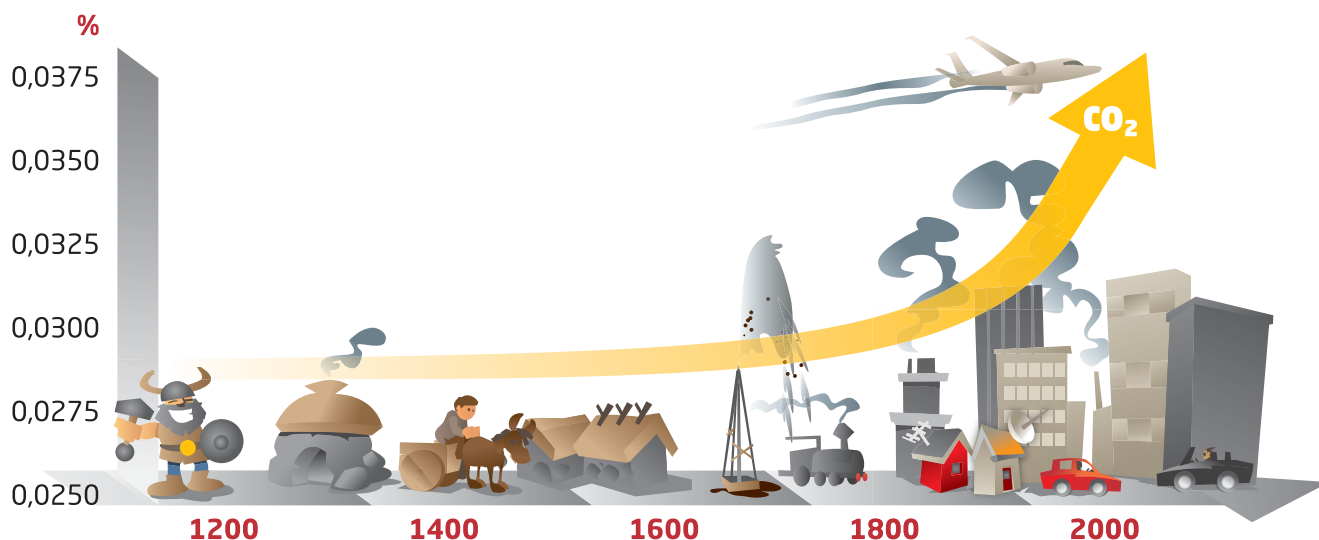
Men de fossile brændstoffer varer ikke evigt. En dag løber vi tør, og inden da skulle vi gerne nå at finde på nye energikilder. Et andet problem, der trænger sig på, er, at når vi brænder olie, kul og naturgas af, flytter vi carbon fra undergrunden til atmosfæren i form af CO₂.



(Ex. 2.2)

CO₂ 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 CO₂ i atmosfæren steget med omkring 35 % over de sidste 130 år. Det ved vi blandt andet, fordi forskere har målt CO₂-koncentrationen i atmosfæren hver måned siden 1958 på Mauna Loa Observatoriet på Hawaii. CO₂-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 CO₂, og de forudsiger, at koncentrationen vil stige yderligere til 0,045 % inden år 2050.

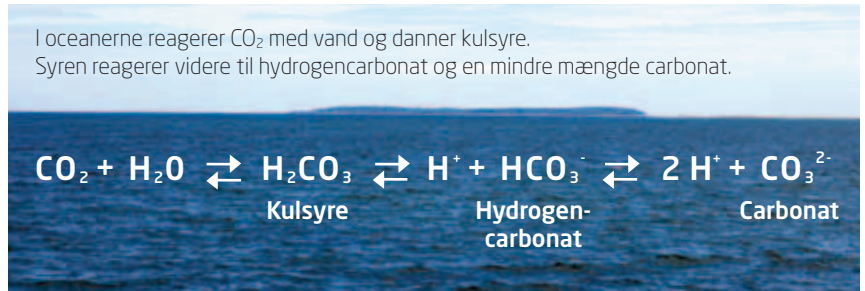


CO₂-koncentrationen i atmosfæren er steget i takt med, at vi har brugt fossile brændstoffer.

Verdenshavene optager noget af den CO₂, 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 CO₂ hurtigt nok. (Ex. 2.3, 2.4)



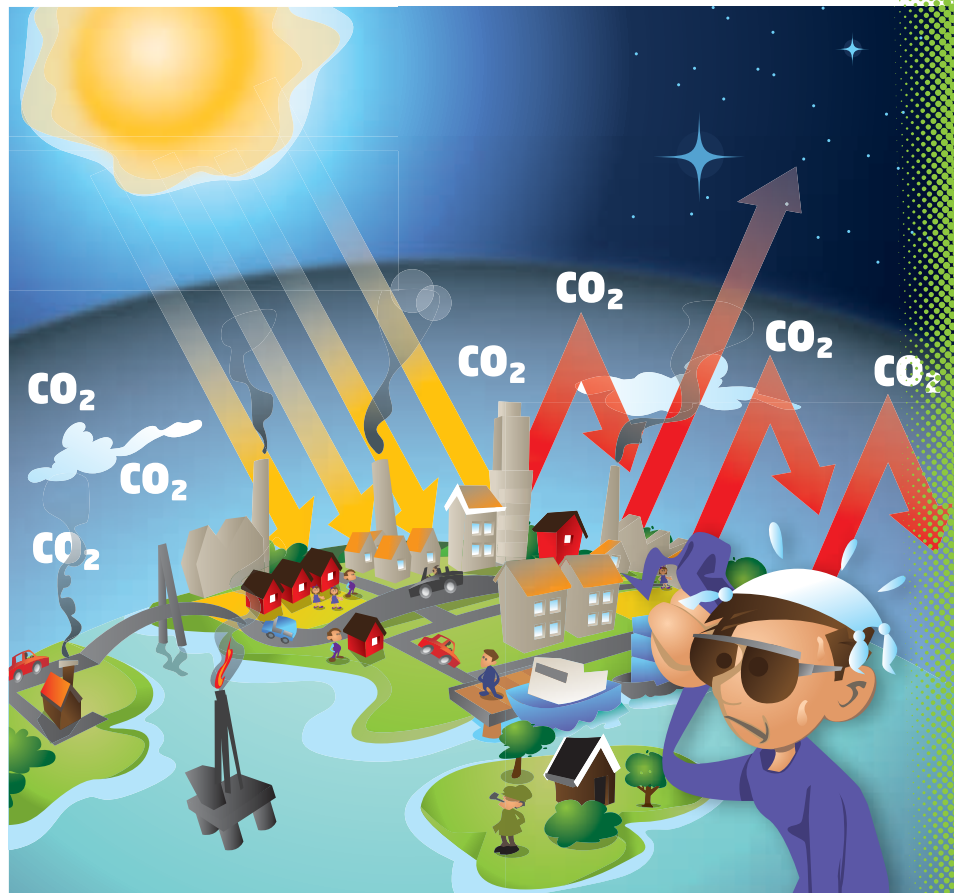
Opløseligheden af CO₂ er størst i koldt vand, så hvis drivhuseffekten stiger, og verdenshavene bliver varmere, kan de ikke indeholde nær så meget CO₂. Alt i alt er verdens CO₂-regnskab enormt kompliceret, men mere drivhuseffekt påvirker uden tvivl carbons kredsløb.



Sammenlign billedet til højre med billedet på side 27.

Hvordan påvirker mennesker drivhuseffekten?

Hvor meget CO₂ udleder en dansker i forhold til en svensker, en amerikaner og en filippiner? Se f.eks. globalis.dk



Øget drivhuseffekt. Afbrænding af fossile brændstoffer udleder CO₂, som øger drivhuseffekten.

Fire fede forslag

Fire fede forslag

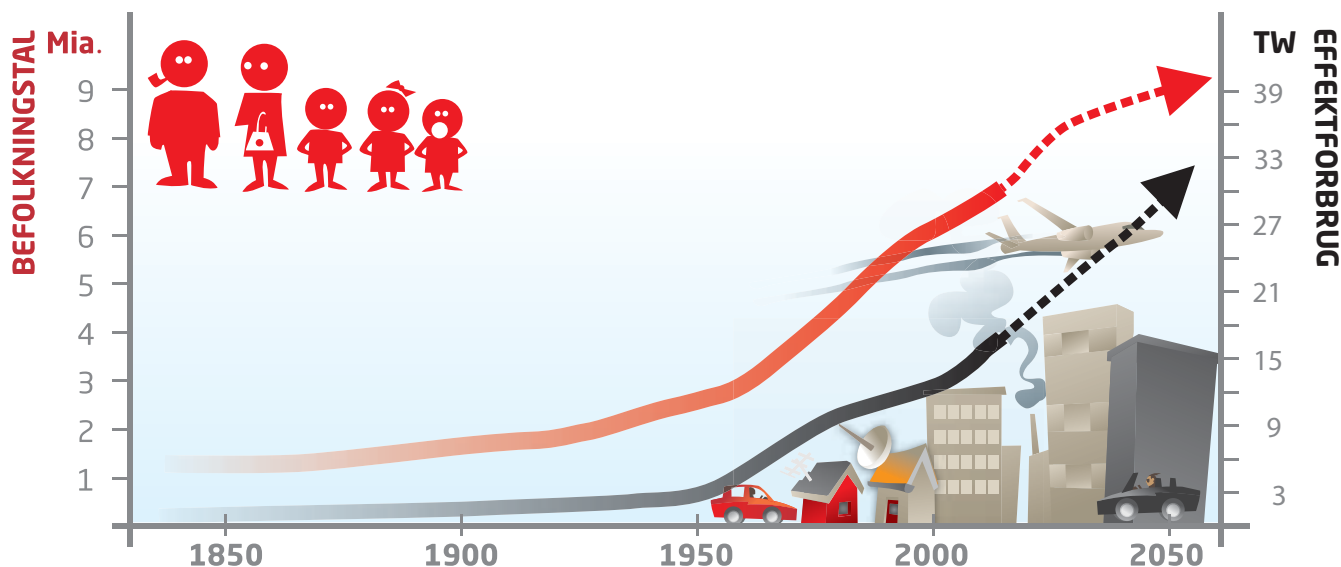
1. Stop energispildet
2. Gem gassen af vejen
3. Brug CO₂-neutral energi
4. Lav energi af CO₂, og slå to fluer med et smæk!



Sluk lyset, hop op på cyklen, og skru ned for varmen. Det er ikke nogen let opgave at skære ned på CO₂-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 CO₂. 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 CO₂, skal der dog alligevel mere til at nedsætte klodens samlede CO₂-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 CO₂-problemet. I de følgende afsnit ser vi på fordele og ulemper ved fire forskellige forslag.

| | | |
|------|------------------|-------------------|
| Kilo | 10 ³ | 1.000 |
| Mega | 10 ⁶ | 1.000.000 |
| Giga | 10 ⁹ | 1.000.000.000 |
| Tera | 10 ¹² | 1.000.000.000.000 |



Flere mennesker = større energiforbrug. Forskerne forudsiger, at vi i fremtiden bliver flere mennesker, der skal bruge meget mere energi. Effektforbruget angiver, hvor meget energi Jordens 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 CO₂ til atmosfæren.



Kraftvarmeværker mindsker energispild.



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



Vi udleder stadig CO₂.



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 CO₂ i undergrunden giver mindre CO₂ i atmosfæren.



Udslip fra CO₂-lagre kan være livsfarlige.

FAKTA

Et CO₂-lager, der lækker, udskyder blot problemet med CO₂ til fremtiden.

Hvor mange år holder et CO₂-lager, hvis det ikke får tilført mere CO₂ 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 fejles ind under gulvtæppet, og med CO₂ er det måske sandt. Nogle forskere foreslår, at vi indsamler den CO₂, vi udleder fra fossile brændstoffer, og gemmer den væk for at undgå problemet med øget drivhuseffekt.

Ideen går ud på at pumpe CO₂ 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 CO₂ ned i Sleipner-reservoiret 1.000 meter under havbunden. CO₂, som ellers var blevet udledt til atmosfæren.

Lagring af CO₂ i undergrunden er en ung teknologi, og det er stadig en stor udfordring at trække CO₂ ud af fabriksrøg. Desuden er det enorme mængder CO₂, 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 CO₂ er livstruende for mennesker allerede ved koncentrationer på omkring 8 %. Samtidig vejer CO₂ 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 CO₂ fra vulkanens indre lå opløst i søens dybeste vand, og af uklare årsager gik den opløste CO₂ pludselig på gasform og strømmede ud af søen med 100 km/t. Fordi CO₂ 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 CO₂ på samvittigheden?

Vind, sol og bølger er alle eksempler på *vedvarende energikilder*, der ikke udleder CO₂. 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 CO₂-neutral eller CO₂-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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂, 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 CO₂, de udleder, med den grønne energi, de leverer til fastlandet. Derfor får den grønne ø lov til at beholde titlen som CO₂-neutral.

Forslag 4: Få det bedste ud af CO₂

Du har nu læst tre gode forslag til, hvordan vi sparer på de fossile brændstoffer og nedsætter udledningen af CO₂. Hvis vi for alvor vil være uafhængige af fossile brændstoffer, er det dog ikke nok at spare på dem eller gemme CO₂ 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 CO₂ 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 ♻️.



CO₂ kan erstatte fossile brændstoffer og bruges til 'grøn' benzin og kemikalier.



Der er brug for mere forskning, før CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ fra de andre stoffer i fabriksrøg. Det er heller ikke særligt nemt bare at tage CO₂ direkte fra atmosfæren, der er jo kun 0,039 %. (Ex. 2.6)

Endnu sværere bliver det, når CO₂ 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 CO₂ er et meget stabilt molekyle, og at det kræver meget energi at bryde de kemiske bindinger.

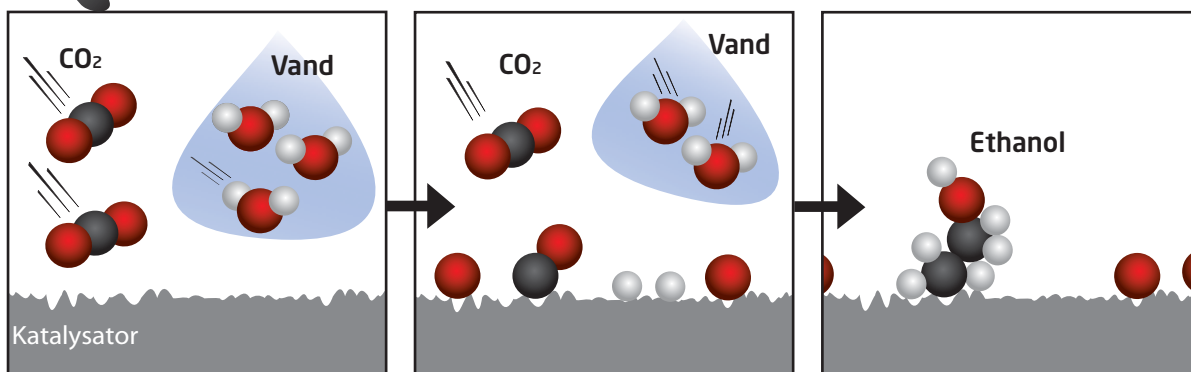
Det er også vanskeligt at styre, hvilke kæder der bliver dannet, når de frie carbonatomer sætter sig sammen på nye måder. Hvis man for eksempel gerne vil lave ethanol (CH₃CH₂OH) som erstatning for benzin, er det en ulempe, hvis der samtidig bliver dannet for mange andre typer carbonkæder. Så bliver produktionen af ethanol ineffektiv og alt for dyr.

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

CO₂ 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 CO₂ 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 molekyle der dannes. Den får også reaktionen til at forløbe hurtigere og kræve mindre energi.



Katalysatoren eller 'katten' binder CO₂- og vandmolekyler til sin overflade. På den måde bliver ethanol hurtigere dannet, og reaktionen kræver mindre energi. Oxygenatomerne bliver samlet til O₂ på den anden side af katalysatoren.

Inspiration fra naturen

Et af de eneste materialer, der i dag kan bruges til at katalysere omdannelsen af CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂.

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 CO₂-katalysator, kan vi begynde at bruge carbon fra CO₂.

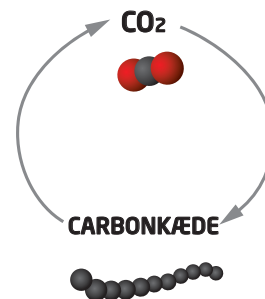
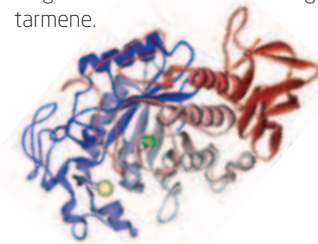
I første omgang vil forskerne prøve at indfange den CO₂, der kommer fra fabrikkerne. Derved kan vi genbruge carbon fra fossile brændstoffer flere gange.

Hvis vi længere ude i fremtiden lærer at indfange CO₂ fra atmosfæren, bliver forslag 4 en CO₂-neutral energikilde. Når de nye carbonkæder brændes af, reagerer de med luftens oxygen og danner CO₂ på ny. På den måde får vi en evig cyklus, hvor vi indfanger og udleder CO₂ 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.*

- Klokken 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 CO₂. 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂-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 CO₂ 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 CO₂-forurening. Hver gruppe vælger at arbejde med et af de fire løsningsforslag fra kapitlet, der handler om at mindske CO₂-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 CO₂-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 CO₂? 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 CO₂?
- 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 CO₂ 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 CO₂-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 CO₂-udledningen.

Det tredje forslag erstatter derimod fossile brændstoffer med vedvarende og CO₂-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 CO₂ 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 CO₂.


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 CO_2 .
- Mere drivhuseffekt giver varmere klima.
- 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 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 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 CO_2 findes på, og hvilken form kræver det højeste tryk?
- * Er CO_2 en let eller tung gas?
- * Hvor mange procent CO_2 er der i atmosfæren i dag?
- * Nævn to andre drivhusgasser.
- * Hvad kan indeholde mest opløst CO_2 : Varmt vand eller koldt vand?
- ** Opskriv formlerne for molekylerne oxygen og hydrogen på gasform.
- ** Beskriv, hvad der sker i fotosyntesen.
- ** Hvorfor stiger CO_2 -koncentrationen i atmosfæren?
- ** Hvorfor er det et problem, at vi udleder CO_2 til atmosfæren?
- ** Hvilket materiale kan katalysere omdannelsen af CO_2 til ethanol?
- *** Hvorfor kan Samsø kalde sig 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 (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.



Verdens bedste



energikilde

Læs forskernes bud:
Sådan vil vi gemme
solenergi til natten.

Der er sol nok til alle

Vi bruger mere og mere energi,
men hvor skal den komme
fra i fremtiden?

Svaret hænger lige
over vores hoveder.



Et kig ind i Solens stråler: 50

Hvor sidder energien?



Naturens 3 milliarder år gamle opskrift på brændstof 54



En lille landsby tænker stort: 58

'Nul CO₂ fra vores skorstene'



Hvad sker der i dette kapitel?

- Solens stråler skolder, varmer og blænder os.
- Solenergi opfanges, omdannes og opbevares.
- Solanlæg på hustage omdanner solenergi til varme og strøm.
- Vand spaltes til hydrogen og oxygen ved hjælp af strøm.
- Hydrogen bruges som miljøvenligt brændstof.
- Planter omdanner solenergi til kemisk energi.
- Forskerne prøver at gøre planterne kunsten efter.
- Forskerne vil omdanne solenergi til kemisk energi i hydrogen.



Det svære mål:

Solenergi til brændstof

59



Indhold – Kapitel 3

| | |
|--|----|
| Introduktion: Sol til alle | 48 |
| Hvad rummer Solens stråler | 50 |
| Solenergi i bruseren og stikkontakten | 51 |
| Hvordan gemmer vi Solen til natten? | 53 |
| Planternes opskrift på brændstof | 54 |
| Hydrogen som brændstof | 56 |
| Forskerens udfordring: | |
| Plakatmester eller bænkevarmer | 62 |
| Kan du arbejde som forsker? | 63 |
| Resume: Tre udfordringer ved solenergi | 64 |
| Det ved du nu | 65 |
| Test dig selv | 65 |

Forskerens udfordring:

Peter som plakatmester

62



I Spanien gemmer de solenergi i salt

53



Sol til alle

Det er myldretid på motorvejen. Tonstunge lastbiler, familiebiler og sportsvogne ræser forbi. Fabrikkerne arbejder på højtryk, og i de små hjem er der gang i vandvarmere og elapparater. Men der mangler noget... Trods den voldsomme aktivitet er luften helt klar, og fra bilernes udstødningsrør kommer der kun små skyer af vanddamp. De fossile brændstoffer er nemlig for længst blevet skiftet ud med energi fra Solen.



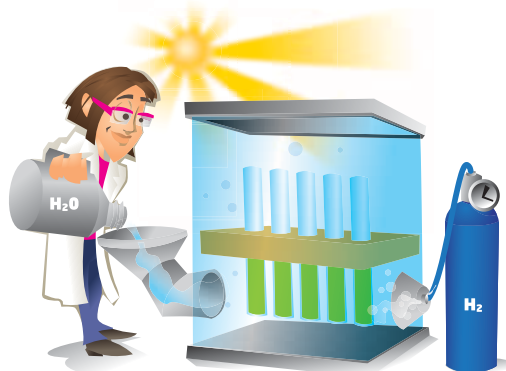
Tænk hvis bilos og skorstensrøg kun bestod af rent vand. I dag er begge dele fyldt med CO₂ og andre skadelige gasser samt partikler. De opstår, når vi forbrænder *fossile brændstoffer* som kul, olie og naturgas. Derfor har vi brug for at erstatte de fossile brændstoffer med en ny og ren energikilde. Det er dog ikke så let. For det første dækkes over 85 % af verdens forbrug af varme, strøm og brændstoffer i dag af energi fra olie, kul og gas. En alternativ energikilde skal altså kunne forsyne os med meget store mængder energi. For det andet er energiens form ikke ligegyldig. Vi skal både bruge varme, elektrisk energi og *kemisk energi*.

Der findes en CO₂-fri energikilde, som ubesværet kan dække vores enorme og hastigt voksende energiforbrug: Solen. Faktisk er der så meget energi i Solens stråler, at bare halvanden times solskin på Jorden kan dække næsten hele verdens energibehov i et år!

Der er bare et problem: Solen forsvinder hver nat. Derfor er det ikke nok at opfange Solens energi. Vi skal også omdanne den til energiformer, som vi kan opbevare, indtil vi skal bruge energien igen.

Den største udfordring, vi står over for, er at omdanne *solenergi* til kemisk energi. Lastvogne, supertankere og fly er nemlig afhængige af kemiske brændstoffer. I dag har de primært oliebaseerede brændstoffer til rådighed, og de forurener med CO₂. Et kemisk brændstof fremstillet ved hjælp af solenergi og vand kunne for eksempel være hydrogen (H₂). Når vi brænder H₂ af, bliver vandet gendannet som det eneste restprodukt!

Det er dog ikke nogen let opgave at lave kemisk energi. Inspirationen til deres arbejde henter forskerne blandt andet fra planterne, som har udnyttet Solens stråler i milliarder af år. Nu er det på tide, at vi lærer at gøre dem kunsten efter.



Grundstoffer i dette kapitel:

C Carbon (dansk: kulstof)

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

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 .

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 .

Pt Platin

er et sjældent metal, som er dyrere end guld. Det er utroligt holdbart og kan tåle høje temperaturer. Platin bruges både i industrien og i smykker.

Si Silicium

indgår i al moderne elektronik som computere, mobiltelefoner og solceller. Det er nemlig billigt og godt til at fremstille elektroniske kredsløb.

Kemiske forbindelser i dette kapitel:

$C_6H_{12}O_6$ Glucose

er et sukkerstof og kroppens vigtigste 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 .



Når du møder dette symbol, skifter energi form.

Ordliste

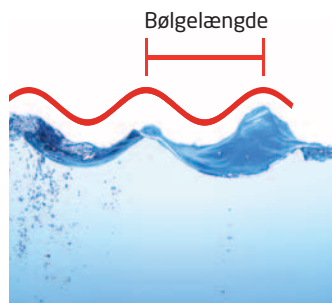
Ord i *kursiv* er forklaret i ordlisten bagerst i bogen.



Scan koden med din mobil, og besøg www.energiportal.dk.



Hvad rummer Solens stråler



Bølgelængde. Solens lys har ligesom havets bølger forskellige bølgelængder. Bølgelængden måles i nanometer.

FAKTA

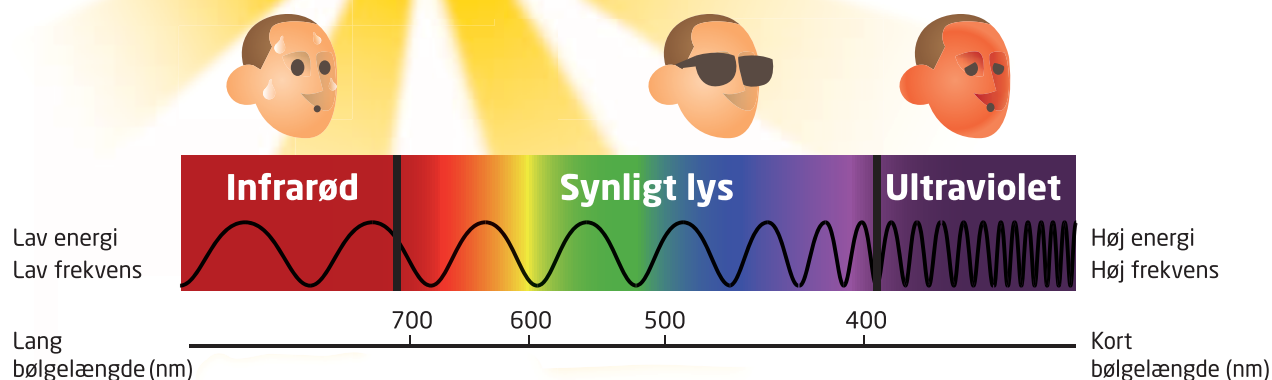
Frekvens er antallet af bølgetoppe per sekund og måles i hertz. Hvis der for eksempel kommer tre bølgetoppe forbi per sekund, er frekvensen 3 hertz.

En solskinsdag på stranden betyder varmt sand mellem tærne, solbriller på næsen og nogle gange også røde skuldre. Det skyldes tre forskellige slags solstråler. Solens infrarøde stråler varmer sandet, mens de synlige stråler får dig til at knibe øjnene sammen. Dine røde skuldre skyldes Solens ultraviolette stråler, som både bruner og skolder huden.

Solens stråler kan beskrives som bølger. Ligesom havets bølger kan solstrålerne bølger være korte eller lange. Afstanden mellem bølgetoppene kaldes *bølgelængden* og måles i nanometer (nm). En nanometer er kun en milliardtedel af en meter, eller en milliontedel af en millimeter.

Jo hurtigere bølgetoppene kommer efter hinanden, jo mere energi er der i solstrålerne. Antallet af bølgetoppe per sekund kaldes *frekvens*. Solstrålernes forskellige egenskaber afhænger af deres frekvens. Infrarøde stråler har lav frekvens og synligt lys lidt højere. Ultraviolette (UV) stråler har den højeste frekvens af Solens stråler og indeholder dermed også mest energi. (Ex. 3.1)

Solstrålerne kan også beskrives som små energipakker, der kaldes *fotoner*. Fotonerne indeholder mest energi, når strålerne har høj frekvens. UV-stråler har meget høj frekvens og består af fotoner med så meget energi, at strålerne kan ødelægge huden og give solskoldning. Heldigvis udgør UV-stråling kun en mindre del af Solens stråling.



Solens stråling. Kort bølgelængde svarer til høj frekvens og høj energi. Lang bølgelængde svarer til lav frekvens og lav energi.

Solenergi i bruseren og stikkontakten

Solen vil skinne mange milliarder år endnu og betegnes derfor som en *vedvarende energikilde*. Samtidig er Solen den største energikilde, vi kender. Bare halvanden times solskin på Jorden kan dække verdens samlede energibehov i et år! Desværre er vi ikke særlig gode til at udnytte al den solenergi. I stedet får vi langt det meste af vores energi fra fossile brændstoffer som kul, olie og naturgas.

Når du for eksempel tænder for det varme vand i bruseren, er vandet ofte varmet op på et *kraftvarmeværk* ved at brænde fossile brændstoffer af. Det er det, du kender som fjernvarme. Andre steder bliver vandet opvarmet hjemme i husene ved hjælp af gas- eller oliefyr.

I modsætning til olie, kul og gas er solenergi en CO₂-fri energikilde og varer

desuden næsten evigt. Derfor er den et godt alternativ til de fossile brændstoffer og bruges allerede i dag flere steder i verden. Men hvis Solen for alvor skal udkonkurrere olie, kul og gas, er forskerne nødt til at finde mere effektive og billigere metoder til at opfange, omforme og opbevare energien fra Solen.

En *solfanger* på taget opfanger alle slags solstråler. I solfangeren omdannes energien til varme i en stor beholder med vand ☞. Det sker uden nogen udledning af CO₂. En dansk familie kan typisk dække op til 70 % af deres varmtvandsforbrug med solfangere.

Solceller opfanger ligesom solfangere stråler fra Solen. Men i stedet for at varme vand op omdanner de energien til elektrisk energi, der giver strøm i dine stikkontakter ☞.



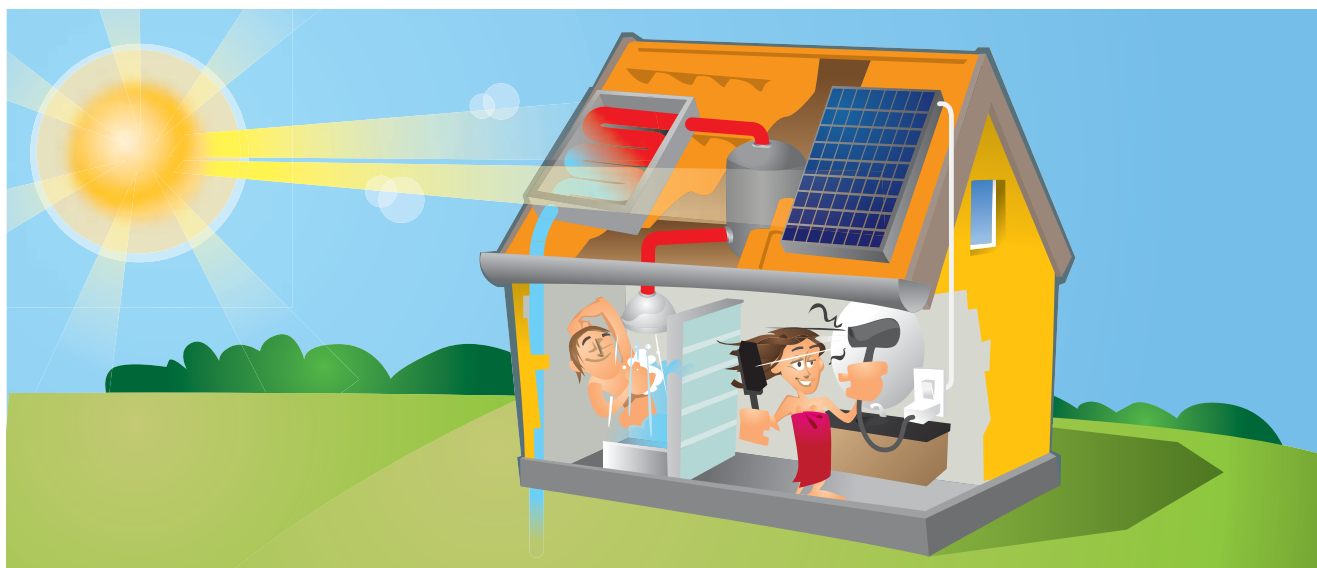
Undersøg, hvordan vandet i dit hus bliver varmet op.



Solfangere omdanner solenergi til varme i vandrør.



Solceller omdanner solenergi til elektrisk energi.



Solfangere og solceller. En dansk familie kan dække størstedelen af sit varmeforbrug og en del af sit elforbrug ved at udnytte Solens stråler.



Som du kan se på tegningen, skinner Solen ikke lige meget på hele Jorden.

- Find tre lande med høj solindstråling.
- Find tre lande med lav solindstråling.
- Hvor høj solindstråling har Danmark?

Diskuter i klassen, om det er fornuftigt:

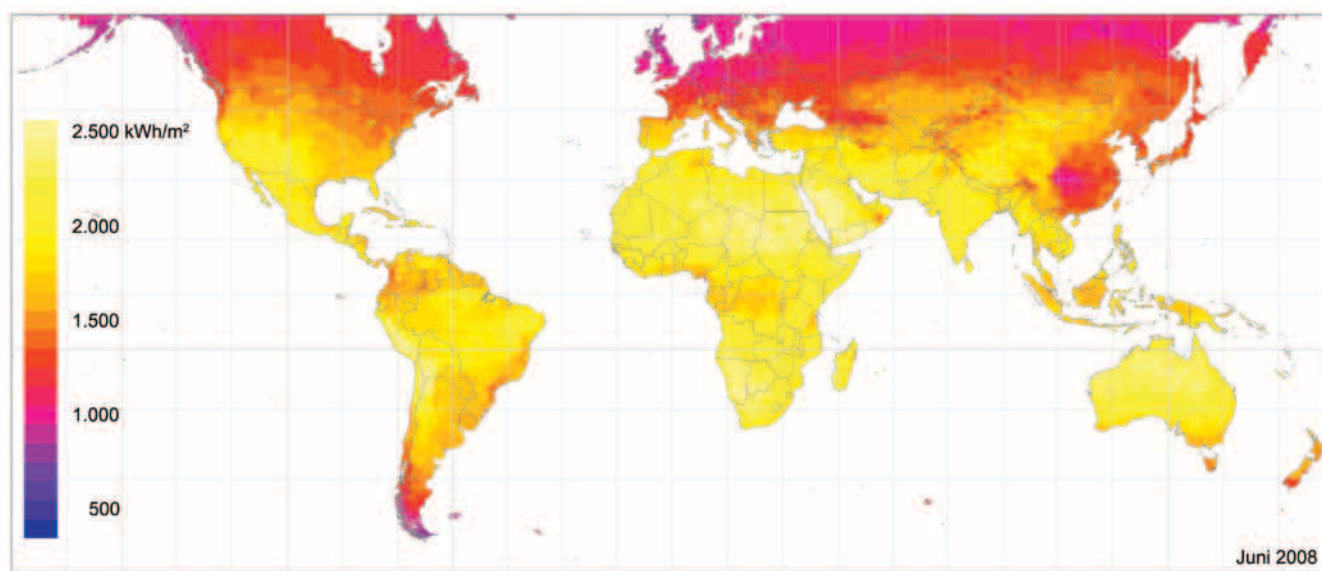
- at rydde skov for at bygge store solanlæg
- at opstille solceller i fjerntliggende områder
- at importere strøm fra solceller opstillet i områder med politisk uro.

Når fotoner fra Solen rammer materialet i solcellen, giver de elektronerne mere energi, så de kan bevæge sig gennem cellen. Solens stråler skaber på den måde en konstant strøm af elektroner – bedre kendt som elektricitet – der kan bruges i vores elapparater.

Solceller kan dog ikke udnytte al energien fra Solens stråler. Celler lavet af silicium, der er blandt de mest effektive, har en *virkningsgrad* på omkring 20 %. Det betyder, at de omdanner 20 % af den solenergi, de modtager, til elektrisk energi. Solceller lavet af silicium får aldrig en virkningsgrad på 100 %, fordi der skal en bestemt portion energi til at løsrive elektronerne. Fotoner med for lav energi kan ikke bruges, og hvis fotonerne har mere energi end nødvendigt, går den overskydende energi til spilde.

Solfangere og solceller kan sidde på taget af et enkelt hus eller i store anlæg, hvor de forsyner flere tusinde hjem med varme og strøm. Ærø har i 2010 verdens største solfangeranlæg, og anlægget sparer miljøet for omkring 2.200 ton CO₂ om året. Det svarer til al den CO₂, som 240 gennemsnitsdanskere udleder på et helt år.

Solceller er desværre ikke billige, og i 2007 blev kun 0,02 % af verdens elektricitet produceret af solceller. Dyre materialer og lav virkningsgrad betyder, at elektricitet fra solceller stadig er 5-10 gange dyrere end elektricitet, der er lavet ved at brænde fossile brændstoffer af. Samtidig kan solceller ikke levere elektricitet om natten, og ubrugt elektricitet om dagen er svært at gemme til senere. Derfor prøver forskere at finde ud af, hvordan man bedst kan opbevare overskydende energi.



Årlig solindstråling på Jorden. Landene modtager forskellige mængder solenergi afhængig af deres geografiske placering.

Hvordan gemmer vi Solen til natten?

Nye ideer bliver konstant udviklet til at høste Solens stråler. Men hvor tæt er vi på at kunne opbevare solenergi i længere tid?

- Vi kan bruge solenergi til at lave varme. Men varme kan kun opbevares i begrænset tid, og varmebeholdere fylder meget.
- Vi kan lave solenergi om til elektrisk energi og opbevare den i batterier. Men batterierne er dyre og fylder meget, hvis de skal rumme meget energi.

For at komme uden om disse problemer arbejder nogle forskere på en tredje metode. De vil i stedet gemme solenergi ved at lave det om til kemisk energi i brændstoffer, eksempelvis hydrogen (H_2).

Forskerne er interesserede i brændstoffer, fordi de ofte indeholder mere energi per vægt og volumen end varmt vand og batterier. De næste sider handler om at lave solenergi til brændstof.



Lithiumbatteri: 0,8 MJ/kg



Benzin: 46 MJ/kg
Et kilo benzin svarer til energien i ca. 58 kilo batterier.



Hydrogen: 120 MJ/kg
Et kilo hydrogen svarer til energien i ca. 150 kilo batterier.



FAKTA

Et brændstof er et stof, der frigiver kemisk energi ved forbrænding.

Opbevaring af energi. Brændstofferne benzin og hydrogen indeholder langt mere energi per kilo end f.eks. lithiumbatterier, som bliver brugt i elbiler og computere.

Varmt salt gemmer sydens sol

Det er tidlig morgen i et knastørt landskab i Sydspanien, men noget rører allerede på sig. Det er tusindvis af spejle, som drejer sig efter Solens første stråler. Spejlene reflekterer alt lyset ind mod præcis det samme punkt: et tårn med et lager af smeltet salt.

Solenergien varmer saltet op til over 500 °C, og varmen fra saltet driver en *dampgenerator*, der laver strøm. Saltet holder dog så godt på varmen, at der fortsat kan produceres strøm

i op til 15 timer uden sollys. Solenergi lagret om dagen leverer altså strøm om natten.

Det spanske salttårn er under opførelse i 2010 og bliver et af verdens første. Tårnet skal levere strøm til hele 25.000 hjem.

Varmt salt er én måde at lagre solenergi. Men vil vi gemme solenergi i længere tid og i rigelige mængder til at dække hele verdens energibehov, må forskerne lære at omdanne energien til brændstof.

Planternes opskrift på brændstof

FAKTA

Fotosyntesen foregår kun i planter, alger og bakterier. Men den modsatte reaktion sker i alle levende organismer.

Hvad hedder den modsatte reaktion af fotosyntesen?

Tip: Se side 29



I fotosyntesen omdanner planterne solenergi til kemisk energi i form af sukker.

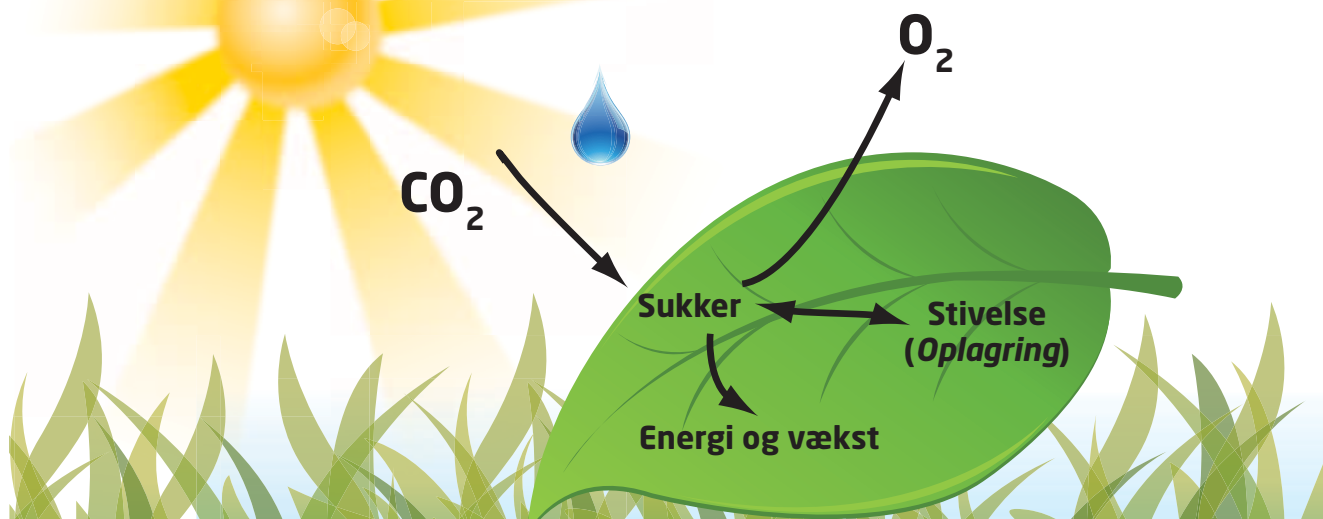
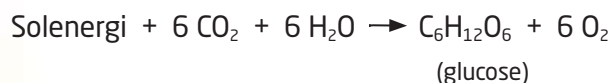
I mere end tre milliarder år har naturen brugt energi fra Solen til at lave brændstof. I *fotosyntesen* bryder og danner planterne *kemiske bindinger* og omdanner derved Solens energi til kemisk energi. Ved at studere planternes geniale opskrift på brændstof kan vi lære, hvordan vi gør Solen til vores fremtidige energikilde.

Når sollys rammer planternes grønne blade, går fotosyntesen i gang inde i plantecellerne. Det foregår i grønkornene, der også kaldes kloroplasterne. Ved hjælp af en lang række *enzym*er omdanner grønkornene Solens energi til kemisk energi i form af sukker.

Sukkerstoffet kaldes glucose ($C_6H_{12}O_6$), som er plantens brændstof. Som reaktionen herunder viser, er ingredienserne til fremstillingen blot CO_2 og vand. (Ex. 3.2)



Glucose består af carbon, oxygen og hydrogen. Når planten har brug for energi, starter enzymer den modsatte reaktion af fotosyntesen og laver glucose om til CO_2 . Hvis der derimod er et overskud af glucose, laver planten det om til stivelse, som er nemmere at opbevare. Planten bruger også glucose til at vokse og lave nye molekyler. Et vigtigt molekyle er cellulose, der giver planterne deres form. Cellulose er det mest udbredte biologiske stof i verden.



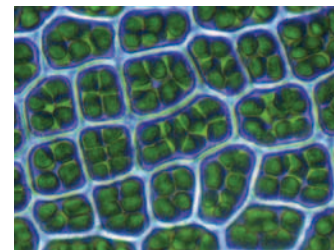
Fotosyntesen er en genistreg i planteverdenen og en forudsætning for alt liv på Jorden, men den er faktisk ikke særlig effektiv. Tal fra FN's landbrugsorganisation FAO viser, at planterne kun omdanner 3-5 % af Solens energi til kemisk energi. Den lave effektivitet skyldes blandt andet, at planternes vækst afhænger af årstiden, klimaet og mængden af tilgængeligt vand og næringsstoffer. Desuden udnytter planterne ikke alle Solens stråler, men kun den del af det synlige lys, der svarer til det blå og røde lys.

Hvis forskerne kunne lave et kunstigt system, der efterlignede fotosyntesen, men omdannede hele 10 % af Solens energi til et brændstof, kunne vi dække

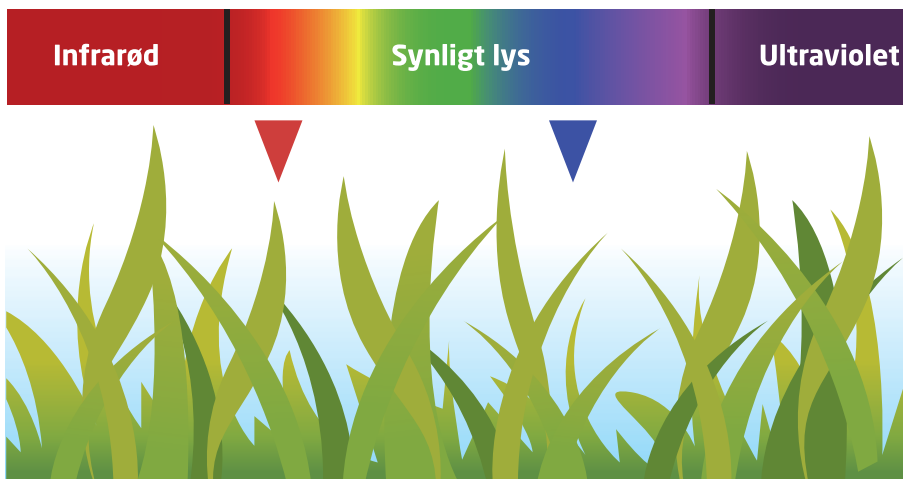
verdens samlede energiforbrug. Det kunstige fotosystem ville kun fylde 0,16 % af Jordens overflade og kunne i modsætning til planterne stå i Jordens tørre og solrige ørkener. Deres areal overstiger tilsammen det område, som det kunstige fotosystem ville fylde, så der er rigeligt plads.

Naturen har haft milliarder af år til at udvikle og forbedre fotosyntesen. Så lang tid har forskerne ikke haft. Derfor er de effektive systemer, der findes i dag, stadig meget dyre. Der findes også billige modeller, men de er til gengæld slet ikke lige så gode. Heldigvis har forskerne flere gode ideer, som du kan læse om i de følgende afsnit.

Læs mere om, hvordan vi bruger planterne som energikilde, i kapitel 4.



Grønkornene er den del af planten, der omdanner og opbevarer solenergi som kemisk energi. Her ses grønne kornene i en stjernemos.



Planter og sollys. Planterne udnytter kun det røde og det blå synlige lys.

FAKTA

De fleste planter udnytter ikke lys med bølgelængder mellem 500 og 600 nm.

Brug figuren side 50 til at undersøge, hvilken farve lys denne bølgelængde har?

Hydrogen som brændstof

FAKTA

Biler, der kører på hydrogen, kaldes for brintbiler.



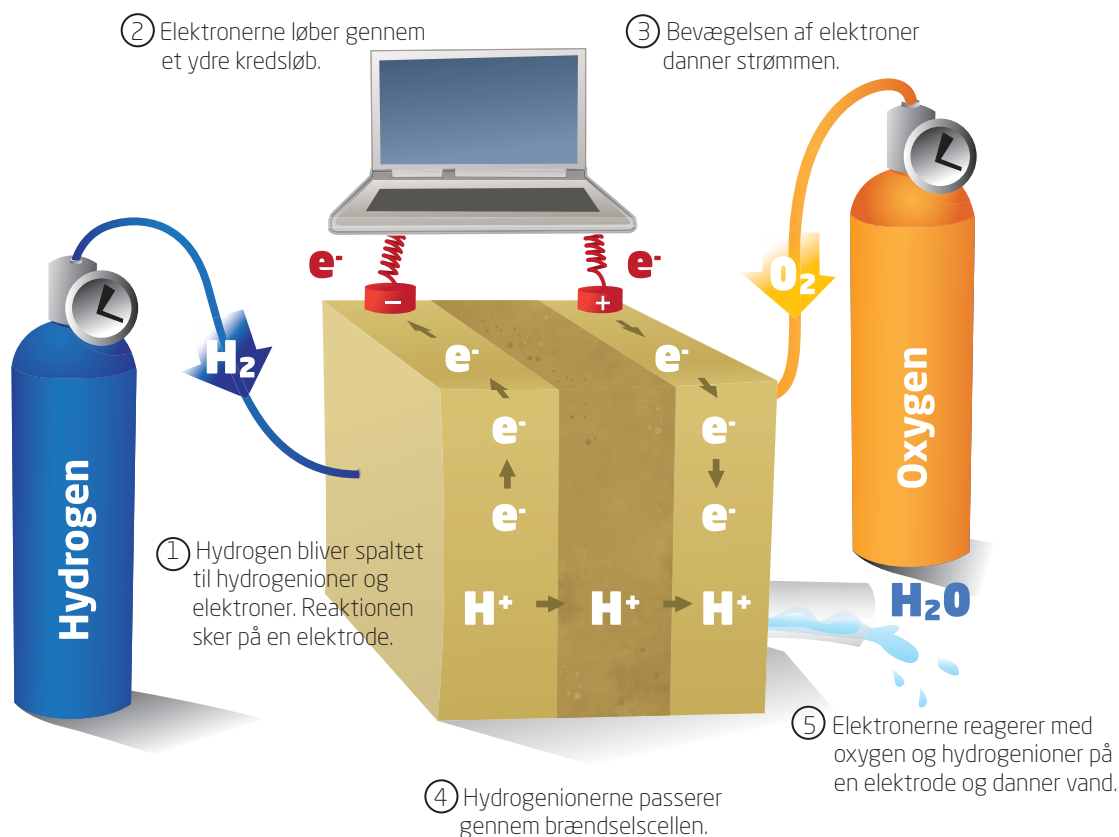
I brændselsceller omdannes kemisk energi i hydrogen til elektrisk energi.

Selvom forskerne vil efterligne planternes fotosyntese og lave brændstof, er de ikke ude efter sukker. Det er nemlig en kompliceret kemisk forbindelse, som er svært at lave. Desuden ville sukkeret blive til en værre omgang karamelsnask i de varme bilmotorer. Derfor er forskerne i stedet for interesseret i at fremstille hydrogen (H₂). Det er det simpleste brændstof, der findes, og indeholder en masse kemisk energi. Her vil vi først se på, hvordan hydrogen fungerer som et brændstof, mens næste afsnit handler om, hvordan hydrogen bliver fremstillet.

Hydrogen kan bruges som brændstof på mange måder. For eksempel kan det brændes af og lave varme. Det kan også laves om til andre flydende brændstoffer som erstatning for olie. Endelig kan hydrogen bruges som brændstof i elbiler og på elværker ved hjælp af *brændselsceller*. Cellerne omdanner den kemiske energi til elektrisk energi.



Strømmen bliver lavet fra hydrogen og oxygen, og det eneste restprodukt er vand – ingen CO₂. (Ex. 3.3)



Spændingen fra en enkelt brændsels-celle er typisk 0,7 volt. Spændingen er populært sagt det, der trykker elektronerne igennem ledningen. Ofte har man dog brug for langt højere spænding, for eksempel til at drive en elmotor. Det opnår man ved at sætte mange brændselsceller sammen i stakke.

Det er dog ikke al den kemiske energi fra hydrogen, der bliver omdannet til elektricitet, for over halvdelen går til spilde som varme. Forholdet mellem, hvor meget kemisk energi brændsels-cellen modtager, og hvor meget elektricitet den producerer, betegnes som virkningsgraden.

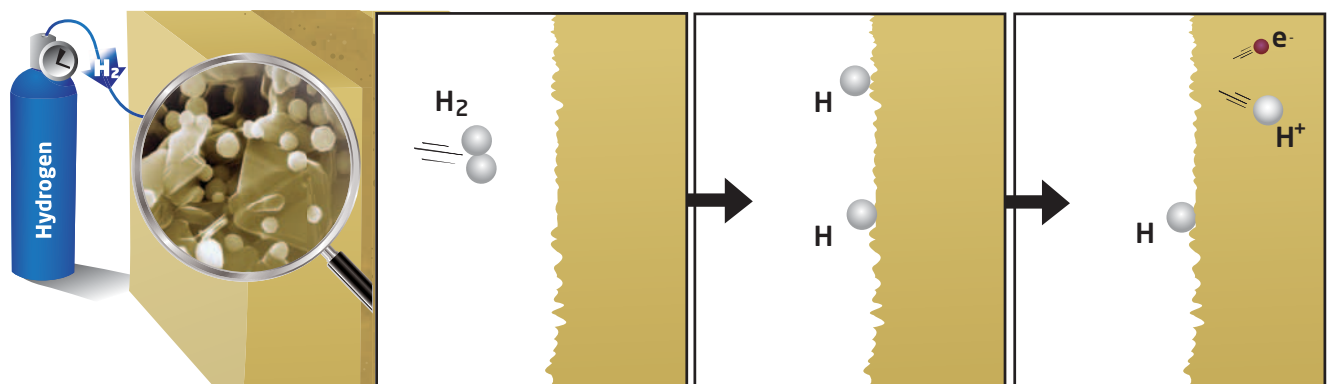
På *elektroderne* i brændselscellen findes der et lag af *katalysatorer*, der i forskerslang kaldes for 'katté'. Det er materialer, som hæver virkningsgraden ved at hjælpe den kemiske reaktion til at forløbe hurtigere og lettere.



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.

Der findes mange slags 'katté', men i brændselsceller bruger man ofte metallet platin som katalysator. Det er utroligt holdbart og effektivt, men desværre også et kostbart metal. Bare et gram platin kostede i september 2010 næsten trehundrede kroner, hvilket er endnu dyrere end guld. Så brændselscellerne er dyre at fremstille.

Brændselsceller laver altså strøm ved at forbrænde hydrogen, og det eneste restprodukt er vand. Reaktionen er derfor helt fri for CO₂ og forurener ikke. Til gengæld er der brug for katalysatorer, der er lige så holdbare og effektive som platin, men også meget billigere, hvis brændselsceller skal udkonkurrere diesel- og benzinmotorer.



Katalysatorer i brændselsceller. Katalysatoren på hydrogenelektroden hjælper med at dele H₂ til to hydrogenatomer (H). Atomerne afgiver en elektron og bliver til positive hydrogenioner. Katalysatoren får reaktionen til at ske hurtigere og tabe mindre energi. Billedet i luppen viser katalysatorpartiklerne (runde) på en overflade af carbon.

FAKTA

Symbolet for elektrisk spænding er *U*. Spænding har enheden volt.

Hvad er symbolet for effekt, og hvad er enheden?

Tip: Se kapitel 1



FAKTA

Der udvindes kun omkring 240 ton platin om året. Hvis en stak brændselsceller skal yde det samme som en lille bilmotor, kræver de ca. 35 g platin.

Hvor mange brintbiler kan vi så producere om året?



I dag findes der omkring 900 millioner biler i verden. Hvor mange år vil det tage at udvinde nok platin til at udskifte alle biler med brintbiler? Diskuter i klassen, om det er hurtigt nok.



Skriv reaktionen for elektrolyse af vand, og skriv derefter reaktionen for en brændselscelle.

Kan du forklare, hvad forskellen er?

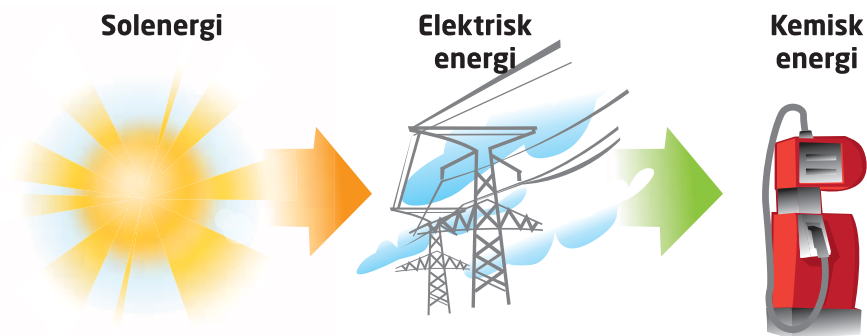
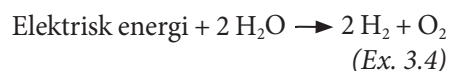
En dyr omvej til hydrogen

I dag bliver størstedelen af hydrogen fremstillet af naturgas, som er et fossilt brændstof. Metoden er billig, men forurener med CO₂. Det er dog også muligt at lave hydrogen uden fossile brændstoffer. Det gør man ved at spalte vand til hydrogen og oxygen ved hjælp af strøm.

Desværre er det stadig en alt for energi-krævende metode. Derfor er den godt nok renere end den første metode, men også meget dyrere.

Fremstillingen af hydrogen ved hjælp af strøm sker i to trin:

1. Solceller eller vindmøller laver strøm.
2. Strømmen sendes gennem vand og deler vandmolekylerne til oxygen og hydrogen. Det kaldes *elektrolyse* af vand:



Kemisk energi i to trin. I dag bliver solenergi lavet om til hydrogen i to trin.

Danmark i front: Verdens første brintlandsby

Hårtørreren blæser, og kaffemaskinen klukker, mens fjernsynet kører i baggrunden. Det ligner en morgen fra et hvilket som helst sted i landet, men der sker noget usædvanligt på taget af denne lollandske families hus. Her ryger det fra skorstenen med uskadelig vanddamp i stedet for røg fyldt med CO₂. Familien bor nemlig i et af fem huse i Vestenskov på Lolland, hvor der er installeret et anlæg med brændselsceller. Anlægget producerer strøm og varme fra hydrogen helt uden at bruge fossile brændstoffer. Hydrogenet bliver lavet på et elektrolyseanlæg i byen ved hjælp af overskydende elektricitet fra vindmøller. Herefter fordeles den til husene gennem underjordiske rør. Beboerne i Vestenskov er ikke bange for at tænke stort, selvom de bor i en lille landsby, og de planlægger at slutte endnu flere huse til brintforsyningen.

Vestenskov er verdens første brintlandsby og måske en smagsprøve på fremtidens landsbyer. Skal løsningen bruges til større samfund, vil det dog blive en stor udfordring at opbevare hydrogen i tilstrækkelige mængder, da det fylder meget og er meget brandfarligt. Et brintsamfund kræver også en helt nyt system af rør og tankstationer til at transportere hydrogen rundt, og endelig er der også brug for en effektiv, billig og ren måde at fremstille brændstoffet på.



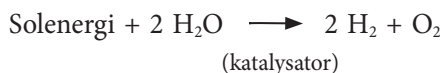
Den direkte vej til hydrogen

Hver gang energi bliver omdannet fra en form til en anden, går der energi tabt som varme. Som du læste i de foregående afsnit, mister man en stor del af Solens energi ved først at lave strøm og dernæst hydrogen. Derfor kunne det være smart i stedet at omdanne solenergien direkte til kemisk energi i et brændstof. Forestil dig, at sol og vand alene kunne skaffe os energi i fremtiden. Det lyder som en ren badeferie, men det er ikke så let, for solstråler kan ikke spalte vand af sig selv.

På DTU har en forskergruppe fra CASE-projektet taget udfordringen op. CASE står for Catalysis for Sustainable Energy (Katalyse til vedvarende energi), og gruppen arbejder med en proces, der kaldes for *fotokatalyse* ('foto' = lys). Her spaltes en kemisk forbindelse med energi fra Solen og med hjælp fra en katalysator. (Ex. 3.5)

I CASE vil forskerne gerne bruge solenergi til at spalte, det vil sige dele,

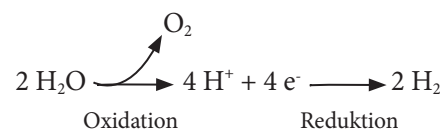
vand. I denne fotokatalytiske reaktion bliver vandmolekyler spaltet til oxygen og hydrogen.



Reaktionen består af to dele:

- Oxygen dannes ved at fjerne hydrogenioner og elektroner fra vandmolekylet
- Hydrogen dannes af hydrogenioner og elektroner.

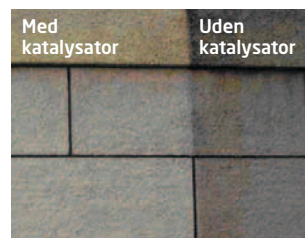
Den første reaktion, hvor der dannes oxygen, kaldes en *oxidation*. Ved en oxidation bliver der altid afgivet elektroner. Den anden reaktion, hvor hydrogen dannes, kaldes en *reduktion*. Ved reduktioner bliver elektroner modtaget. Tilsammen kaldes de en *redox-reaktion*.



FAKTA

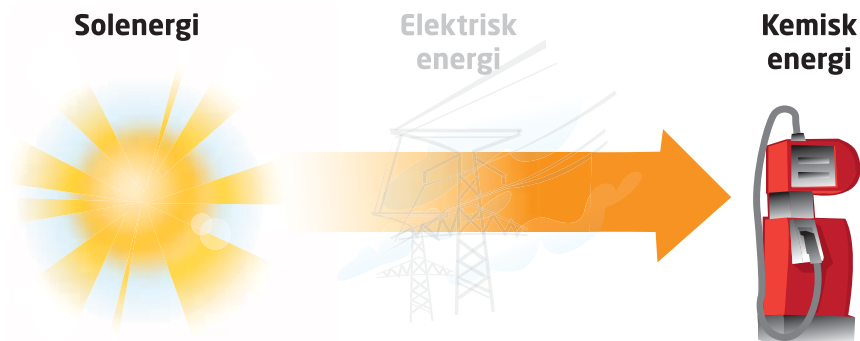
En fotokatalysator bruger Solens energi til at få en reaktion til at forløbe hurtigt og effektivt.

For eksempel kan en fotokatalysator af titaniumdioxid bruges til at nedbryde organisk snavs. Katalysatoren får snavset til at reagere med oxygen langt nemmere, end det ellers ville gøre.



FAKTA

REDuktion + OXidation = redox-reaktion



Kemisk energi i ét trin. Forskerne vil lave solenergi om til kemisk energi i ét trin.



FAKTA

I fotokatalysen spaltes vand til oxygen og hydrogen ved hjælp af solenergi og katalysatorer. Det ideelle fotosystem skal:

- Opfange mest muligt af Solens stråler
- Effektivt spalte vand til oxygen og hydrogen
- Bestå af billige materialer.

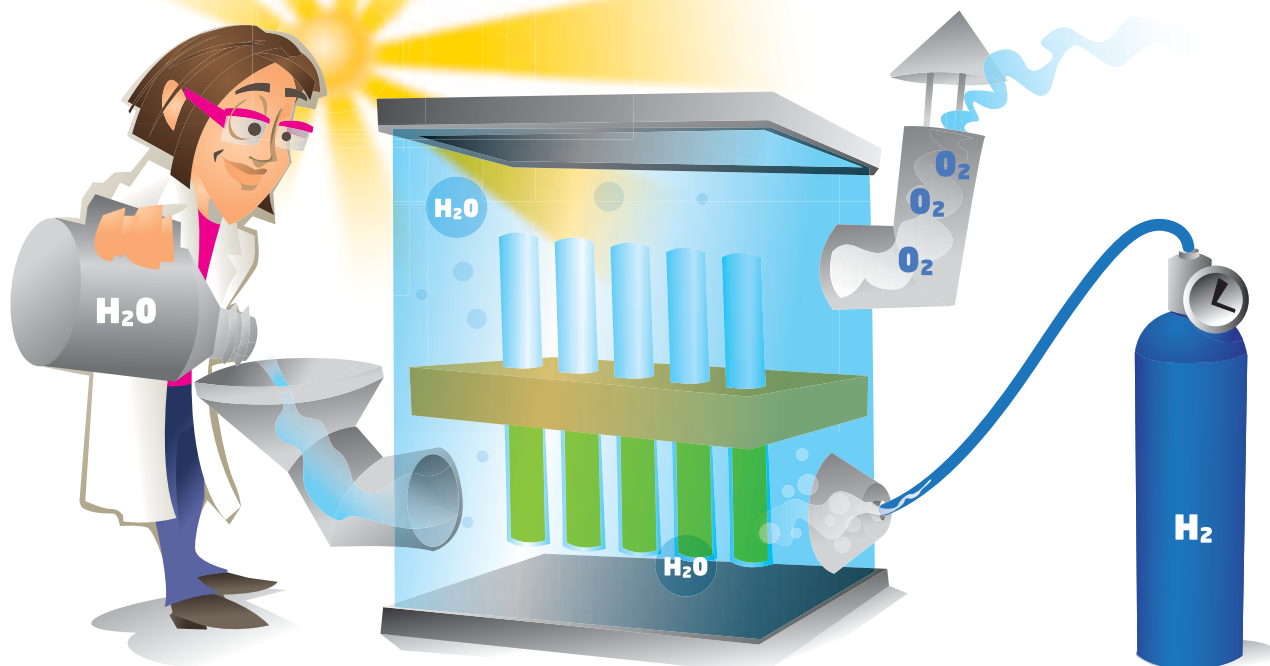
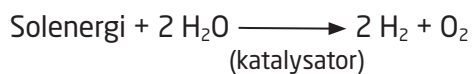


I alt skal fire elektroner altså skifte plads for at gennemføre en fuld redox-reaktion af vand til oxygen og hydrogen.

Der findes adskillige andre redox-reaktioner, der foregår ved hjælp af sollys (Ex. 3.6). Planternes fotosyntese er en af dem. Her bliver vand først oxideret (afgiver elektroner), og CO₂ bliver derefter reduceret (modtager elektroner). Reaktionen er altså en redox-reaktion. Desuden forløber den ved hjælp af solenergi, det vil sige fotosyntesen er en fotokemisk reaktion.

Forskerne kalder det nye system til at spalte vand for et fotosystem, og det skal leve op til mange krav. Det skal både udnytte mest mulig sollys, effektivt spalte vand og bestå af billige materialer.

Forskerne fra CASE forsøger derfor at udvikle billige katalysatorer, der kan bruges til at spalte vand til hydrogen og oxygen. Katalysatorerne skal dog ikke kun være billige, de skal også kunne styre de kemiske reaktioner i de rigtige retninger.



Fotokatalyse. Fotosystemet skal både 1) opfange solenergi, 2) omdanne den til hydrogen og 3) lede gassen sikkert væk.



Se også filmen
'Verdens bedste
energikilde'.

Katalysatorer styrer reaktionerne ved at binde molekylerne til deres overflade. På overfladen kan molekylerne lettere reagere med hinanden og danne de ønskede produkter. På den måde kan forskerne altså sikre sig, at det rent faktisk er oxygen og hydrogen, som bliver dannet i fotosystemet. Der er brug for to forskellige katalysatorer i systemet: en til at danne oxygen og en til at danne hydrogen.

Katalysatorerne skal være billige, så de let kan produceres i store mængder. Derfor nytter det ikke at bruge platin, som er dyrt og sjældent, selvom det er en rigtig god katalysator. Katalysatorerne skal også være så holdbare, at de ikke kræver udskiftning hele tiden.

Når forskerne forsøger at forbedre katalysatorerne, henter de inspiration fra naturens enzymer. Det er nemlig et enzym i fotosyntesen, der gør det muligt

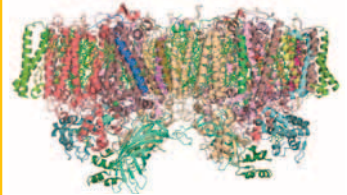
for planterne at spalte vand. Selvom enzymerne er blevet perfektioneret i naturen gennem milliarder af år, er de dog ikke skabt til fabrikker. Derfor er enzymer desværre for skrøbelige til at bruge i fotosystemet. De kan dog lede forskerne i CASE på sporet af, hvilke grundstoffer der kan bruges til at fremstille gode katalysatorer.

En anden udfordring for et godt fotosystem er hurtigt at lede oxygen og hydrogen væk fra hinanden, efter gasserne er blevet dannet. Ellers blander de sig til den meget eksplosive knaldgas.

Der er altså flere udfordringer forbundet med at udvikle et billigt og effektivt fotosystem. Lykkes det forskerne at løse disse udfordringer, kan vi danne kemisk energi fra Solen i ét trin. Dermed kan vi dække hele vores enorme energibehov med brændstoffer, der er frie for CO₂.

FAKTA

I planternes fotosyntese bliver vand spaltet ved hjælp af et enzym, der indeholder grundstoffet mangan.



Derfor undersøger forskerne, om de kan bruge mangan til at lave gode katalysatorer.

Knaldgas. Eksplosiv blanding af hydrogen og oxygen.



Forskerens udfordring: Plakatmester eller bænkevarmer

Peter fortæller:

- Det er faktisk sværere, end man tror, at lave en god poster. De fleste er dårlige, fordi de ligner hinanden. Når publikum har valget mellem 300 posters, er udfordringen at skille sig ud.

Peter pakker kufferten. Han glæder sig til sin rejse, selvom det hverken er en badeferie eller storbyshopping. Peter har kurs mod en videnskabelig konference i Holland, hvor han skal møde flere hundrede andre forskere og erhvervsfolk. Ligesom Peter interesserer de sig alle for, hvad man kan bruge katalysatorer til. 27-årige Peter er ph.d.-studerende på DTU og del af fotokatalyseprojektet i CASE.

Forsigtigt ruller han en stor plakat sammen og skubber den ned i et plastikrør, så den ikke bliver krøllet. Plakaten viser de nyeste resultater fra Peters forskning i fotokatalyse, som han vil diskutere med de andre forskere på konferencen. Peter har selv lavet denne poster, som man kalder videnskabelige plakater, og han er godt tilfreds. Posterne har masser af figurer og tegninger, som forklarer hans forskning. Det er sjovere at se på og tiltrækker flere deltagere, end hvis den kun er fyldt med tekst.

I flyet mærker Peter den første snert

af nervøsitet. Vil nogen mon interessere sig for hans resultater? Hans forskning handler om at måle koncentrationen af det dannede oxygen og hydrogen, når vand bliver spaltet i



fotokatalysen. Mængden af oxygen og hydrogen fortæller Peter, hvor god den katalysator, han har afprøvet, er. Det er vigtige resultater i jagten på de bedste katalysatorer, der kan omdan-

ne solenergi til kemisk energi som hydrogen.

Peter træder ind i en enorm sal, hvor hundredvis af opslagstavler er stillet frem. Hans plads er ved siden af en kinesisk pige, der smiler venligt.

- Have you heard Gabor Somorjai from California is here? He is a world famous researcher, siger hun. Peter spærre øjnene op og vender sig rundt for at kikke efter ham. Han vil meget gerne møde den kendte katalyseforsker.

Det begynder at summe af snak i lokalet. Posterne bliver vist frem. Folk går rundt fra poster til poster med kaffe og kage i hånden og stiller hinanden spørgsmål. Det er helt hyggeligt, men Peter venter stadig på besøgende og frygter at ende som bænkevarmer på postergulvet. Men så sker der noget.

- Could you tell me about your results? spørger en interesseret fyr på Peters egen alder. Peter ånder lettet op og begynder at forklare figurerne på posterne. Fyren hedder Fabio, og

Peter Vesborg arbejder med fotokatalyse i forskningsgruppen CASE på DTU. Han var i Holland i 2009, hvor han mødte den berømte Gabor Somorjai. Som forsker er det vigtigt at udveksle resultater og skabe kontakter til andre videnskabsfolk. Ofte sker det ved store internationale konferencer, hvor man præsenterer sin forskning på en kort og spændende måde ved hjælp af en poster.

på hans navneskilt står der, at han er fra Milano Universitet i Italien. Peter kender allerede nogle forskere derfra, og han og Fabio får sig en længere snak.

Videnskabelige konferencer handler nemlig også om at få gode kontakter fra hele verden, og Peters tur til Holland bringer en særlig fin kontakt med

sig. Han møder nemlig selvste Gabor Somorjai over frokosten og får præsenteret sig selv og sin forskning.

Kan du arbejde som forsker?

Inddel klassen i grupper. Hver gruppe vælger et tema, der handler om at omforme solenergi ved hjælp af en af de fem metoder vist på figuren til højre.

A3-størrelse med de figurer og tegninger, I har fundet. Skriv desuden en forklarende tekst på posteren for hvert af punkterne nedenfor.

Læs om temaet i kapitlet, og søg på internettet efter gode figurer, der passer til emnet. Lav en poster i minimum

I kan også tilføje sjove facts eller andre informationer, som I synes er relevante.

Forklar med jeres egne ord

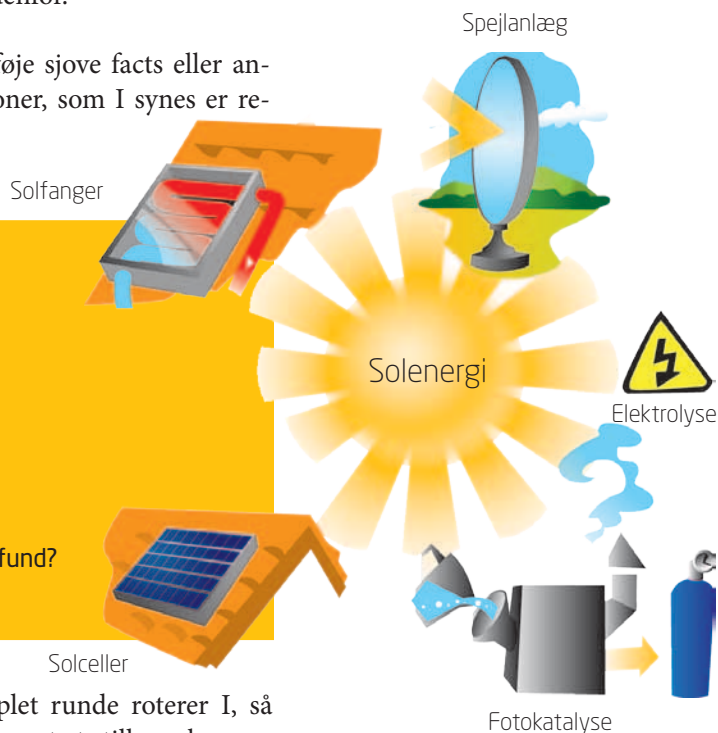
- Hvilken type energi bliver solenergien omdannet til?
- Hvordan omdanner anlægget/systemet energien?
- Hvilke ulemper er der ved jeres metode?
- Hvilke fordele er der ved jeres metode?
- Er det en dyr løsning?
- Hvor i verden kunne den gøre mest nytte?
- Er teknologien bedst til enkelte huse eller store samfund?
- Er ideen ny eller set før?

Afhold til sidst en konference i klassen, hvor hver gruppe hænger deres poster op i rummet. Halvdelen af hver gruppe starter med at gå rundt i lokalet og besøge de andre grupper. Stil spørgsmål til det, I ikke forstår, og spørg gruppen, hvad de ellers kan fortælle om emnet.

Resten af gruppen bliver tilbage for at besvare spørgsmål til jeres poster.

Efter en komplet runde roterer I, så alle både får prøvet at stille og besvare spørgsmål.

Til en konference gælder det om at præsentere sin ide spændende og forståeligt og til så mange som muligt. Overvej, hvordan I kan gøre jeres poster flot og spændende at se på og samtidig gøre tilskueren interesseret i jeres metode.



Tre udfordringer ved solenergi

Solen er den største energikilde, vi har til rådighed på Jorden. Planterne har udnyttet den i milliarder af år gennem fotosyntesen. Det er heldigt for dyr og os mennesker, for i fotosyntesen laver planterne oxygen, der er forudsætningen for alt liv på Jorden. Enzymet, der katalyserer dannelsen af det lille livsvigtige molekyle, må siges at være den vigtigste katalysator på Jorden.

Vi mennesker er kun lige begyndt at øve os i at høste Solens energi. I dette kapitel har du læst om solfangere, solceller og kunstige fotosystemer, der alle sammen er vigtige opfindelser, men som også kan gøres bedre og billigere. Hvis vi lærer af planterne og forbedrer vores metoder, kan vi erstatte de fossile brændstoffer med energi fra Solens stråler. Som du har læst i dette kapitel, er det dog ikke nogen let opgave, solforskere vil løse.

De største udfordringer ved at bruge solenergi er at

- opfange mest mulig energi

- omdanne solenergien til andre energiformer uden at spilde for meget energi undervejs, samt at
- opbevare energien, for eksempel som et kemisk brændstof.

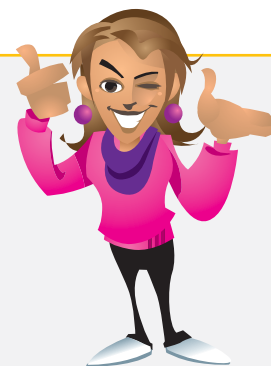
De tre udfordringer skal løses så billigt og effektivt som muligt, og der er desværre et stykke vej endnu, før Solen bliver vores vigtigste energikilde. Til gengæld er belønningen stor, hvis det lykkes. Med et samfund baseret på solenergi kan vi løse to af verdens største problemer: CO₂-udledning og begrænsede energilagere.

En vedvarende energikilde som Solen udleder ikke CO₂, og i modsætning til de fossile brændstoffer løber vi heller ikke tør for sol de næste milliarder år. Desuden er Solen tilgængelig for alle lande, og der er rigeligt af den, selv hvis vi mangedobler vores energiforbrug. Hvis vi skal løse udfordringerne, har vi dog brug for flere ivrige videnskabsmænd og -kvinder, der vil tage kampen op.



Det ved du nu

- Solens stråler kan beskrives som bølger og som små partikler, der kaldes fotoner.
- Fotonernes energi afhænger af lysets frekvens.
- Solfangere omdanner solenergi til varme i en vandbeholder.
- Solceller omdanner solenergi til elektrisk energi.
- Planter omdanner solenergi til kemisk energi i fotosyntesen.
- Et brændstof er et stof, der frigiver energi, når det forbrændes.
- Hydrogen er det simpleste brændstof, der findes, og bruges blandt andet som brændstof i brændselsceller.
- Hydrogen udleder kun vand, når det forbrændes.
- I elektrolyse spaltes vand til hydrogen og oxygen ved hjælp af strøm.
- Ved hjælp af katalysatorer prøver forskerne at efterligne fotosyntesen og spalte vand med de gratis solstråler.



Test dig selv

- * Solen udsender tre slags stråler. Hvilken er mest energirig?
- * Hvor meget af verdens elektricitet blev i 2007 fremstillet af solceller?
- * Hvad hedder det sukkerstof, planterne danner i fotosyntesen?
- * Hvad er enheden for spænding?
- * Udleder brændselsceller CO_2 , når de laver strøm?
- ** Forklar sammenhængen mellem frekvens og energien i fotoner.
- ** Hvad er en vedvarende energikilde?
- ** Hvis man i dag vil fremstille hydrogen uden at bruge fossile brændstoffer, hvilke to trin kræver det så?
- ** Hvor kommer elektronerne fra, som danner strømmen i en brændselscelle?
- ** Hvordan kan man øge spændingen fra brændselsceller?
- *** Hvorfor kan solceller ikke udnytte al energien fra Solen?
- *** Nævn tre udfordringer ved at etablere et brintsamfund.
- *** Hvad er forskellen på en oxidation og en reduktion?
- *** Hvad er energikilden, startmaterialet og slutproduktet i fotosystemet?
- *** Nævn et problem ved at bruge platin som katalysator i fotosystemet.




Affald på tanken



Værdifulde rester

Biomasse som energikilde er ikke nogen ny ide. Men for at undgå at bruge de dele af planterne, som vi spiser, går forskerne nye veje. De vil lave rester fra marken, skoven og skraldespanden om til fremtidens grønne brændstof.



Nyt fra laboratoriet:
Forskerne genbruger
kasseret biomasse.

Comeback til
brændeknuden

74



Fedt på tanken:
Kødrester får nyt liv

75



Svensk skoveventyr:

Her går energien ikke til
spilde

78



Hvad sker der i dette kapitel?

- ☛ Planter danner biomasse ved hjælp af Solens energi.
- ☛ Vi får varme og elektricitet fra biomasse.
- ☛ Bakterier omdanner sukker til alkohol og mælkesyre.
- ☛ Alkohol bliver til biobrændstoffer, og mælkesyre bliver til plastik.
- ☛ Forskerne forsøger at lave billigere biobrændstoffer.
- ☛ Forskerne vil omdanne uspiselig biomasse til kemisk energi i alkohol.



Forskerens udfordring: 82

Andreas gør op med misforståelser om biomasse



'Katte' styrer forskerne mod nye brændstoffer 77



Indhold – Kapitel 4

Introduktion:

Skraldespandens værdifulde rester 70

Biomasse begynder med planterne 72

Biomasse giver energi til kroppen 73

Biomasse som energikilde til samfundet 74

Biobrændstof med naturens hjælp 76

Nye 'katte' til nye brændstoffer 77

Biomasse er fuld af carbon 80

Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik 80

Forskerens udfordring:

Til bords med misforståelser og mirakelkure 82

Kan du arbejde som forsker? 83

Resume: Fra sort til grøn energi 84

Det ved du nu 85

Test dig selv 85

Dansk opfindelse: 81

Fra sukker til syre



Skraldespandens værdifulde rester

Forestil dig en verden, hvor intet affald går til spilde, men bliver genbrugt til at lave brændstof og nye materialer. I gamle dage blev kartoffelskræller til jord i kompostbunken og madaffald til grisefoder. I fremtiden vil vi gøre som i fortiden og aldrig smide noget væk. Ved hjælp af videnskab og teknologi vil forskerne lave affald og planterester om til CO₂-neutrale materialer som brændstof, plastik og kemikalier. Måske vil plastikkærmen på din mobiltelefon en dag være lavet af bananskræller og flyet til Thailand bruge brændstof fra grisefedt og afgnavede majscolber.

Biomasse er alt biologisk materiale, der oprindeligt er dannet af planterne ved hjælp af Solens energi. Biomasse er også menneskets ældste energikilde. Længe før vi kendte til olie, kul og gas, var det biomasse i form af træ, som vi smed på bålet for at få varme og lave mad.

Det betyder dog ikke, at biomasse er en gammeldags og umoderne energiform. Tværtimod er den et populært alternativ til fossile brændstoffer som olie, kul og gas, fordi den er både en CO₂-neutral og vedvarende energikilde. Biomasse er nemlig solenergi, der er omdannet til kemisk energi og derfor let at bruge som brændsel. Ved at anvende biomasse har vi altså en smart genvej til at bruge solenergi og dermed udnytte vores største vedvarende energikilde.

I Danmark har vi for eksempel erstattet endolie og kul med halmrester og kødaffald til at lave varme i mange kraftvarmeværker. Men forskernes ambitioner er større. I stedet for kun at lave varme ved at brænde plante- og kødrester af vil de bruge den kemiske energi i affaldet til at lave brændstoffer til vores transportmidler.

I dag er produktionen af brændstoffer fra biomasse ofte baseret på afgrøder som majs og sojabønner, som vi kunne have spist i stedet. Derfor forsøger forskerne at udvikle teknologier til at udnytte de dele af biomassen, som vi alligevel ikke spiser. Hvis forskerne lærer at nedbryde den kasserede biomasse og sætte den sammen igen til nye molekyler, kan de lave mere miljøvenlige brændstoffer.

De nye teknologier kan også bruges til at lave andre materialer, der i dag fremstilles af olie, kul og naturgas. Det kunne for eksempel være plastik og mange vigtige kemikalier. Samtidig kan vi gemme den spiselige biomasse til middagsbordet. Affald vil blive en værdifuld ressource og samtidig skåne miljøet.

I dette kapitel går vi tæt på forskernes forsøg på at bruge biomasse til at gemme Solens energi. Kapitlet lægger også op til nogle af de vigtige overvejelser, der er omkring udnyttelsen af biomasse. I vores iver efter at stoppe brugen af de fossile brændstoffer må vi ikke glemme, at biomasse er vigtig for alt liv på Jorden, og ikke kun for os mennesker.



Biomasse er alt levende eller nylig afdødt biologisk materiale, for eksempel planter, dyr, kødaffald og trærester.



Grundstoffer i dette kapitel:

C Carbon (dansk: kulstof)

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

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 .

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:

C₆H₁₂O₆ Glucose

er et sukkerstof og kroppens vigtigste brændstof.

C_xH_yOH Alkoholer

er carbonkæder med hydrogenatomer og en OH-gruppe.

Methanol (CH_3OH) er den korteste alkohol med kun et carbonatom. Methanol er giftig.

Ethanol (CH_3CH_2OH) indeholder to carbonatomer. Det er den alkohol, som findes i øl og vin. Ethanol kan også bruges som brændstof i biler.

CH₃CH(OH)COOH Mælkesyre

er en svag syre. Visse bakterier danner mælkesyre, når de nedbryder glucose ved gæring. Som navnet antyder, findes syren blandt andet i mælk.

CO Carbonmonoxid

er en gas, der består af et carbonatom og et oxygenatom.

CO₂ 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 .

DME Dimethylether

er et brændstof, der kan fremstilles af biomasse. Dieselmotorer kan køre på DME.



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.energiपालager.dk.



Biomasse begynder med planterne

For at kunne forstå hvad biomasse kan bruges til, må vi først se på, hvad biomasse er, og hvor den kommer fra.



Biomasse er alt levende eller nylig afdødt biologisk materiale.



Planterne omdanner solenergi til kemisk energi i sukker.

FAKTA

Algerne er havets primære biomasse og står for cirka halvdelen af al fotosyntese på Jorden.



Biomasse er en betegnelse for alt biologisk materiale. Planter som træ, græs og alger er eksempler på biomasse. Når dyr og mennesker spiser planterne, omdanner vi det til knogler, hud og muskler,

som er vores form for biomasse. Biomasse dækker derfor både over korn og rester fra marken samt bøffer og kødaffald fra slagterierne. Din madpakke og dit æbleskrog er også biomasse, ligesom alle de andre biologiske materialer, der er levende eller har været det for nylig.

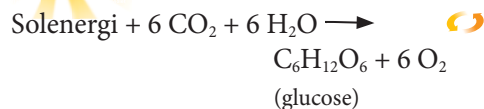
Selvom biomasse ser vidt forskellig ud, indeholder det alt sammen energi. Faktisk er der energi nok i den mængde biomasse, der gror frem hvert år, til at dække vores årlige energiforbrug op til flere gange, men som du kan læse i dette kapitel, er det ikke al biomasse, der er lige nem at bruge.

Biomasse bliver først dannet ved hjælp af planternes *fotosyntese*, som er Jordens vigtigste kemiske reaktion. Uden den ville der ingen planter være på Jorden, og uden planter ingen oxygen og dermed heller intet liv, som vi kender det i dag.

I fotosyntesen bruger planterne energi fra Solen til at lave carbondioxid (CO₂) og vand om til glucose og oxy-

gen. Glucose er et sukker, der består af carbon, oxygen og hydrogen. Glucose er et af de molekyler, der udgør plantens biomasse.

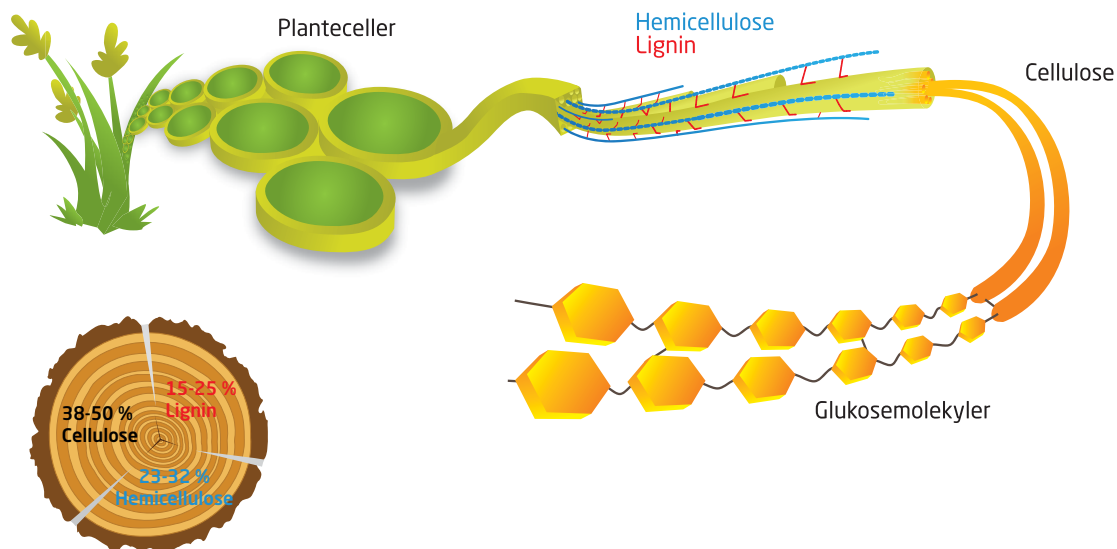
Fotosyntesens samlede reaktion er:



I reaktionen bliver energi fra Solen omdannet til kemisk energi i sukkeret. Når planten har brug for energi, starter *enzym*er i plantecellerne den modsatte reaktion af fotosyntesen og laver glucose om til CO₂. Hvis der derimod er et overskud af glucose, laver planten det om til stivelse, som er lange kæder af glucosemolekyler. De indeholder også kemisk energi og fungerer som plantens energireserve. Kartoffler indeholder for eksempel masser af stivelse.

Planten bruger også glucose til at vokse og lave nye molekyler, for eksempel cellulose. Den består ligesom stivelse af lange kæder af glucose. Cellulose er dog langt mere robust end stivelse. Det er, fordi de kemiske bindinger mellem glucosemolekylerne er anderledes og kæderne derfor tættere pakket.

Andre vigtige molekyler, planterne danner, er hemicellulose og lignin. Sammen med cellulose giver de tre molekyler planten struktur og holder den oprejst. De indeholder alle kemisk energi, der oprindeligt stammer fra solenergi, som er blevet omdannet i fotosyntesen.



Plantens biomasse består af molekyler som glucose, stivelse, cellulose, hemicellulose og lignin. De sidste tre udgør størstedelen af planternes biomasse. Deres mængde varierer, men fordelingen er typisk som vist på figuren.

Når vi mennesker høster plantebiomasse, høster vi derfor indirekte solenergi. Vi kan udnytte energien på mange måder:

- Vi kan spise planterne og bruge deres kemiske energi i kroppen.
- Vi kan brænde biomassen af i et kraftvarmeverk og producere varme og elektricitet.
- Vi kan nedbryde og omdanne biomassen til flydende brændstof, der er let at hælde på biler. Sådanne brændstoffer kaldes *biobrændstoffer*.

FAKTA

Brændstoffer lavet af biomasse kaldes biobrændstoffer. Biodiesel, biobenzin og bioalkohol er alle eksempler på biobrændstoffer.

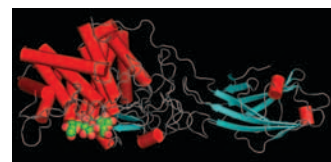
Biomasse giver energi til kroppen

For os mennesker udgør glucose og stivelse en stor del af vores føde. Glucosen udnytter vi med det samme, mens stivelsen først nedbrydes til glucose ved hjælp af enzymer i vores mund og tarme. Cellulose og lignin kan vi til gengæld ikke fordøje, da vores enzymer ikke kan nedbryde de robuste molekyler. Derfor spiser vi ikke blade og stængler.

Kun bakterier kan nedbryde de seje plantedele. Bakterierne lever blandt

andet i maven på mange dyr som køer og hjorte, og derfor lever dyrene fint på græs og blade.

Når dyr og mennesker spiser plantebiomasse, laver vi vores egen biomasse, som senere bliver nedbrudt og genbrugt til at lave ny plantebiomasse. På den måde indgår planter, dyr og mennesker i et stort fælles biomassekredsløb. Når du læser om biomasse som energikilde, er der dog ikke tale om mennesker og levende dyr.



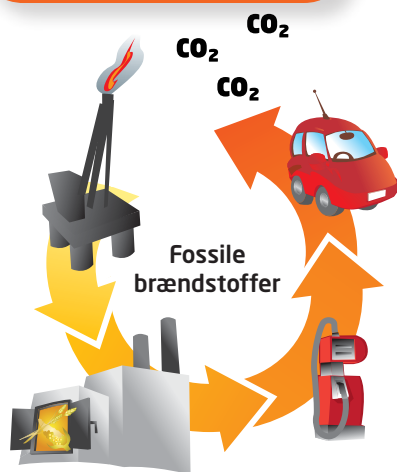
Cellulase. Bakterier fordøjer cellulose (grønt) ved hjælp af enzymet cellulase (rødt og blå). Mennesker har ikke dette enzym.

Biomasse som energikilde til samfundet

FAKTA

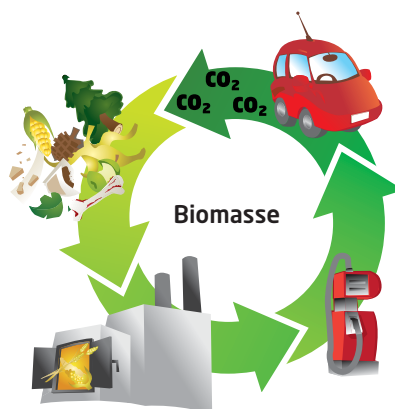
Biomasse er alt levende eller nyligt afdødt biologisk materiale.

Fossile brændstoffer er dødt biologisk materiale, der er millioner af år gammelt. De vigtigste er olie, kul og naturgas.



Vedvarende og CO₂-neutral

Som energikilde har biomasse mange fordele i forhold til fossile brændstoffer. Ud over at være vedvarende er den også CO₂-neutral. Godt nok udleder biomasse CO₂, når den bliver nedbrudt eller brændt af, men den har optaget lige så meget CO₂ fra *atmosfæren*, mens den levede og voksede.



Husk på, at biomasse bliver dannet under planternes fotosyntese, hvor CO₂ og vand laves om til glucose og oxygen. Når biomassen nedbrydes, slipper CO₂ ud igen, uanset om det er mennesket eller naturen, der nedbryder den.

Biomasse kan derfor være en god erstatning for fossile brændstoffer, men vi skal bruge den med omtanke. (Ex. 4.1)



For eksempel er biomassen kun en vedvarende energikilde, så længe der bliver plantet den samme mængde igen efter høsten. Og selvom biomasse i princippet er CO₂-neutral energi, kræver det energi og derved udledning af CO₂ at dyrke, bearbejde og transportere den rundt.

Fra hulemandens bål til kraftvarmeværker

Ilden knitrer, og stegen syder over bålet. Et nyt stykke træ bliver smidt ind i flammerne, og alle rykker tættere på for at nyde godt af varmen. Biomasse er ikke en ny energiform, og forbrænding er den ældste og simpleste måde at udnytte den på. Helt tilbage til huleboernes tid har vi brændt træ af for at lave mad og få varme, og i mange udviklingslande er træ stadig den vigtigste kilde til energi. De rige nationer har siden *industrialiseringen* været afhængige af fossile brændstoffer, men nu har de også fået øjnene op for det gammeldags brændsel.

I dag er mange danske kraftvarmeværker gået over til at brænde biomasse af for at spare på de fossile brændstoffer og udlede mindre CO₂. Typisk bruger de halm, træflis eller husholdningsaffald til at producere varme og elektricitet. I Danmark er biomasse den mest anvendte form for vedvarende energi og udgør hele 70 % af vores vedvarende energiforsyning.



Første og anden generation

Det er naturligt bedst, hvis vi laver varme, strøm og brændstoffer fra de dele af biomassen, som vi mennesker ikke kan spise. Både for at sikre, at der er mad nok til alle på Jorden, men også, fordi det er den uspiselige del, der er mest af. Strøm og varme kan vi sagtens lave, men det er langt sværere at omdanne biomassen til flydende brændstoffer.

Indtil videre har forskerne haft størst succes med at lave brændstof af spiselig biomasse, for eksempel majs og sojabønner, fordi disse består af stoffer, der er nemme at omdanne. Disse biobrændstoffer lærte vi at lave først, derfor kalder vi dem 1. generation. For at undgå at bruge fødevarer vil forskerne dog hellere lære at lave 2. generationsbiobrændstoffer, det vil sige fremstillet af den biomasse, som vi ikke spiser. Det kunne for eksempel være afpillede majscolber og kødafald. Målet

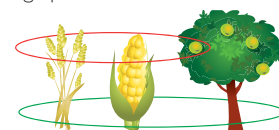
er, at biobrændstoffer af 2. generation skal erstatte noget af den olie, vi i dag bruger til at fremstille benzin, diesel og andre typer brændstoffer.

Uanset hvilken type biomasse vi benytter, skal vi dog huske på, at træer og planter også er mad og levesteder for dyr og insekter. Så selvom vi bliver bedre til at bruge den for mennesker uspiselige biomasse, skal den stadig bruges til andet end energi til samfundet. Nogle forskere vurderer, at vi kan dække 5 % af verdens energiforbrug med biomasse uden at påvirke klimaet eller fødevarerproduktionen negativt. Det kan vi gøre ved primært at dyrke biomasse på forladt landbrugsjord.

I resten af kapitlet kan du læse om nogle af de metoder, som industrien allerede i dag bruger til at omdanne biomasse til brændstof. Du kan også læse om helt nye metoder, som forskerne forsøger at udvikle.

FAKTA

Biobrændstoffer af 1. generation er lavet af biomasse, der kan spises eller forarbejdes til fødevarer (rød). Populære eksempler er sukkerrør, majs og sojabønner, der er rige på sukker eller stivelse.



Biobrændstoffer af 2. generation er lavet af uspiselig biomasse (grøn) som træ, halm, madrester og slagteriaffald.

Fire fornuftige krav !

Brug af biomasse skal:

1. Erstatte en del af de fossile brændstoffer
2. Nedsætte CO₂-udledningen
3. Bevare eller fremme plante- og dyrelivet
4. Levne plads til, at vi kan dyrke nok fødevarer.

Fedt på tanken

Hug! Med en stor kødkniv og et øvet sving med hånden skærer slagteren fedtkanter, brusk og knogler fra de gode kødstykker. Mens lækre bøffer og stege havner i butikkernes kølediske, ligger de usælgelige dele tilbage på landets slagterier. Normalt bliver resterne kasseret, men virksomheden Daka vil hellere end gerne have fat i de fedtede klumper. På deres fabrik syd for Horsens laver de nemlig fedtet om til biodiesel. Faktisk kan de lave både dyrefedt, friturefedt og uspiselige fiskeolier om til brændstof, og de lover, det ikke lugter af gris, når man sætter bilen i gang.

I dag laves næsten al diesel af fossile brændstoffer, men ved hjælp af nye teknologier som Dakas kan vi erstatte nogle af de fossile brændstoffer med alternative råstoffer. Forskere vurderer, at vi kan fremstille 9 % af vores nuværende forbrug af diesel i Danmark fra fiskeri- og slagteriaffald. I første omgang har EU vedtaget, at al diesel til almindelige køretøjer skal indeholde 7 % biodiesel.

Biobrændstof med naturens hjælp

FAKTA

Når bakterier og gærceller nedbryder sukker uden at bruge oxygen, kaldes det for gæring.

Planter, dyr og mennesker bruger oxygen til at nedbryde sukker. Hvad hedder denne proces?

Tip: Se side 28-29



Ved gæring omdannes en del af den kemiske energi i glucose til kemisk energi i ethanol.

FAKTA

Både danske og svenske tankstationer sælger benzin, der indeholder ethanol. I Danmark markedsføres det blandt andet som Bio95. I Sverige som E85.

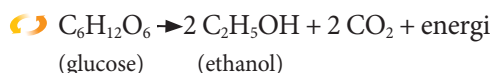
Bio95 **E85**

Brug google.dk til at undersøge, hvilken af de to typer brændstoffer der indeholder mest ethanol. Diskuter i klassen, hvornår man kan kalde benzin for grøn.



Forskerne prøver hele tiden at blive bedre til at nedbryde og omdanne biomassen, så det foregår så effektivt som muligt og med mest mulig omtanke for miljøet. I en metode tager de naturen til hjælp og lader bakterier og gærceller om det hårde arbejde.

Alle levende organismer nedbryder glucose (sukker) for at få energi. Visse bakterier og gærceller kan dog nedbryde den uden brug af oxygen. Det kaldes gæring. Som biprodukt danner de alkoholen ethanol, som indeholder en del af den kemiske energi fra glucose. (Ex. 4.2)



Gæring bruges på bryggerier til at lave ethanol, som er den alkohol, du kender fra øl og vin. Ethanol er dog også et populært biobrændstof til biler. Ved at blande ethanol i benzin kan vi spare på de fossile brændstoffer, som bliver brugt til at lave benzin.

Glucosen til at fremstille ethanol kommer ofte fra biomasse, der er rig på stivelse, som majs og kartofler. Derfor er der både brug for bakterier til at nedbryde stivelsen og til at omdanne glucosen. Begge processer sker ved hjælp af enzymer, der får de kemiske reaktioner til at forløbe hurtigere og mere effektivt.

Enzymer er et vigtigt redskab for forskerne, når de laver biomasse om til brændstof, men hidtil har forskerne kun haft enzymer til rådighed, som kan nedbryde spiselig biomasse. Det er problematisk, da vi jo også bruger denne type biomasse som mad.

Forskere fra den danske virksomhed Novozymes har derfor brugt mange år på at udvikle nye enzymer, der kan nedbryde uspiselig cellulose til ethanol. Gennembruddet i Novozymes' forskning betyder, at de nu også kan omdanne noget af den sværtnedbrydelige biomasse som strå og andet landbrugsaffald til ethanol.

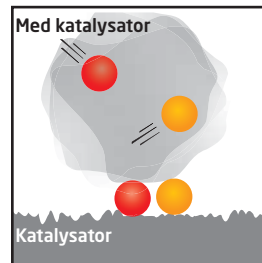
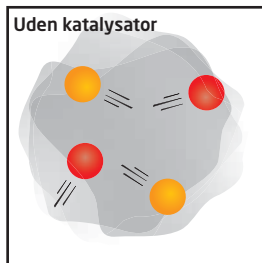
Enzymer kaldes også for biologiske *katalysatorer*. Katalysatorer virker ved at binde de molekyler, som skal reagere med hinanden, i stedet for at de farer frit rundt. Det gør det nemmere og hurtigere for molekylerne at reagere.

Der findes dog også katalysatorer, der ikke er biologiske, for eksempel metaller som kobber, guld og platin.



Gæringstanke til vinfremstilling.

De ikke-biologiske katalysatorer, eller i forskerslang 'katte', har den fordel, at de er mere robuste end enzymerne. Mange forskere prøver derfor at lave katalysatorer, der er billigere og bedre til at fremstille biobrændstoffer end enzymerne. Du kan læse mere om forskerne og deres 'katte' i de følgende afsnit.



Katalysatorer virker ved at holde de molekyler fast, som skal reagere med hinanden.

Nye 'katte' til nye brændstoffer

En gruppe forskere fra CASE-projektet på DTU arbejder på at fremstille biobrændstoffer fra 2. generations-biomasse. CASE står for Catalysis for Sustainable Energy. På dansk betyder det 'Katalyse til vedvarende energi'.

Det er ikke nogen let opgave, forskerne har kastet sig over. For eksempel er det en stor udfordring at nedbryde de meget solide cellulose- og lignin-molekyler. Bagefter skal de nedbrudte molekyler sættes sammen igen til lige præcis de molekyler, som forskerne er interesserede i, og det er heller ikke så let. Derfor leder de med lys og lygte efter katalysatorer, der kan styre de kemiske reaktioner.

Forskerne er blandt andet interesserede i at fremstille alkoholer. En af udfordringerne er at lave alkoholerne så lange som muligt, det vil sige med flest mulige carbonatomer i en kæde. Længere alkoholer indeholder nemlig mere energi per kilo, de er lettere at blande i benzin og er mindre giftige. De er derfor bedre brændstoffer end korte alkoholer.

For eksempel kan der højst blandes 10-15 % af den korte alkohol ethanol i benzin. For at blande mere ethanol i benzin kræver det, at vi bygger bilmotorerne om, og da vi har 900 millioner biler i verden, er det en stor udfordring. Længere alkoholer kan vi derimod blande i benzinen i større mængder uden at ændre bilmotoren.

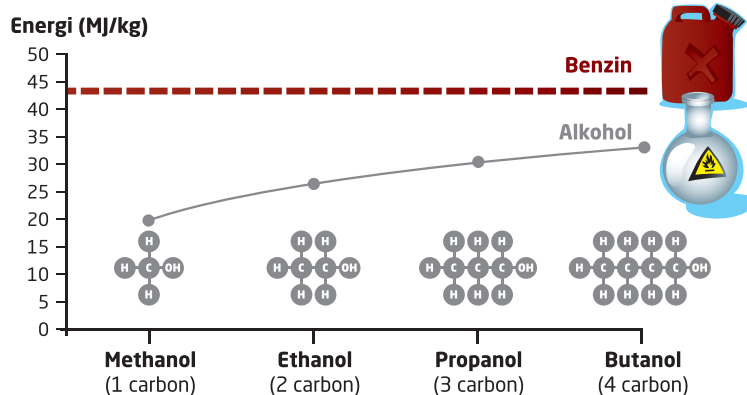
Desværre er de lange alkoholer også de sværeste at fremstille. I det følgende kan du læse om to af forskernes metoder til at fremstille biobrændstoffer.

FAKTA

En alkohol består af en carbonkæde med flere hydrogenatomer (H) og en alkoholgruppe (-OH). Alkoholer har navne, der ender på -ol.

Heptanol har formelen $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{OH}$. Prøv at tegne dens struktur, og byg den med et molekylesæt.

Tip: Hepta betyder 7



Længere alkoholer indeholder mere kemisk energi per kilo. En alkohol med en kædelængde på fire carbonatomer indeholder næsten lige så meget energi som benzin (stiplet linje). MJ betyder megajoule.



Forgasning. Træ og andet svært nedbrydeligt materiale omdannes til gasserne CO og H₂ ved høje temperaturer.



Metode 1: Varme nedbryder biomassen

CASE-forskerne arbejder med to forskellige metoder til at fremstille bio-brændstoffer. I den ene metode nedbryder de biomassen fuldstændigt til simple molekyler, som de sætter sammen igen til et brændstof. Selv den mest hårdføre biomasse kan nemlig nedbrydes, hvis bare man varmer den nok op.

Ved hjælp af temperaturer op til 1.200 °C og kontrolleret tilførsel af oxygen, luft eller vanddamp bliver selv træ og appelsinskræller til gasser. Metoden hedder forgasning, og produktet kaldes syntesegas. Det består primært af gasserne H₂ (hydrogen) og CO (carbonmonoxid). Forgasning er smart, fordi det kan nedbryde solid biomasse som træ og stængler, men til gengæld efterlader processen kun små gasmolekyler,

som forskerne må arbejde videre med. Derfra er der lang vej til de eftertragtede lange alkoholer.

For at gøre vejen kortere og hurtigere tager forskerne i CASE katalysatorer til hjælp, når de skal omdanne syntesegas til alkohol. Desværre er de katalysatorer, man kender i dag, ikke tilstrækkelig gode. Ud over at lave lange alkoholer laver de nemlig også helt korte carbonforbindelser, som forskerne ikke kan bruge i denne sammenhæng. Udbyttet af de lange alkoholer er typisk under 40 %, og derfor er de stadig alt for dyre at fremstille ved denne metode.

Forskerne er hele tiden på jagt efter nye katalysatorer, der kan bruges til at lave højere koncentrationer af de eftertragtede, lange alkoholer, så fremstillingen af brændstoffer bliver billigere og mere effektiv.

En svensk fyr i bilen

Oppe i de svenske skove står store fyrretræer side om side, sprængfyldte med kemisk energi. På en fabrik bliver træerne lavet om til papir, men fremstillingen efterlader en sort, tyktflydende væske. Restproduktet kaldes for sortlud og er en blanding af lignin og hemicellulose, og det indeholder stadig over halvdelen af den oprindelige kemiske energi fra fyrretræerne.

Et nyt dansk-svensk projekt med katalysefirmaet Haldor Topsøe og ledet af bilfirmaet Volvo går ud på at lave væsken om til brændstof. I projektet bliver sortluden forgasset, og syntesegassen omdannes til et brændstof ved hjælp af katalysatorer eller 'katte'. Brændstoffet hedder dimethylether (DME) og kan bruges i dieselmotorer. Forskning i forgasning og katalysatorer fører altså til nye brændstoffer, og i fremtiden kan vi måske erstatte hele vores diesel- og benzinforbrug med miljøvenlige brændstoffer.





Se også filmen 'Affald på tanken'.

Metode 2: Salte nedbryder biomassen

I den anden metode, som forskerne i CASE arbejder med, nedbryder de kun biomassen delvist. Det kræver nemlig en masse energi at forgasse biomasse på grund af de høje tryk og temperaturer i processen. Ved kun at nedbryde biomassen delvist sparer de på energiforbruget.

I mange år har der ikke været andre alternativer til forgasning end at bruge ineffektive enzymer eller giftige opløsningsmidler til at nedbryde eksempelvis cellulose. Men i det seneste årti har forskerne fået øje på en gruppe opløsningsmidler, som de håber kan være et grønt alternativ til forgasning og de giftige kemikalier.

De alternative opløsningsmidler er faktisk salte, men i modsætning til traditionelle salte smelter de ved meget lavere temperaturer. Mens almindeligt bordsalt for eksempel først smelter ved 800 °C, smelter de salte, som forskerne i CASE benytter, generelt under 100 °C og ofte allerede ved stuetemperatur. Derfor kaldes de for ioniske væsker.

Fordelene ved ioniske væsker er mange, blandt andet er de ofte mindre miljø- og sundhedsfarlige og også bedre end organiske opløsningsmidler til at opløse cellulose og andre biologiske molekyler.

Til gengæld er det svært at adskille den ioniske væske fra de nedbrudte dele af biomassen, som forskerne jo skal bruge til at lave nye brændstoffer. Derfor er udfordringen for forskerne at udvikle katalysatorer, der kan samle de opløste dele til brændstof nede i selve væsken. Sådanne katalysatorer findes nemlig ikke i dag.

Som du har læst om i de foregående afsnit, forsøger forskerne altså at udvikle bedre metoder til at fremstille biobrændstoffer af 2. generation. Nye metoder afhænger dog især af, at forskerne udvikler katalysatorer til at styre de kemiske reaktioner. Både til nedbrydningen af biomassen og til fremstillingen af brændstoffer som alkohol og DME. Biobrændstofferne skal erstatte noget af den benzin og diesel, som transportsektoren er afhængig af, og som i dag bliver fremstillet af olie.



Ionisk væske. Træspåner (øverst) bliver opløst i en ionisk væske ved opvarmning til 100 °C. Billederne viser reaktionen efter 1 time (midten) og efter 5 timer (nederst).



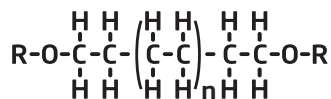
Biomasse er fuld af carbon

Læs mere i kapitel 2 om forskernes forsøg på at bruge carbon fra CO₂.

Biomasse er ikke kun vigtig som alternativ energikilde. Den bliver også en vigtig kilde til carbon, når vi en dag løber tør for fossile brændstoffer. Olie, kul og naturgas indeholder store mængder carbon, der bliver brugt til at fremstille en lang række af de materialer, som vi omgiver os med til hverdag. Carbon indgår nemlig i alt lige fra plastik og computere til rengøringsmidler, makeup og medicin. Ligesom vores samfund i dag er afhængig af fossile brændstoffer som energikilde, er vi altså også afhængige af dem som carbonkilde. Forskellen er dog, at mens vi

har flere gode alternative energikilder, har vi kun få andre carbonkilder. Biomasse er en af dem. (Ex. 4.3)

Hver eneste dag bliver der dannet næsten en halv milliard ton ny biomasse på Jorden. Fossile brændstoffer er derimod millioner af år om at blive dannet, og med den fart, vi bruger dem, forudser forskerne, at vi løber tør for olie og kul inden for få hundrede år. Derefter vil biomassen være en af de eneste carbonkilder, vi har tilbage til at lave alle de materialer, som vi er så afhængige af.



Polyethen (PE) er en af de vigtigste typer plastik. PE består af kæder med hundredetusinder af atomer af carbon og hydrogen. n betyder, at C₂H₄-gruppen i parenteser gentages mange gange. R betyder en kemisk gruppe, eksempelvis CH₃.



Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik

Så snart vi har gode katalysatorer til at omdanne biomasse, åbner mulighederne sig for at lave meget andet end brændstof. Med de rette katalysatorer kan vi for eksempel lave plastik af biomasse i stedet for af olie.

Plastik fra biomasse har dog svært ved at konkurrere med plastik lavet af olie, fordi den første er meget dyrere at fremstille. Det vil dog ikke vare ved. En dag løber vi tør for fossile brændstoffer,

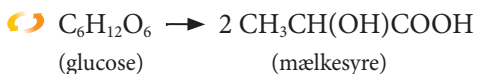
og så bliver vi tvunget til at hente den nødvendige carbon fra alternative råstoffer som biomasse. Derfor er fremskridt inden for udviklingen af oliefrig plastik vigtige allerede nu, og forskerne arbejder hårdt på at fremstille billigere miljøvenlig plastik. (Ex. 4.4)

Plastik fra biomasse kan fremstilles på flere måder. I en af metoderne er den vigtigste ingrediens mælkesyre (CH₃CH(OH)COOH). Som navnet



Plastik fremstilles normalt af olie. Det globale forbrug af plastik er 250 millioner tons om året.

antyder, findes mælkesyre blandt andet i mælk, hvor den bliver dannet af visse bakteriers enzymer. Mælkesyren er et biprodukt, når bakterierne nedbryder glucose for at få energi. Reaktionen foregår uden oxygen og er derfor en gæringsproces, men faktisk er det ikke en særlig effektiv måde for bakterierne at få energi på. Størstedelen af den kemiske energi i glucosen ligger nemlig tilbage i mælkesyren.



Forskerne benytter sig i dag af enzymerne, når de vil fremstille mælkesyre til bionedbrydelig plastik. Desværre er det en meget dyr proces, men som i mange andre tilfælde kan produktionen forbedres af katalysatorer. 'Kattene' er ofte billigere og mere effektive end enzymer, to faktorer, der er nødvendige, for at biomassen kan konkurrere med olien i fremstillingen af plastik.



FAKTA



Mælkesyregæring er én type gæring. Hvilken anden gæringsproces har du læst om i dette kapitel?



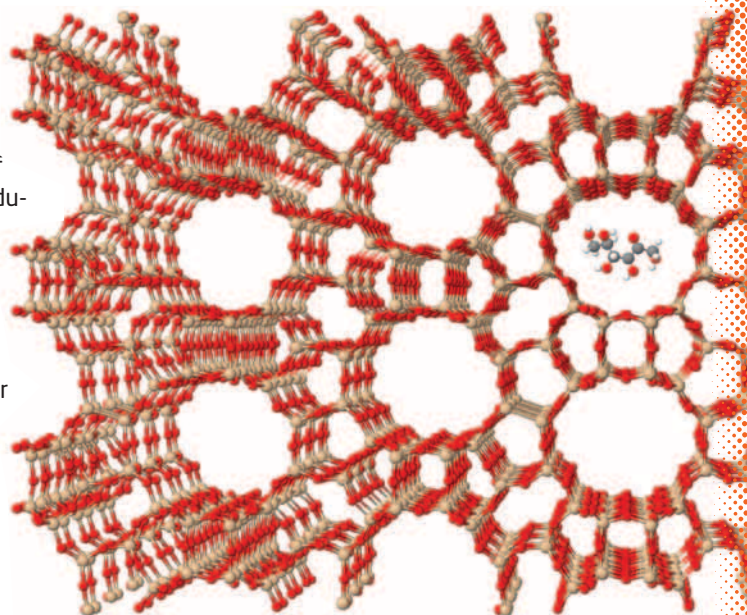
Bakterier omdanner størstedelen af den kemiske energi i glucose til kemisk energi i mælkesyre.

Danmark i front: Mælkesyre fra sukkersvampe

Det ligner lidt en mikroskopisk badesvamp. Sådant en med en masse huller, som vandet siver ind igennem. I stedet for vand suger svampen dog glucose til sig. Sukkersvampen er faktisk en katalysator, der ligesom bakterier omdanner glucose til mælkesyre. Men katalysatoren er mere end bare en kopi af bakterierne. Katalysatoren kan også tåle den syre, den selv producerer, en praktisk egenskab, der mangler hos bakterierne. De dør, når der kommer for meget mælkesyre.

Katalysatoren er et gennembrud for forskere på DTU og hos den danske katalysatorproducent Haldor Topsøe. Som de første i verden er det lykkedes dem at lave den nye katalysator ved at bygge grundstofferne titan, tin og zirconium sammen i et særligt gitter.

På den måde kan de omdanne sukker til mælkesyre i ét trin. Katalysatoren findes stadig kun i laboratoriet, men den har potentiale til at blive en hjørnesten i fremtidens produktion af miljøvenlig plastik.



Forskerens udfordring: Til bords med misforståelser og mirakelkure

Andreas fortæller:

- Alt for mange mennesker hører om eller læser i medierne, at der er fundet en mirakelkur mod vores energiproblemer. Det er der ikke, så jeg prøver at nuancere folks holdninger.

Andreas sætter sig ved det nydeligt dækkede frokostbord. Der er dækket stort op, for hele familien er samlet.

- Hvad er det nu, du beskæftiger dig med unge mand? hører Andreas sin onkel spørge, mens rugbrødet bliver sendt rundt. Andreas snupper en mundfuld karrysild og fortæller, at han er ph.d.-studerende på DTU. Her forsker han i at lave biomasse om til brændstof. Det er vigtigt, fordi vi på et tidspunkt løber tør for den olie, som vi i dag bruger til at lave benzin og diesel.

- Biobrændstof ..., udbryder onklen irriteret. – Er det ikke spild at lave mad om til brændstof? Det ender med at tage brødet ud af munden på os! Han slår en bøvs og vifter vredt med en skive franskbrød, så krummerne flyver omkring ham.

Andreas beroliger sin onkel:

- Faktisk går min forskning ud på at lave biobrændstoffer af de ting, vi ikke kan spise; køkken- og landbrugsaffald og sådan noget.

- Høhø, klukker onklen nu i bedre

humør. - Siger du, at min Toyota skal til at køre på appelsinskræller? Andreas nikker og snupper en slurk sodavand.



- Det forstår jeg ikke, bryder Andreas' tante ind. - Jeg har da set i fjernsynet, at vi bare kan køre i elbiler? Før Andreas når at svare, blander hans kusine sig i samtalen. Hun har læst på internettet, at brintbiler er fremtiden

og løsningen på alle vores problemer. Det er ikke første gang, Andreas møder folk, der har hørt i medierne, at der er fundet en mirakelkur til verdens energiproblemer. Det er lidt af en udfordring at forklare, at det ikke er så simpelt.

- Måske bliver det løsningen en dag, forklarer Andreas. - Men el- og brintbiler kan ikke alene løse problemerne, sådan som verden ser ud lige nu. Vi har brug for rigtig meget brændstof, både til skibe, lastbiler og fly, og det skal være nemt at transportere rundt. Han griber efter leverpostej og fortsætter:

- Derfor har vi brug for mange forskellige teknologier.

I samme øjeblik skinger mostestens stemme igennem selskabet. Hun spørger, om der ikke er nogle, der kan spise lidt mere, ellers går maden bare til spilde.

- Næ, det gør den ikke, griner onklen. - For Andreas har en god fidus. Han vil have, vi skal til at køre på køkkenskrald! Lad os skåle og ønske ham held og lykke med sin forskning!

Andreas Kunov-Kruse er med sine 25 år en af de yngste forskere i CASE-projektet på DTU. Her forsker han i at nedbryde biomasse ved hjælp af ioniske væsker og udvikle katalysatorer, der kan lave biomassen om til brændstof. Som forsker synes han, det er vigtigt at få folk til at forstå, at verden har brug for mange forskellige løsninger, hvis vi vil have energi nok i fremtiden.

Kan du arbejde som forsker?

Nogle gange er der uenigheder i befolkningen om, hvordan og hvor meget man bør benytte nye teknologier, for eksempel biobrændstoffer. En forsker må tit tage stilling til sådanne dilemmaer og overvejelser.

Start med at inddele klassen i fire grupper. Tre af grupperne skal repræsentere organisationer med forskellige interesser i biobrændstoffer. Til højre ses tre citater fra de forskellige organisationer. Vælg et citat i gruppen, og undersøg, hvem hjemmesiden tilhører, og hvad organisationens formål er. Den fjerde gruppe er forskere. I skal ved hjælp af bogens kapitel kommentere på de tre organisationers udtalelser.

Forestil jer, at organisationerne er kaldt sammen for at planlægge Danmarks fremtidige brug af biobrændstoffer. Lav en paneldebat, hvor hver gruppe har forberedt en præsentation. Gruppen kan dele præsentationen imellem sig.



Runde 1: Præsentation af de tre organisationer

A. Hvem er I, hvilke interesser varetager I, og evt. hvilke befolkningsgrupper repræsenterer I?

Runde 2: Debatoplæg fra de tre organisationer

- A. Hvorfor har I en holdning til eller interesse i biobrændstoffer?
B. Hvad er jeres holdning? (fremlæg citatet med jeres egne ord).

Runde 3: Kommentarer fra forskerne

- A. Synes I, organisationerne har ret i deres udtalelser?
Forbered jer med afsnittet: Biomasse som energikilde til samfundet.
B. Hvilke nye forskningsmetoder inden for biobrændstoffer kan I oplyse organisationerne om?
Forbered jer med afsnittet: Nye 'katte' til nye brændstoffer.

Runde 4: Diskussion og overvejelser

- A. Kan I nå til enighed om Danmarks fremtidige brug af biobrændstoffer?
B. Har det haft betydning for debatten, om I diskuterede biobrændstoffer af 1. eller 2. generation?

Fra sort til grøn energi

Vores moderne samfund er dybt afhængigt af energi og carbon. Indtil nu har vi skaffet begge dele fra fossile brændstoffer, men det kan ikke vare ved. I en ikke så fjern fremtid løber vi tør for olie og kul. Derfor er vi nødt til at se os om efter alternative energi- og carbonkilder.

Et oplagt alternativ er biomasse, der ligesom de fossile brændstoffer indeholder masser af både carbon og kemisk energi. Samtidig har biomasse den fordel, at den er vedvarende og CO₂-neutral, hvis vi udnytter den rigtigt. Derfor er biomasse et godt, grønt alternativ både som energikilde og til at lave de materialer, der i dag bliver fremstillet af olie eller kul, eksempelvis plastik og kemikalier.

I dette kapitel har du læst om forskernes metoder til at omdanne biomasse til brændstof og carbonholdige materialer.

I dag er enzymer en populær metode, men den har sine begrænsninger. De enzymer, som bliver brugt, er nemlig skrøbelige og har svært ved at nedbryde den cellulosefyldte biomasse.

I stedet forsøger nogle forskere at erstatte enzymerne med mere robuste ikke-biologiske katalysatorer. Målet er at udvikle katalysatorer, som både kan nedbryde de mange restprodukter fra vores landbrug og slagterier og styre de kemiske reaktioner præcist mod fremstillingen af det produkt, som forskerne ønsker. Produkterne kan for eksempel være alkoholer som propanol og butanol, der består af lange, energirige carbonkæder. De er derfor gode som brændstoffer i vores biler og lastbiler.

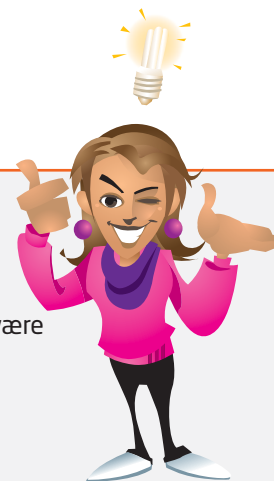
Hvis det lykkes forskerne at udvikle de rette katalysatorer, kan vi erstatte en stor del af vores forbrug af olie med alt lige fra madrester til haveaffald. Samtidig kan vi nedsætte udledningen af CO₂.

Bliver du måske en af de forskere, der giver verden et nyt syn på kartoffelskræller, fedtrester og visne blade?



Det ved du nu

- Biomasse er alt levende eller nylig afdødt biologisk materiale.
- Planterne fremstiller biomasse i fotosyntesen.
- Sukker og stivelse er molekyler, der er nemme at nedbryde, mens cellulose og lignin er svære at nedbryde.
- Biomasse er en CO₂-neutral og vedvarende energikilde.
- Biobrændstoffer er brændstoffer, der er fremstillet af biomasse.
- Ethanol og biodiesel er eksempler på biobrændstoffer.
- Gær og bakterier hjælper forskerne med at fremstille ethanol.
- Forgasning eller opløsning i ioniske væsker nedbryder al slags biomasse.
- Forskerne leder efter katalysatorer, der kan samle den nedbrudte biomasse til nye produkter.
- De rette katalysatorer vil gøre det nemmere og billigere at fremstille biobrændstoffer og plastik af biomasse.



Test dig selv

- * Nævn tre eksempler på biomasse.
- * Hvilke typer biomasse bruger danske kraftvarmeværker?
- * Skriv en reaktion, der er et eksempel på en gæringsproces.
- * Hvad kendetegner en alkohol?
- * Hvad er den vigtigste ingrediens i plastik af biomasse?
- ** Hvilken energiform bliver solenergi omdannet til i planternes fotosyntese?
- ** Nævn to eksempler på, hvordan mennesker kan udnytte biomasse.
- ** Forklar forskellen på biomasse af 1. og 2. generation.
- ** Hvad er problemet med den benzin og diesel, vi i dag bruger som brændstof?
- ** Hvilket grundstof er vi særligt afhængige af for at fremstille mange af vores hverdagsprodukter?
- *** Giv et eksempel på, hvordan enzymer hjælper forskerne.
- *** Nævn nogle fordele ved ikke-biologiske katalysatorer i forhold til enzymer?
- *** Hvorfor er lange alkoholer bedre som brændstof end korte alkoholer?
- *** Hvad bliver biomasse nedbrudt til, når man forgasser den?
- *** Nævn nogle fordele ved ioniske væsker i forhold til traditionelle opløsningsmidler.



Ammoniak som grønt brændstof



A close-up photograph of several purple flowers, likely from a pea plant, with green stems and leaves. The flowers are in various stages of bloom, with some fully open and others as buds. The background is a soft-focus field of similar flowers.

*Naturen inspirerer forskerne:
Rodbakterier har opskriften
på miljøvenlig ammoniak.*

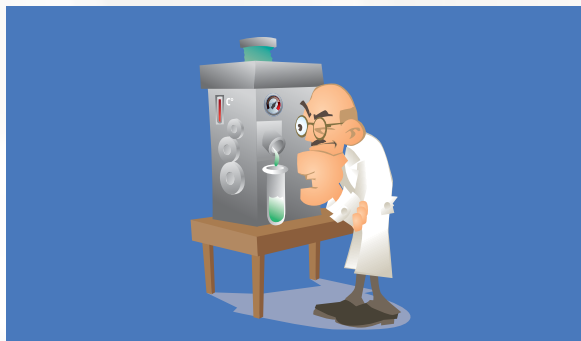
Kendt molekyle bliver nyt brændstof

Ammoniak er velkendt fra kunstgødning, men mindre kendt for sine gode egenskaber som brændstof. Det lille molekyle frigiver store mængder energi og udleder ingen CO₂ ved forbrænding. Forskerne vil fremstille ammoniak med energi fra sol og vind. Rodbakterier i ærteblomster har måske svaret på, hvordan det skal gøres.

Opfindelsen, der ændrede verden:

Historien om ammoniak

93



Alternativ gødning:

Føj for en fugleklat

95



Forskernes grønne ide:

Lav ammoniak som i naturen

99

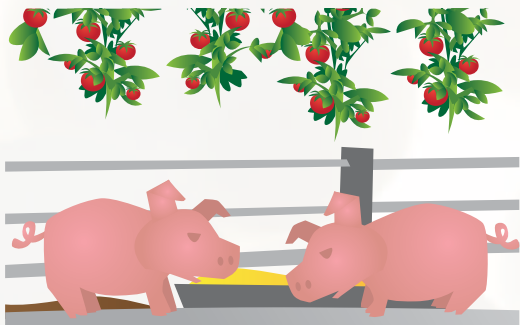


Hvad sker der i dette kapitel?

- Nitrogen indgår i et vigtigt kredsløb mellem jord, planter og dyr
- Dine muskler og dit DNA indeholder nitrogen
- Nitrogen og hydrogen bliver til ammoniak ved hjælp af varme og tryk
- Ammoniak bruges til kunstgødning
- For meget gødning forurener miljøet
- Forskerne vil udvikle en ny metode til fremstilling af ammoniak
- Små, billige fabrikker skal erstatte store, energislugende ammoniak-anlæg
- Forskerne vil omdanne vindenergi til kemisk energi i ammoniak
- Ammoniak kan bruges som miljøvenligt brændstof

En grisestald, der ikke sviner

98



Danmark i front:

Ammoniak renser bilos

101



Indhold – Kapitel 5

| | |
|---|-----|
| Introduktion: Ammoniak lavet på sol og vind | 90 |
| En lille forbindelse med store muligheder | 92 |
| Mad til dobbelt så mange | 92 |
| Katte sætter skub i reaktionerne | 93 |
| Fabrikker, der kører på sol og vind | 94 |
| Det livsnødvendige nitrogen | 95 |
| Nitrogens kredsløb | 96 |
| Når miljøet får nok af gødning | 98 |
| Ammoniak som grønt brændstof | 99 |
| Forskerens udfordring: | |
| Fra computer til kolbe | 102 |
| Kan du arbejde som forsker? | 103 |
| Resume: En revolutionerende opfindelse | 104 |
| Det ved du nu | 105 |
| Test dig selv | 105 |

Forskerens udfordring: 102

Steen søger hjælp
i laboratoriet



Ammoniak lavet på sol og vind

'Stik mig lige pillerne, jeg skal ud at køre.' En stolt forsker står ved sin bil og glæder sig over resultatet af sin forskning. Efter flere års hårdt arbejde er det lykkedes ham at fremstille et miljøvenligt og CO₂-frit brændstof. I stedet for benzin fylder han en skovlfuld ammoniakpiller på tanken. Ammoniakken er fremstillet på en lille fabrik med energi fra vindmøller. Den glade forsker håber, at hans opfindelse kan begrænse vores brug af fossile brændstoffer og udledningen af CO₂.

I jagten på miljøvenlige brændstoffer har forskerne vendt opmærksomheden mod ammoniak. Ammoniak har den kemiske betegnelse NH₃ og består af et nitrogenatom (N) og tre hydrogenatomer (H). Når ammoniak forbrændes, frigiver det store mængder energi. Desuden indeholder ammoniak ingen carbon (C) og udleder i modsætning til benzin og diesel derfor ingen CO₂. Hvis forbrændingen sker ved lav temperatur, er de eneste restprodukter vand (H₂O) og nitrogen (N₂). Ammoniak er derfor et af fremtidens lovende brændstoffer.

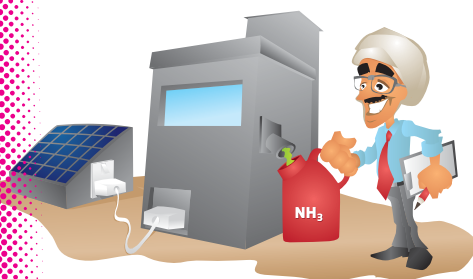
I dag fremstilles ammoniak på enorme fabrikker og med et stort forbrug af *fossile brændstoffer*. I stedet vil forskerne bruge miljøvenlig strøm fra solceller og vindmøller. Ved at omdanne den elektriske energi til *kemisk energi* i ammoniak har vi en smart metode til at gemme sol- og vindenergi til mørke nætter og vindstille dage. Desuden er det bedre at gemme energien i ammoniak end i batterier, fordi ammoniak kan indeholde mere energi.

Ammoniak fremstillet med vedvarende energi er dog stadig kun en fremtidsdrøm. I dag kræver det høje temperaturer og tryk at lave ammoniak, og det

gør det dyrt og besværligt at tænde og slukke fabrikkerne. I stedet kører de i døgndrift, og det passer ikke godt til vedvarende energi, som kun er til rådighed indimellem. Men hvis forskerne kan udvikle en mindre krævende metode til at fremstille ammoniak, kan de bygge mindre apparater, der kan tændes og slukkes, alt efter om solen skinner eller vinden blæser. Dermed nærmer vi os målet med at omdanne og gemme vedvarende energi som ammoniak.

I dag fremstiller vi primært ammoniak til *kunstgødning*. Sidegevinsten ved en ny fremstillingsmetode er, at vi også kan producere kunstgødning uden at bruge fossile brændstoffer. Det er vigtigt, fordi halvdelen af al mad er dyrket ved hjælp af kunstgødning, som derfor fremstilles i enorme mængder.

I dette kapitel kan du blive klogere på forskernes arbejde med at udvikle en ny metode til fremstillingen af ammoniak. I deres søgen henter de blandt andet inspiration fra bakterier i ærteblomster. Bakterierne kan lave ammoniak helt uden de høje temperaturer og tryk. Du kan også læse mere om, hvordan det lille molekyle fremstilles i dag, og hvilken betydning det har for livet på Jorden.



Grundstoffer i dette kapitel:

C Carbon (dansk: kulstof)

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

Fe Jern

er det mest anvendte metal i verden. Det er billigt, findes næsten overalt på Jorden, og så kan det nemt bøjes og strækkes, når det varmes op.

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.

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:

CH₄ Methan

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

CO₂ 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 .

NH₃ Ammoniak

er en giftig gas med en ubehagelig lugt. Det er det næstmest producerede kemikalie i verden. Ammoniak bliver primært brugt til at lave kunstgødning, men det er også et rigtigt godt brændstof.

NH₄⁺ Ammonium

er en ion, der dannes, når ammoniak optager en ekstra hydrogenion (H^+). Ammonium dannes for eksempel i jorden, når ammoniak reagerer med vand (H_2O).

NO₃⁻ Nitrat

er en ion, der er meget vigtig for planterne. De optager nitrat fra jorden og bruger det blandt andet til at lave proteiner og DNA.



Når du møder dette symbol, skifter energi form.

Ordliste

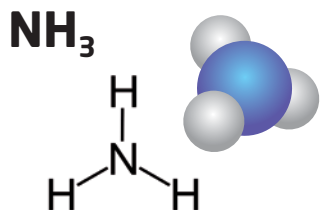
Ord i *kursiv* er forklaret i ordlisten bagerst i bogen.



Scan koden med din mobil, og besøg www.energipaalager.dk.



En lille forbindelse med store muligheder



Ammoniak (NH₃) består af et nitrogenatom (blå) og tre hydrogenatomer (hvide).

Ex

Den kemiske forbindelse ammoniak (NH₃) bliver brugt mange steder i industrien, blandt andet til saltlakrids, sprængstof og kølemidler. (Ex. 5.1) I fremtiden kan ammoniak måske også blive brugt til at gemme *vedvarende energi* og som brændstof i biler. Ideen er oplagt, fordi ammoniak frigiver store mængder energi ved afbrænding.



Ammoniak kan forbrændes direkte, men en mere sandsynlig anvendelse er at spalte molekylet og bruge hydrogen som brændstof i *brændselsceller*:



Når et stof forbrændes, reagerer det altid med oxygen. Fossile brændstoffer, der bruges som brændstof i alt lige fra biler og skibe til olie- og gasfyr, indeholder carbonatomer. Ved forbrændingen reagerer carbon med luftens oxygen og danner CO₂. Ammoniak derimod indeholder ikke carbon, og forbrændingen er derfor helt fri for CO₂:

Hvis ammoniak skal bruges til at gemme vedvarende energi, skal den kemiske forbindelse altså fremstilles med energi fra eksempelvis sol og vind. Det er en stor udfordring, som vi vil undersøge nærmere. Men først ser vi på, hvordan molekylet bliver fremstillet i dag, og hvad det bruges til i dag.



Kemisk energi i hydrogen bliver til elektrisk energi fra brændselscellen.

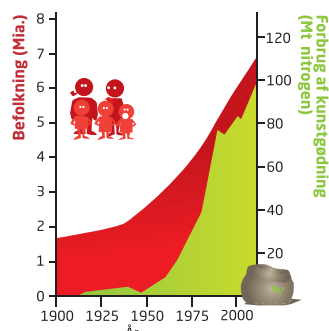
Læs mere om brændselsceller og hydrogen i kapitel 3.

Mad til dobbelt så mange

Ammoniak er måske en af de kemiske forbindelser, der har haft størst indflydelse på verdens befolkning. Næst efter svovlsyre (H₂SO₄) er ammoniak det mest producerede stof i verden målt på vægten. Ammoniak bruges primært til at lave kunstgødning, der gør det muligt at dyrke jorden mere intensivt. Kunstgødning tilfører jorden mere nitrogen, som er et vigtigt næringsstof for planterne. Et lavt indhold af nitrogen i jorden begrænser planternes vækst og dermed landbrugets udbytte.

forskellige former for naturgødning, for eksempel urin og afføring fra køer, heste og svin. Naturgødning indeholder dog ikke ret store mængder af nitrogen. Derfor fik opfindelsen af en industriel metode til fremstillingen af ammoniak stor betydning. Brugen af kunstgødning og dermed udbyttet fra landbruget steg dramatisk.

Ifølge FN's landbrugsorganisation FAO er kunstgødning med til at producere næsten halvdelen af den mad, der dyrkes på Jorden i dag, og med en befolkning, der forventes at stige til ni milliarder mennesker i 2050, er kunstgødning kommet for at blive.



Befolkningstallet og brugen af kunstgødning er vokset parallelt, siden den industrielle produktion af ammoniak begyndte i 1913. Mt står for megaton, som er en million ton.

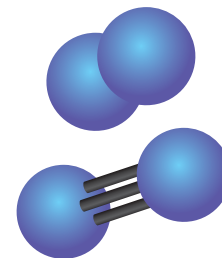
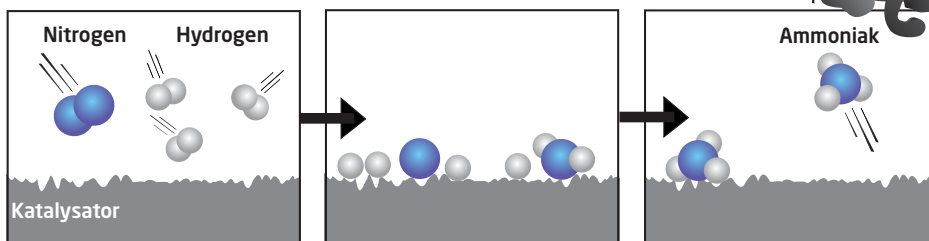
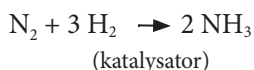
Katte sætter skub i reaktionerne

Ammoniak fremstilles ved, at gasserne nitrogen (N_2) og hydrogen (H_2) reagerer med hinanden. De to nitrogenatomer er dog bundet meget stærkt til hinanden ved en tredobbelt *kemisk binding*, også kaldet en *tripelbinding*. Det er den næststærkeste kemiske binding, der findes. Derfor kræver det meget energi at skille dem ad. (Ex. 5.2)



Energien bliver tilført i form af varme over $400\text{ }^\circ\text{C}$ og et tryk på 150 atmosfære, det vil sige et tryk, der er 150 gange højere end *atmosfærens* normale tryk. Metoden hedder *Haber-Bosch-processen*.

Ud over høj temperatur og tryk kræver Haber-Bosch en *katalysator*, det vil sige et materiale, der får den kemiske reaktion til at løbe hurtigere. Katalysatoren holder de molekyler fast, som skal reagere med hinanden. Derved svækkes molekylernes kemiske bindinger, så der lettere dannes nye forbindelser. 'Katte', som katalysatorerne også kaldes, får derved også reaktionen til at ske med lavere energiforbrug. Ofte er 'kattene' lavet af metaller. I Haber-Bosch-processen bruges en katalysator af jern:



To molekylemodeller af nitrogen (N_2) tegnet med og uden tripelbinding.



Ammoniak-katalysatoren i Haber-Bosch-processen er lavet af jern. Katalysatoren binder nitrogen og hydrogen til sin overflade, så molekylerne lettere kan reagere med hinanden.

Opfindelsen, der ændrede verden

Der er en anspændt stemning i laboratoriet. Professor Fritz Haber studerer omhyggeligt sit apparat for syttende gang, mens hans assistenter nervøst render rundt og rydder overflødige kolber af vejen. De gør klar til et vigtigt besøg fra kemikaliefabrikken BASF, som er interesseret i professor Habers opfindelse. Kemikeren Carl Bosch er blandt de besøgende, der er kommet for at se den utrolige fremstilling af ammoniak fra simple gasser. Desværre løber demonstrationen ind i startvanskeligheder. Pludselig får det høje tryk i maskinen en bolt til at flyve af apparatet. Assistenterne springer for livet, mens boltens suser gennem luften som en pistolkugle. Eksperimentet bliver forsinket og nervøsiteten stiger, men endelig er apparatet klar. I fem uafbrudte timer producerer det flydende ammoniak uden problemer.

Det var en sommerdag i 1909, at Fritz Haber viste sin opfindelse frem, og Carl Bosch så mulighederne for at udvikle den til en industriel produktion. Sammen lagde de navn til en af verdens mest betydningsfulde opfindelser: Haber-Bosch-processen. Gennem de næste 100 år bidrog den til udviklingen af landbrug og leve-standard, og i dag skaffer den mad til mere end tre milliarder mennesker. Begge mænd modtog Nobelprisen for deres arbejde.



Fabrikker, der kører på sol og vind



Ammoniakfabrik. Der findes ca. 650 ammoniakanlæg i verden. Over halvdelen af dem får deres katalysatorer fra det danske firma Haldor Topsøe.

FAKTA

Kunstgødning sælges ofte under navnet NPK-gødning.

Kik på en flaske blomstergødning derhjemme, og undersøg, hvad N, P og K står for. Hvor mange procent er der af hvert næringsstof i gødningen? Sammenlign jeres resultater i klassen.



Katalysatorer får Haber-Bosch-processen til at løbe hurtigere og bruge mindre energi. Men reaktionen mellem hydrogen og nitrogen er alligevel afhængig af høje temperaturer og tryk for at forløbe effektivt. Derfor bruges der store mængder fossile brændstoffer til at danne varme og øge trykket.

En endnu større energisluger er dog fremstillingen af hydrogen til Haber-Bosch-processen. Mens det er let at skaffe nitrogen fra luften, skal hydrogen fremstilles fra naturgas i en meget energikrævende reaktion. Naturgas er rig på methan (CH_4), som indeholder meget hydrogen. I alt står ammoniakproduktionen for over 1 % af verdens energiforbrug og mere end 1 % af verdens samlede udledning af drivhusgasser, primært i form af CO_2 .

Gennem de sidste 50 år er det lykkedes at halvere energiforbruget i processen, men nu kan det ikke blive meget mindre. Hvis forskerne derimod kan udvikle en ny metode til fremstilling af ammoniak ved lavere temperatur og

tryk, kan de bygge mindre og billigere fabrikker. Hvis fabrikkerne bliver små nok, kan de lettere startes og stoppes. Det betyder, at de fossile brændstoffer kan udskiftes med de mere skiftende mængder af vedvarende energi som sol og vind.

Mindre og billigere ammoniakfabrikker vil også gøre kunstgødning tilgængeligt for langt flere mennesker. I dag koster et ammoniakanlæg en milliard dollars at bygge. Dertil kommer det store energiforbrug, som gør anlæggene dyre i drift. Mange fattige lande har ikke råd til ammoniakfabrikker eller til at købe kunstgødning fra udlandet. De har derfor svært ved at udnytte deres landbrugsjord optimalt og producere nok fødevarer til at mætte deres befolkninger. Ideelt set kunne en lille ammoniakfabrik stå ude i små samfund og levere kunstgødning til en håndfuld landbrug. Du kan læse mere om udviklingen af den nye fremstillingsmetode senere i kapitlet. Først ser vi på, hvad planterne bruger nitrogen til.



Grøn gødning. I fremtiden kan bønder måske fremstille kunstgødning lokalt ude på markerne ved hjælp af vedvarende energi.

Det livsnødvendige nitrogen

Gødning er en blanding af forskellige næringsstoffer, som planterne har brug for i større eller mindre mængder. Næringsstofferne er nødvendige, for at planterne kan omdanne sukker fra *fotosyntesen* til proteiner, fedtstoffer, vitaminer og det grønne farvestof klorofyl. Alle næringsstofferne er vigtige, men nitrogen er blandt dem, som planterne skal bruge mest af. (Ex. 5.3)

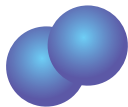


Nitrogen er essentielt for både planter, dyr og mennesker. Uden dette grundstof kan vi for eksempel ikke lave proteiner til vores muskler eller DNA, som er vores arvemateriale. Dyr og mennesker får nitrogen gennem fø-

den, hvorimod planterne optager det direkte fra jorden. Der er dog kun en begrænset mængde nitrogen til rådighed i jorden, og det sætter en naturlig grænse for planternes vækst. Derfor er gødning med nitrogen vigtig, hvis vi vil dyrke og høste flere afgrøder.

Atmosfæren består af 78 % nitrogen (N₂), så det kan virke mærkeligt, at planterne ikke har rigelig adgang til nitrogen. Men ligesom vi mennesker ikke kan udnytte luftens nitrogenmolekyler, har planterne heller ikke gavn af dem. De må i stedet optage nitrogen fra jorden. For at forstå hvordan må vi undersøge naturens nitrogenkredsløb.

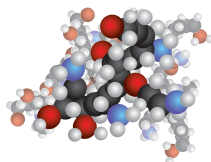
Nitrogen (N₂)




Ammoniak (NH₃)



Proteiner



Nitrogen i kemiske forbindelser. Størstedelen af Jordens nitrogen findes som N₂ i atmosfæren. Langt mindre er tilgængelig i jorden for eksempel i form af ammoniak. Proteiner findes i alle levende organismer.



Afstem reaktionen for fotosyntesen:

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$$

Hvilken energiform udnytter planterne i fotosyntesen?
Tip: Se side 54



Fra fugleklatter til mad på bordet

Fra de stejle klippeøer ud for Perus kyst lyder en øredøvende skræppen. Lyden kommer fra store skarer af pelikaner, skarver og andre søfugle, som lever godt af de mange sardiner og ansjoser i området. Men når noget ryger ind, må noget også ryge ud, og det ses tydeligt på klipperne. Et tykt lag af hvide fugleklatter blandet med fjer, æggeskaller og knoglerester hober sig op i en uappetitlig pærevælling. Utroligt nok har denne uhumske blanding været en eftertragtet vare.

De sydamerikanske inkaindianere var de første, som fandt på at indsamle skidtet fra klipperne og bruge det som gødning. Guano, som det blev døbt, indeholder nemlig 13 % nitrogen samt mange andre næringsstoffer, som planterne har brug for. I midten af 1800-tallet startede Peru en eksport af guano, som fik stor betydning for landbruget i Europa, men efter kun 30 år var klipperne ribbet for de dyrebare fugleklatter. I dag sælges guano kun i begrænsede mængder, og omkring 100 mennesker i Peru er ansat til at samle og pakke fuglemøget.



Nitrogens kredsløb

Grundstoffet nitrogen er livsnødvendigt for planter, dyr og mennesker. Det findes i luften, jorden og i levende organismer. Næsten alt nitrogen findes dog i atmosfæren som N_2 , og den form kan hverken planter, dyr eller vi mennesker udnytte. Derfor er den lille mængde nitrogen, der cirkulerer mellem jord, dyr og planter, en meget vigtig del af kredsløbet. I jorden findes nitrogen blandt andet i forbindelserne ammoniak (NH_3), ammonium (NH_4^+) og nitrat (NO_3^-).

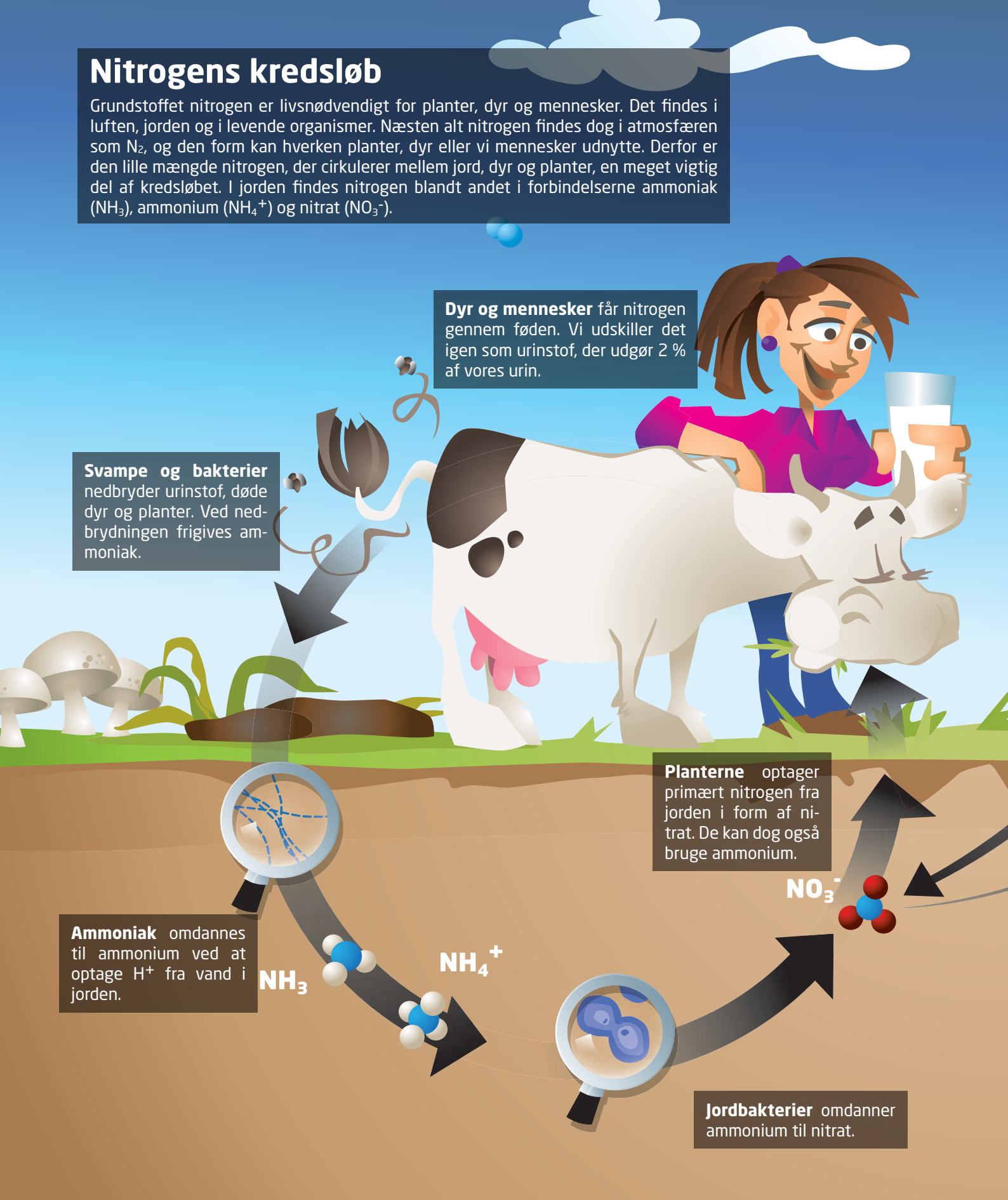
Dyr og mennesker får nitrogen gennem føden. Vi udskiller det igen som urinstof, der udgør 2 % af vores urin.

Svampe og bakterier nedbryder urinstof, døde dyr og planter. Ved nedbrydningen frigives ammoniak.

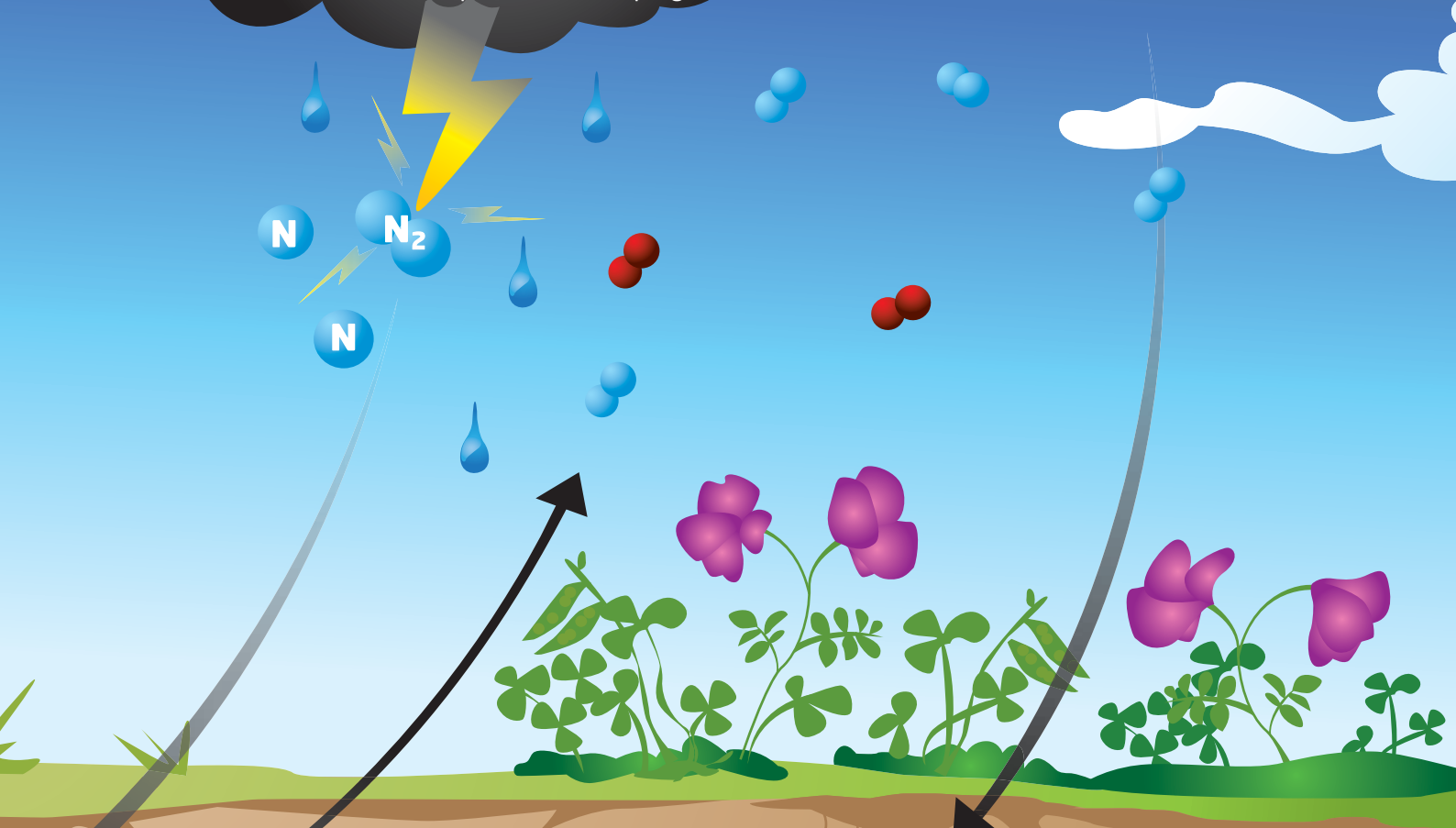
Planterne optager primært nitrogen fra jorden i form af nitrat. De kan dog også bruge ammonium.

Ammoniak omdannes til ammonium ved at optage H^+ fra vand i jorden.

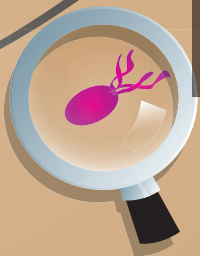
Jordbakterier omdanner ammonium til nitrat.



Lyn spalter N_2 og O_2 i luften til enkelte N- og O-atomer. Disse atomer reagerer med hinanden og med vanddamp i luften. Regnvandet fører dem ned i jorden. Her bliver der dannet nitrat, som planterne kan optage.



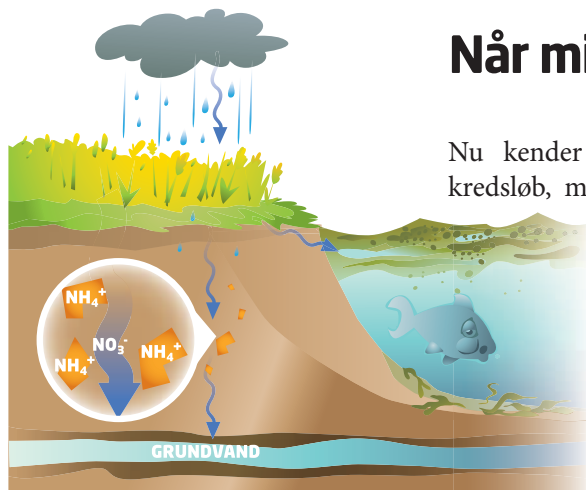
Andre bakterier fører nitrogen tilbage til atmosfæren ved at om-danne nitrat til N_2 .



Bælplanter som ærteblomst og kløver er nogle af de få planter, der kan udnytte N_2 direkte fra luften. Planterne har et særligt samarbejde med bakterier i deres rødder. Bakterierne får deres energi fra planterne og laver til gengæld N_2 fra luften om til ammoniak. Ammoniak bliver til ammonium, som planterne kan optage og dermed dække deres behov for nitrogen.

Bakterierne laver ammoniak ved atmosfærisk tryk og normal temperatur. Ammoniakfabrikkerne derimod bruger over $400\text{ }^\circ\text{C}$ og 150 atmosfære. Forskere er derfor meget interesserede i at gøre bakterierne kunsten efter.

Når miljøet får nok af gødning



Udvaskning. Ammonium (NH_4^+) binder sig til jordpartikler. Det gør nitrat (NO_3^-) derimod ikke. Derfor bliver det let udvasket med regnvandet.

FAKTA

I skoven udvaskes der mindre end 5 kg nitrogen om året per hektar. Fra landbrugsjord bliver der i gennemsnit udvasket 76 kg.

Nu kender du nitrogens naturlige kredsløb, men det er også vigtigt at forstå, hvordan menneskets brug af gødning påvirker kredsløbet. Gødning øger mængden af næringsstoffer i jorden, men desværre ikke kun på de marker, hvor de bliver spredt.

Nitrat er et næringsstof, der let siver fra nyligt gødede marker ud i det omgivende miljø. Når det regner, siver nitrat med det overskydende vand ud i åer, søer og have. Normalt er der en naturlig lav koncentration af nitrat i disse vande, og det begrænser algernes vækst. Men når koncentrationen stiger voldsomt, blomstrer algerne op. I værste fald kan de lægge sig som et tæppe hen over vandoverfladen. 'Tæp-

pet' blokerer for lyset og tager livet af de planter, der lever på bunden. Derudover kan bakterier bruge så store mængder oxygen på at nedbryde de døde alger, at fisk og andre dyr kommer til at mangle ilt.

Nitrat kan også sive ned i *grundvandet* og dermed forurene vores drikkevand. Større mængder nitrat i drikkevandet er livstruende for spædbørn, og flere danske vandboringer er lukket på grund af for høje koncentrationer.

En af de vigtigste løsninger på problemerne med nitrat er at tilpasse mængden af gødning til det, planterne på markerne kan nå at optage. Mindre brug af kunstgødning vil samtidig gavne miljøet, fordi fabrikkerne udleder mindre CO_2 , når der bliver produceret mindre ammoniak.

Glade grise og gylle uden forurening


Du må ikke blande kød og grøntsager på skærebrættet hjemme i køkkenet, men i Århus har en opfindsom landmand samlet grise og tomater på tegnebrættet. I en bygning, han kalder Pig-City, vil han opdrætte grise i underetagen og dyrke tomater i et drivhus i overetagen. Det hele foregår CO_2 -neutralt og uden at forurene miljøet med for mange næringsstoffer. Gyllen fra grisene skal laves til el og varme i et *biogasanlæg*, som opvarmer drivhuset. De rester, der bliver tilbage, skal gøde tomaterne. Alle affalds- og næringsstoffer bliver altså udnyttet.

Projektet har mødt stor interesse fra både politikere og landbrug. Det har også fået opbakning fra Dyrenes Beskyttelse. Grisene får nemlig lov at gå frit rundt i bygningen og bliver desuden slagtet i naboet, så de undgår transport. Byggeriet af Pig-City starter dog tidligst i 2012, da både finansiering og sagsbehandling skal være på plads først. Projektet er nemlig fuldt af nye aspekter, som myndighederne ikke har set før.

Ammoniak som grønt brændstof

Vedvarende energikilder er flygtige energikilder. Vi kan ikke regne med, at de er til rådighed døgnet eller året rundt. Derfor har vi brug for at kunne gemme energien. En række forskere i CASE-projektet på DTU har sat sig for at bruge ammoniak til at gemme vedvarende energi. På den måde kan vi udnytte sol, vind og bølger mere effektivt. Samtidig får vi et miljøvenligt brændstof, der ikke udleder CO₂. Som nævnt tidligere i kapitlet kan vi nemlig bruge ammoniak som brændstof, for eksempel ved at forbrænde hydrogen i brændselsceller både på fabrikker og i biler.

For helt at undgå at udlede CO₂ ved fremstillingen af ammoniak er det nødvendigt at fremstille hydrogen uden at bruge det fossile brændstof naturgas. I stedet kan man spalte vand til hydrogen og oxygen ved hjælp af elektricitet. Processen hedder *elektrolyse*.

For at omdanne vedvarende energi til ammoniak prøver forskerne at udvikle nye katalysatorer, så fremstillingen kan ske uden høje temperaturer og tryk. De mildere betingelser betyder, at ingeniørerne kan bygge mindre krævende ammoniak anlæg. Fordelen ved disse er, at de kan tændes og slukkes afhængigt af mængden af vedvarende energi. Når vindmøller og *solceller* producerer mere strøm, end der er brug for, startes anlægget, og produktionen af ammoniak går i gang. På den måde bliver den elektriske energi lavet om til kemisk energi i ammoniak . Når det er overskyet eller vindstille, kan vi få elektricitet eller andre energiformer ved at forbrænde ammoniakken.

Forskerne skal være kreative, når de søger efter nye katalysatorer til fremstillingen af ammoniak. Måske kan de finde hjælp i naturen. Her laver bakterier nemlig ammoniak ved almindelige temperaturer og tryk.

Læs mere om elektrolyse i kapitel 3.

FAKTA

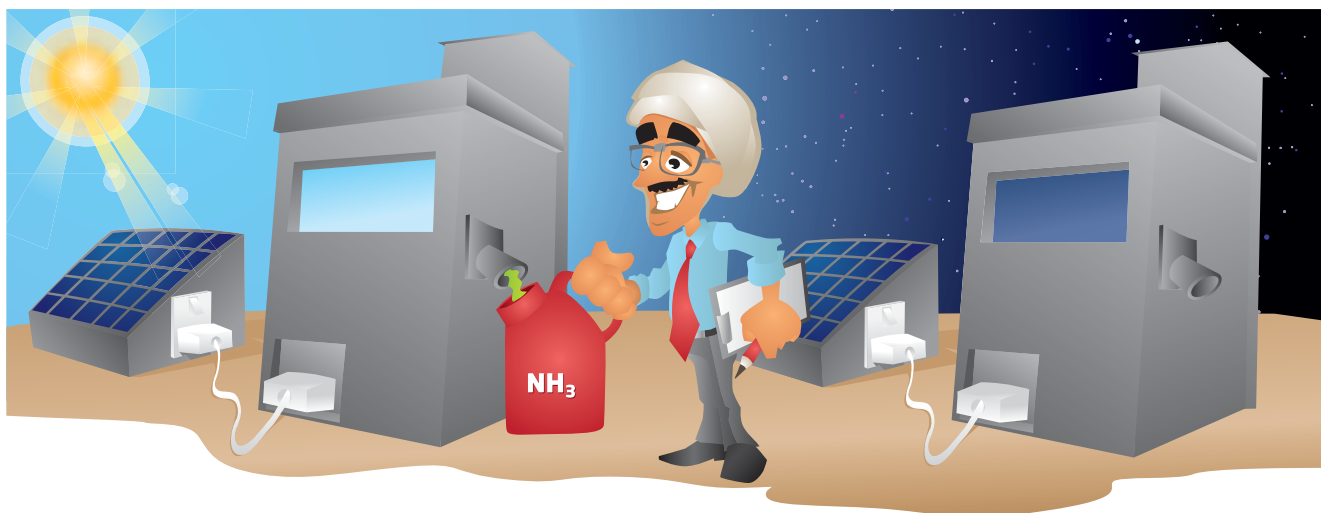
CASE står for 'Catalysis for Sustainable Energy'. På dansk betyder det 'Katalyse til vedvarende energi'.

Beskriv med dine egne ord, hvordan en katalysator virker.

Tip: Se afsnittet 'Katte sætter skub i reaktionerne'



Elektrisk energi fra vindmøller skal blive til kemisk energi i ammoniak.



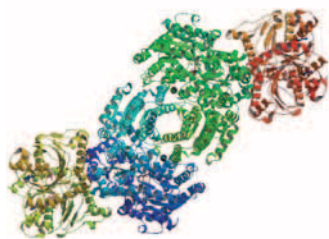
Ammoniak anlæg, der kan slukke og tænde. Forskerne vil omdanne elektrisk energi til kemisk energi i ammoniak, når solceller eller vindmøller leverer overskydende energi.



Se også filmen
'Ammoniak som grønt
brændstof'.



Bakterieknolde. Rødderne hos ærteblomster har små knolde. I knoldene lever der bakterier, som omdanner nitrogen til ammoniak.



Nitrogenase. Bakterier laver ammoniak ved hjælp af enzymet nitrogenase.

Forskerne efterligner enzymer

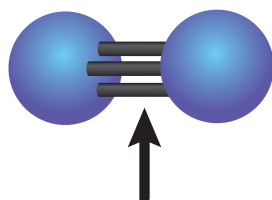
Planter kan normalt ikke udnytte nitrogen fra luften, men enkelte alger og bakterier kan faktisk omdanne nitrogenmolekyler til ammoniak. Man kan blandt andet finde disse bakterier i rødderne på bælgplanter som ærteblomster og kløver.

Mange forskere har studeret og skrevet artikler om bakteriernes metode til at lave ammoniak. Det har vist sig, at reaktionen i bakterierne sker ved hjælp af et *enzym*, der hedder nitrogenase. Enzymer er også katalysatorer, og det fascinerende ved nitrogenase er, at det kan lave ammoniak ved ganske almindelige temperaturer og tryk.

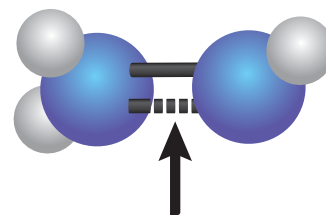
Desværre kan forskerne ikke bare erstatte de katalysatorer, man bruger på fabrikkerne, med enzymer. Det skyl-

des, at enzymer er meget skrøbelige og består af komplicerede strukturer, der kan åbne og lukke sig. Forskerne i CASE forsøger i stedet at efterligne nitrogenasen ved at ændre på den kemiske reaktion, der finder sted i Haber-Bosch-processen.

På ammoniakfabrikkerne i dag bryder man først bindingen i nitrogenmolekylerne og tilsætter derefter hydrogen. Det kræver enorme mængder energi, fordi nitrogenbindingen er så stærk. Nitrogenasen derimod starter med at tilføre hydrogenioner (H^+) og elektroner til nitrogenmolekylet. Når hydrogenionerne sætter sig på molekylet, bliver dets binding svagere og lettere at bryde. Tanken er derfor at finde en katalysator, der kan styre reaktionen, så nitrogenbindingen brydes på samme vis, som når bakterierne laver ammoniak.



Stærk binding



Svagere binding

Den kemiske binding i N_2 er en meget stærk triplebinding. Hvis man kan binde hydrogenatomer til molekylet først, bliver bindingen lettere at bryde.

Ammoniak på pilleform

For at gemme vedvarende energi som ammoniak har vi altså brug for en mindre krævende fremstillingsmetode. Desuden er det vigtigt, at vi kan opbevare ammoniak på en sikker måde, da det er et meget giftigt stof. De skrappe sikkerhedskrav til opbevaring af gas eller flydende ammoniak kan umuligt opfyldes i biler og busser. Derfor søger forskerne efter materialer, der kan binde ammoniak, så forbindelsen kan opbevares i et fast stof, for eksempel i form af piller.

Saltet magnesiumchlorid ($MgCl_2$) er et af disse pillematerialer. Det er både billigt og let at lave. Saltet består af et gitter af mange enheder af $MgCl_2$. En enhed kan binde seks molekyler am-

moniak. Derved dannes forbindelsen $Mg(NH_3)_6Cl_2$, som er et fast og sikkert materiale. Når $Mg(NH_3)_6Cl_2$ varmes op, afgiver det ammoniak som en gas. (Ex. 5.4)

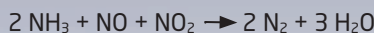
Opbevaring af ammoniak i fast stof rummer dog stadig udfordringer. For eksempel skal materialet frigive ammoniak, uden at det kræver for store mængder energi, eller at det bliver farligt at arbejde med. Der er altså stadig meget arbejde til både nuværende og kommende forskere. Til gengæld er belønningen stor til dem, der baner vejen for, at vi kan bruge ammoniak til at gemme vedvarende energi. Lykkes det, kan vi udnytte energien bedre både som strøm, varme og brændstof.



Ammoniak opbevaret i fast stof. Her illustreret i små piller.

Danmark i front: Dansk teknologi renser verdens bilos

Der går nok lidt tid, før ammoniak bliver brugt som brændstof i biler. Men faktisk bruges ammoniak allerede til at rense udstødningen på dieselmotorer. Det danske firma Amminex har nemlig udviklet systemer til at opbevare ammoniak bundet til faste stoffer i kompakte beholdere. Ammoniak bliver frigivet fra beholderen og ført hen over en katalysator i udstødningen. Derved bliver udstødningsgassen rensed for de meget sundhedsskadelige gasser nitrogenoxid (NO) og nitrogendioxid (NO_2). Gasserne danner også sur regn, som ødelægger bygninger og skove. Reaktionen med ammoniak i katalysatoren er:



Amminex blev dannet i 2005 af fem forskere, der alle har studeret eller arbejdet på DTU. Siden da har firmaet haft rivende travlt. Blandt andet har det indgået en trecifret millionkontrakt med den førende lastbil- og motorproducent i Nordamerika, Navistar.

Takket være den ny teknologi opfylder lastbilerne de stramme miljøkrav, der træder i kraft i USA i 2012. De samme krav kommer i Europa i 2014. Amminex forventer, at lignende regler i resten af verden vil øge efterspørgslen på teknologien.

Forskerens udfordring: Fra computer til kolbe

Steen fortæller:

- Det er altid en udfordring at gå fra teori til eksperimenter. Man håber, at de resultater, man har regnet sig frem til, stemmer overens med det, man ser i laboratoriet. Det er vigtigt at stole på kollegerne i laboratoriet, for forskning giver ikke nogen mening uden samarbejde.

Kl. 9.09. Steen starter sin arbejdsdag. Han er forsker, men han er hverken klædt i kittel eller handsker. I dag har han jeans og skjorte på, og i hånden har han bare en kop rygende varm kaffe. Steens vigtigste redskab er heller ikke en kolbe eller et mikroskop, men derimod hans computer. Steen er nemlig teoretisk fysiker. 'Bliip'... en e-mail fortæller ham, at han kan bruge 'Niflheim' i dag.

Kl. 9.33. Lone stikker hovedet ind af døren og afbryder Steen i hans arbejde. - Har du snart nogle resultater til os? Lone er eksperimentel fysiker, det vil sige, at hun laver forsøg i labo-

ratoriet. I dag vil hun gerne afprøve nogle af Steens nye resultater.

- Næste uge, svarer Steen og griner lidt. Eksperimentelle forskere er ikke altid lige så tålmodige som de teoretiske. Men Steen ved, at det kræver mange dages beregninger, før han kan give sine resultater videre.

Kl. 10.55. Farverige modeller af ke-

miske forbindelser fylder computer-skærmen. Steen kigger særlig nøje på en af dem. Det er et materiale, der kan bruges til at opbevare ammoniak på pilleform. Han kan se molekylet i 3D og vende og dreje det med musen.



Det er interessant for hans forskning i CASE, men først skal Steen beregne, hvordan stoffet kan optage og frigive ammoniak med mindst mulig energi. Hans egen computer er dog ikke hurtig nok. Steen har brug for Danmarks hurtigste computer: Niflheim!

Kl. 13.15. På vej til frokost render Steen ind i Lone igen. En af hendes

maskiner er i stykker, og hun ærgrer sig, for hun elsker at bruge de store, avancerede maskiner. Steen driller kollegaen lidt:

- Nårh... er dit legetøj gået i stykker?
- Legetøj! Du skulle nødtigt snakke,

giver Lone igen. - Du spiller jo bare på computer hele dagen.

- Ha!, svarer Steen. - Hvis det ikke var for mine teoretiske beregninger, ville du ikke vide, hvilke eksperimenter du skulle lave.

- Okay, okay, smiler Lone - men hvis du ikke havde mine eksperimenter, ville du aldrig vide, om dine teorier holdt stik i virkeligheden.

Kl. 14.10. Steen sender sine opgaver til Niflheim. Supercomputeren fylder to rum og kan lave 56.000 milliarder regnestykker i sekundet. Alligevel bruger den to hele dage på at tygge sig igennem en enkelt af Steens opgaver.

Kl. 17.08. Telefonen ringer. Det er Lone, der spørger, om han ikke er færdig for i dag, så de kan gå ud og få sig en pizza.

Steen Lysgaard er 28 år og ph.d.-studerende i forskergruppen CASE på DTU. Her arbejder han med teoretiske beregninger af materialer, der kan producere, binde og frigive ammoniak. Lone Bech er Steens kollega og arbejder med eksperimentel fysik. Hun afprøver teoretikernes resultater i laboratoriet. Niflheim er DTU's supercomputer og var i 2010 Danmarks hurtigste.

Kan du arbejde som forsker?

For teoretiske forskere er modeller af kemiske forbindelser et vigtigt redskab. Forskerne bruger ofte avancerede computerprogrammer til at undersøge modellerne. Her kan forskerne for eksempel undersøge, hvordan enkelte atomer sætter sig sammen, og hvor meget molekylerne fylder, når de er bundet i et fast stof.

I skal nu selv bruge molekylemodeller til at undersøge, hvordan ammoniak kan pakkes i saltkrystallen magnesiumchlorid. Saltet består af et gitter af mange MgCl_2 -enheder. I kan forestille jer, at hver enhed er ligesom en kasse, der kan fyldes ammoniak i.

Forskere som Steen Lysgaard (modsatte side) arbejder netop på at under-

søge magnesiumchlorid ved hjælp af computermodeller. Typisk starter han med nogle få oplysninger. I takt med, at han får indsamlet flere oplysninger, forbedrer han sin model. Det svarer lidt til at finjustere en madopskrift ved hele tiden at smage sig frem. I stedet for at bruge computerskabte molekylemodeller, skal I bruge et molekylebyggesæt. Del klassen ind i grupper, som hver får et byggesæt og et bægerglas.

Fordelen ved at arbejde med modeller er naturligvis, at molekylerne er så store, at I kan se dem. Virkelighedens molekyler er ca. 250.000.000 gange mindre. Molekylernes størrelse måles i ångstrøm ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,0000000001 \text{ m}$). Jeres modeller måles i cm.

I skal bruge:

500 ml bægerglas
Molekylebyggesæt



Målestoksforhold:

Når I måler rumlige figurer, skal I bruge cm^3 . I jeres model svarer 1 \AA^3 til 16 cm^3 . I skal også vide, at 1 cm^3 fylder 1 ml.

Oplysning 1: Saltet består af et gitter af MgCl_2 -enheder. En enhed kan rumme et vist antal NH_3 -molekyler.

- I kapitlets tekst kan du læse, hvor mange NH_3 -molekyler en MgCl_2 -enhed kan rumme. Find dette antal.
- Byg samme antal NH_3 -molekyler, og pak dem så tæt som muligt i et 500 ml bægerglas. Hæld vand i glasset, til molekylerne netop er dækket. Hold dem nede, så de ikke flyder ovenpå. Hvad er det samlede rumfang af vand og molekyler i ml (eller cm^3)?

Oplysning 2: Alle NH_3 -molekylerne i en enhed er bundet til det samme magnesiumatom.

- NH_3 -molekylerne binder til magnesiumatomet ved hjælp af en fjerde binding. Sæt en fjerde pind i jeres NH_3 -molekyler. Fordel molekylerne mellem jer, og hold dem, så molekylernes fjerde pind peger mod det samme punkt.
- Vurder, om molekylerne stadig kan være i et 500 ml bægerglas.
- Lad en person i gruppen bruge en lineal til at måle højde, bredde og dybde på de seks molekyler, mens I holder dem. Beregn, hvor mange cm^3 rumfanget af en enhed mindst skal være for at indeholde alle NH_3 -molekylerne.

Oplysning 3: Rumfanget af en enhed $\text{Mg}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_2$ er 330 \AA^3 .

- Omregn enhedens rumfang fra Å^3 til cm^3 .
- Hvor tæt på var jeres bud?

Oplysning 4: Rumfanget af en tom enhed MgCl_2 er 68 \AA^3 .

- Omregn enhedens rumfang fra Å^3 til cm^3 .
- Brug jeres resultater til at beskrive, hvordan saltgitteret ændrer sig, når det binder NH_3 -molekyler.

En revolutionerende opfindelse

Vedvarende energikilder som sol og vind spiller en vigtig rolle i fremtidens energiforsyning. Det kræver dog, at vi udnytter dem bedre. Forskerne skal for det første blive bedre til at omdanne vedvarende energi til kemisk energi. For det andet skal de lave brændstoffer, der både er praktiske at fremstille og opbevare. Endelig skal energien kunne trækkes ud af brændstoffet uden for store anstrengelser.

Ammoniak er et af de kemiske stoffer, som forskerne vil bruge som brændstof. Det frigiver nemlig store mængder energi, når det brændes af. Som du har læst i dette kapitel, er den nuværende metode til fremstilling af ammoniak dog alt for krævende. Hvis ammoniak skal bruges til at gemme eksempelvis overskydende strøm fra vindmøller, skal forskerne udvikle en ny metode. Her kigger de mod naturen, hvor bakterier i bælgplanter allerede laver ammoniak uden at bruge høje temperaturer og tryk. Når vi har brug for energi, for eksempel strøm eller brændstoffer, kan vi hente energien ud af ammoniak ved at brænde den af. Hvis vi indretter vores huse og biler til at bruge

ammoniakpiller i stedet for benzin eller naturgas, kan vi sænke udledningen af CO₂ og passe bedre på miljøet.

I dag laver man ammoniak ved Haber-Bosch-processen. Da den blev opfundet for godt 100 år siden, var der næppe nogen, der forudså, hvor revolutionerende processen ville være i forhold til brugen af kunstgødning og muligheden for at brødføde verdens befolkning. Haber-Bosch er nu en af vores vigtigste industrielle processer. Mange nationer er afhængige af kunstgødning for at kunne skaffe mad til deres hurtigt voksende befolkninger. Desværre er der en skæv fordeling af kunstgødning mellem de industrielle lande og udviklingslandene. En ny og mindre krævende metode til fremstilling af ammoniak kan afhjælpe nogle af problemerne. Billigere og mindre anlæg kan nemlig placeres mere lokalt og bruges i udviklingslandene, hvor der er stort behov for dem.

Opfindelsen af Haber-Bosch-processen ændrede i den grad verden. Vil du være med til at opfinde en ammoniakproces og ændre verden på ny?



Det ved du nu

- Ammoniak består af et nitrogenatom og tre hydrogenatomer.
- Ammoniak bruges primært til at lave kunstgødning. Det er det næstmest producerede stof i verden.
- Atmosfæren indeholder 78 % nitrogen i form af N_2 .
- Planter optager nitrogen fra jorden som nitrat og ammonium.
- Bakterier i bælgplanters rødder kan omdanne luftens nitrogen til ammoniak.
- Dyr og mennesker får nitrogen gennem føden.
- Nitrogenforbindelser som NO_3^- , NO og NO_2 kan forurene vandmiljøet og luften samt være sundhedsskadelige.
- Forskerne vil omdanne vedvarende energi til kemisk energi i ammoniak.
- Nye katalysatorer skal få ammoniakreaktionen til at ske ved normal temperatur og atmosfæretryk.
- Når ammoniak forbrændes, frigiver det meget energi, men ingen CO_2 .



Test dig selv

- * Tegn et ammoniakmolekyle.
- * Hvor kommer den nitrogen fra, som industrien bruger til at lave ammoniak?
- * Hvor kommer den hydrogen fra, som industrien bruger til at lave ammoniak?
- * Hvad skal din krop bruge nitrogen til?
- * Nævn nogle fordele og ulemper ved brug af kunstgødning.
- ** Opskriv og afstem den reaktion, der benyttes til industrielt at fremstille ammoniak.
- ** Hvordan udnytter ærteblomster nitrogen fra luften?
- ** Hvorfor siver nitrat lettere ned i jorden end ammonium?
- ** Hvad betyder det, at vedvarende energikilder er flygtige?
- ** Hvad bliver udstødningsrøg renses for, når det sendes gennem et ammoniakfilter?
- *** Forklar, hvad der sker i Haber-Bosch-processen.
- *** Hvorfor kræver det meget energi at bryde nitrogenbindingen?
- *** Hvordan kan en ny, mindre energikrævende metode komme fattige lande til gode?
- *** Hvorfor har vi brug for at kunne gemme vedvarende energi?
- *** Hvordan kan man transportere ammoniak sikkert rundt som brændstof?



Ordliste

Aktiveringsenergi

Den energi, der skal tilføres en reaktion, for at den kan forløbe. Aktiveringsenergien kan sammenlignes med en bakke, der skal overvindes. En katalysator sænker aktiveringsenergien for en reaktion. Se *Katalysator*.

Atmosfæren

Luftlaget omkring en planet. Jordens atmosfære er som en tynd hinde sammenlignet med Jordens størrelse. Atmosfæren har ikke nogen veldefineret øvre grænse, men tynder ud, jo længere væk man kommer fra planeten. Det vil sige, der bliver færre luftmolekyler. Jordens atmosfære består primært af nitrogen, N₂ (78 %) og oxygen, O₂ (21 %). Desuden er der en række andre gasser, blandt andet drivhusgasserne. Se *Drivhusgasser*.

Biobrændstoffer

Brændstoffer fremstillet af biomasse. Hvis biomassen består af fødevarer som majs, korn og soja, kaldes biobrændstofferne for første generation. Består biomassen af uspiselige råvarer som træ, planterester og dyrefedt, kaldes brændstofferne anden generation.

Biogasanlæg

Et anlæg, typisk en stor tank, hvor biogas bliver fremstillet af restprodukter fra landbrug, slagterier og husholdninger. Biogas består primært af methan (CH₄), som dannes, når bakterier nedbryder biologisk materiale under oxygenfrie forhold. Et biogasanlæg sørger for oxygenfrie

og varmeregerede forhold, der gør bakteriernes produktion af biogas så effektiv som mulig. Den dannede biogas bliver opsamlet og kan bagefter brændes af for at producere varme og strøm.

Biomasse

Alt biologisk materiale, det vil sige levende eller nyligt afdødt materiale. Biomasse omfatter for eksempel træ, mad, dyr og mennesker. Når man omtaler biomasse som energikilde, mener man dog ikke mennesker og levende dyr.

Brændselscelle

En celle, der omdanner kemisk energi fra et brændstof til elektrisk energi. Typisk er brændstoffet hydrogen, men brændselsceller kan også køre på andre forbindelser som ethanol og ammoniak. Brændstoffet bliver løbende tilført sammen med oxygen. Restproduktet, for eksempel vand, forlader brændselscellen. Brændselscellen kan blive ved at køre, så længe den tilføres brændstof. Det er i modsætning til et batteri, der med tiden opbruger sit kemiske lager.

Bølgelængde

Afstanden mellem to bølgetoppe. Al stråling, som radiobølger, varmestråling, lys og røntgenstråling, bevæger sig i bølger. Strålingerne har forskellige bølgelængder.

Carbonkæder

En kæde af carbonatomer med hydrogenatomer på. En mere korrekt betegnelse er hydrocarbonforbindel-

ser. Carbonkæder er gode brændstoffer, fordi de frigiver en masse energi ved forbrænding. Olie består for eksempel af en blanding af forskellige carbonkæder op til tyve carbonatomer lange.

CO₂-neutral

Et begreb, der bruges om brændstoffer, når de ikke udleder mere CO₂ ved forbrænding, end de oprindeligt har fjernet fra atmosfæren. For eksempel udleder træ og planter samme mængde CO₂, når de brændes af, som de har optaget gennem deres vækst. Begrebet kan også bruges til at beskrive en by eller et samfund, hvis det eksporterer større mængder vedvarende, CO₂-neutral energi end det forbruger af CO₂-udledende, fossile brændstoffer. Samsø er et eksempel på et CO₂-neutralt samfund.

Dampgenerator

En generator, der laver strøm ved hjælp af damp. Se *Generator*.

Drivhuseffekten

Et naturligt fænomen i Jordens atmosfære. Drivhuseffekten tager navn efter et drivhus, der slipper lys ind gennem glasset, men tilbageholder varmen. På samme måde slipper sollys ind i atmosfæren, mens varmestråling bliver holdt tilbage. Varmestrålingen dannes, når sollyset rammer Jorden. Varmestrålingen kastes ud mod rummet men holdes tilbage af drivhusgasser i atmosfæren. Se *Drivhusgasser*.

Drivhusgasser

Gasser i atmosfæren, som absorberer noget af varmestrålingen fra Jorden. De vigtigste drivhusgasser er vanddamp (H₂O), carbondioxid (CO₂), methan (CH₄) og lattergas (N₂O). En øget koncentration af drivhusgasser betyder en større absorption af varmestråling. Dermed tilbageholdes mere varme i atmosfæren. Dette fører til global opvarmning. Menneskets udledning af CO₂ er sandsynligvis skyld i, at Jorden bliver varmere.

Elektrode

En elektrisk leder, der fører strøm ind i eller ud af et kemisk element. Batterier og brændselsceller indeholder hver to elektroder. Ved den første elektrode sker der en oxidation af en kemisk forbindelse. Se *Oxidation*. Ved den anden elektrode sker der en reduktion. Se *Reduktion*. Når elektroner bevæger sig fra den oxiderende til den reducerende elektrode gennem et ydre kredsløb, bliver der dannet strøm.

Elektrolyse

Spaltning af en kemisk forbindelse ved hjælp af elektricitet. Ved elektrolyse af vand bliver vandet spaltet, det vil sige delt til oxygen og hydrogen.

Enzym

Et molekyle, der hjælper kemiske reaktioner til at forløbe hurtigere og bruge mindre energi. For eksempel hjælper enzymer i munden og tarmene med at nedbryde molekyler i maden. Enzymer kan også hjælpe med at bygge nye molekyler som

DNA. Enzymer er biologiske molekyler, fordi de fremstilles af levende organismer. De kaldes også for biologiske katalysatorer. Se *Katalysator*.

Fossile brændstoffer

Energirige kemiske forbindelser, der er dannet af dødt, biologisk materiale gennem mange millioner år. Olie, kul og naturgas er de vigtigste fossile brændstoffer. De er lagret i undergrunden og hentes op ved hjælp af borer og udgravninger. Der er således kun en begrænset mængde fossile brændstoffer til rådighed. Fossile brændstoffer udleder carbondioxid (CO₂), når de brændes af. Det er fordi de fossile brændstoffer indeholder carbon, som reagerer med oxygen i atmosfæren under afbrænding. Naturgas består primært af methan (CH₄), mens olie og kul består af carbonkæder. Se *Carbonkæder*.

Fotokatalyse

Spaltning af en kemisk forbindelse ved hjælp af solstråling. Ved fotokatalyse af vand bliver vandet spaltet, det vil sige delt til oxygen og hydrogen.

Fotoner

Energirige partikler, der udgør for eksempel radiobølger, varmestråling, lys og røntgenstråling. De forskellige typer stråling har fotoner med forskellige energiladninger.

Fotosyntese

En kemisk reaktion, hvor solenergi bliver omdannet til kemisk energi. Ved hjælp af solenergi omdannes

carbondioxid (CO₂) og vand (H₂O) til oxygen (O₂) og det energirige sukkerstof glucose (C₆H₁₂O₆). Reaktionen foregår i alle grønne planter, alger og visse bakterier. Fotosyntesen er en af de ældste og vigtigste biologiske reaktioner på Jorden.

Frekvens

Antallet af bølgetoppe, der passerer et punkt per sekund. Se også *Bølgelængde*. Frekvensen er udtryk for energiindholdet i en stråling, for eksempel i solstråling. Solens energirige UV-stråler har høj frekvens, mens Solens mindre energirige, infrarøde stråler har lav frekvens.

Generator

En maskine, der omdanner bevægelsesenergi til elektrisk energi. Bevægelsesenergien kan komme fra gennemstrømmende vind eller vand.

Grundvand

Vand, som befinder sig under jordoverfladen i porer og sprækker. Grundvandet dannes af nedsvivet regnvand. I Danmark udnytter vi grundvand fra 20-100 meters dybde til drikkevand.

Gylle

Flydende staldgødning, der består af rester af foder, halm og andet strøelse, samt urin og afføring fra husdyr som svin og køer.

Haber-Bosch-processen

En industriel metode til at fremstille ammoniak (NH₃) fra nitrogen (N₂) og hydrogen (H₂) ved hjælp af en

jernkatalysator. Se *Katalysator*.

Industrialiseringen, se *Industrielle revolution*.

Industrielle revolution, den

En periode fra midten af 1700-tallet til midten af 1800-tallet. Her blev brændsel baseret på træ i stort omfang udskiftet med brændsel baseret på kul og senere også på olie. Maskinbaseret arbejde vandt frem især inden for bomulds- og jernindustrien. Maskinerne gjorde det muligt at forøge produktionen og gøre den billigere.

Katalysator

Et materiale, der får en kemisk reaktion til at forløbe hurtigere og ved mindre brug af energi. En katalysator bliver ikke selv forbrugt i reaktionen. Katalysatorens sammensætning afhænger af, hvilken kemisk reaktion man ønsker at påvirke. For eksempel fremstilles ammoniak ved hjælp af en katalysator, der består af jern.

Katalyse

En teknologi til at øge hastigheden af en kemisk reaktion. I en katalytisk reaktion sænkes det energiforbrug, der skal til for at sætte en reaktion i gang. Katalyse sker ved hjælp af en katalysator. Se *Katalysator*.

Katalysere, se *Katalyse*.

Kemisk energi

Den energi, der kan frigives, når kemiske forbindelser reagerer og danner nye forbindelser for eksempel

under en afbrænding. Se *Kemiske bindinger*.

Kemiske bindinger

Bindinger mellem atomer i et kemisk stof. Der findes forskellige typer af bindinger. I kemiske molekyler består en binding mellem to atomer af mindst to elektroner. Det kræver energi at bryde kemiske bindinger. Til gengæld frigives der energi, når atomerne danner nye bindinger. For eksempel bliver der frigivet energi ved en forbrænding, fordi atomer i brændstoffet danner nye bindinger med oxygenatomer fra luften.

Kernekraft

Energi, der kan udvindes ved at forene eller spalte atomkerner. Hvis atomkernerne forenes, er der tale om fusionsenergi. Hvis atomkernerne spaltes, er der tale om fissionsenergi. Fusionsenergi er mest almindelig inden for kernekraft, hvor man typisk spaltes atomkerner fra grundstoffet uran. Kernekraft kaldes også for atomkraft.

Kraftvarmeværk

Et anlæg, der producerer både elektricitet og varme. Varmen er overskudsvarme fra elproduktionen. Varmen bliver for eksempel brugt til opvarmning af huse (fjernvarme) i stedet for at gå til spildevand. Det betyder, at man kan udnytte op til 90 % af energien fra kraftvarmeværkets brændstof.

Kunstgødning

En blanding af plantenæringsstof-

fer, der er kunstigt fremstillet på en fabrik. Næsten alle typer kunstgødning indeholder nitrogenholdige næringsstoffer, der er fremstillet ud fra ammoniak (NH_3).

Oxidation

En kemisk reaktion, hvor et molekyle afgiver elektroner. Et molekyle bliver oxideret, når det afgiver elektroner.

Redox-reaktion

En kemisk reaktion, der både involverer en oxidation og en reduktion. I reaktionen bliver elektroner overført fra ét molekyle til et andet.

Reduktion

En kemisk reaktion, hvor et molekyle modtager elektroner. Et molekyle bliver reduceret, når det modtager elektroner.

Respiration

En kemisk reaktion, hvor sukkerstoffet glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) og oxygen (O_2) bliver omdannet til carbondioxid (CO_2) og vand (H_2O). Samtidig frigives der energi. Respiration foregår i alle levende planter, dyr og mennesker. Ordet betyder ånding, der betegner udvekslingen af gasser mellem organismen og den omgivende luft eller det omgivende vand.

Solcelle

Et apparat, der opfanger Solens stråler og omdanner solenergi til elektrisk energi.

Solenergi

Den energi, der findes i Solens strå-

ler, herunder infrarød stråling (varme), synligt lys og ultraviolet stråling. Solen udsender energi i form af fotoner. Se *Fotoner*.

Solfanger

Et apparat, der opfanger Solens stråler og bruger solenergien til at opvarme vand.

Tripelbinding

En meget stærk kemisk binding, der består af seks elektroner. Elektronerne deles mellem to atomer, for eksempel de to nitrogenatomer i N_2 . Se også *Kemiske bindinger*.

Vedvarende energi, se *Vedvarende energikilder*.

Vedvarende energikilder

Energikilder, som ikke kan bruges op. Solen er en vedvarende kilde til energi, fordi den vil skinne mange milliarder år endnu. Solen skaber samtidig de fleste andre vedvarende energikilder som planter, vind og bølger. Solens varme skaber også regn og smeltevand, der kan bruges til vandkraft. Jordvarme er også en vedvarende energikilde, men den er dog ikke skabt af Solen. Vedvarende energikilder har den fordel, at de ikke forøger mængden af carbon-dioxid (CO_2) i atmosfæren. Det er, fordi energikilderne enten ikke indeholder carbon eller optager den samme mængde CO_2 fra atmosfæren, som de udleder.

Virkningsgrad

Forholdet mellem, hvor meget energi

et system får tilført, og hvor meget energi det leverer. En høj virkningsgrad betyder, at et system leverer næsten lige så meget energi, som det får tilført. For eksempel har elmotorer typisk en virkningsgrad over 75 %. En lav virkningsgrad betyder, at en stor del af den energi, et system får tilført, går til spilde, typisk i form af varme. Forbrændingsmotorer som benzin- og dieselmotorer har en lav virkningsgrad på under 30 %.

Register

- A**
 Aktiveringsenergi 15
 Alger 72, 98
 Alkohol 76, 77
 Alternativ energi 35
 Amminex 101
 Ammoniak 92, 96
 Ammoniakproduktion 94, 99
 Ammoniak på pilleform 101
 Ammoniak som brændstof 99
 Ammoniakfabrik 94, 100
 Ammonium 96
 Atmosfæren 26
- B**
 Batteri 14, 53
 Befolkningstal 32, 92
 Benzin 36
 Bevægelsesenergi 12
 Bilos 101
 Biobrændstof 73
 Biobrændstoffer af 1. generation 75
 Biobrændstoffer af 2. generation 75
 Biogasanlæg 98
 Biomasse 12, 72, 74
 Brintbil 56
 Brintsamfund 58
 Brændselscelle 56, 92
 Brændstoffer 13
 Butanol 77
 Bælgplanter 97, 100
 Bæredygtig energi 35
 Bølgeenergi 12
 Bølgelængde 50
- C**
 Cameroun 34
 Carbon 80
 Carbonat 31
 Carbondioxid, se CO₂
 Carbonkilde 80
 Carbonkæder 24, 37
- Carbons kredsløb 28-29
 CASE 14, 38, 78, 99
 Cellulase 73
 Cellulose 54, 72, 73
 CO₂ 13, 26, 27, 34, 38
 CO₂-koncentration 13, 30
 CO₂-lager 34
 CO₂-neutral 36, 74
 CO₂-udledning 30
- D**
 DAKA 75
 Den industrielle revolution 13, 30
 Diesel 36
 Dimethylether, DME 78
 DNA 95
 Drivhuseffekt 27
 Drivhuseffekt, øget 30-31
 Drivhusgasser 26
- E**
 Effekt 11
 Effektforsøg 11, 32
 Elektrolyse 58
 Energi 11
 Energiforsøg 11, 13
 Energiformer 12
 Enzym 15, 39, 76, 100
 Ethanol 38, 76, 77
- F**
 Fjernvarme 33
 Forbrænding 13, 92
 Forgasning 78
 Fornybar energi 35
 Forskere, CASE 16-17, 40, 62, 82, 102
 Fossile brændstoffer 13, 28-30
 Fotokatalyse 59
 Foton 50
 Fotosyntese 54, 72, 95
 Fotosyntese, effektivitet 55
 Fotosystem 55, 60
- Frekvens 50
- G**
 Global opvarmning 13
 Glucose 29, 54, 72
 Grøn energi 35
 Grønkorn 54
 Grøn strøm 37
 Guano 95
 Gul energi 14
 Gylle 98
 Gæring 76
 Gødning 98
- H**
 Haber-Bosch-processen 93, 94
 Haldor Topsøe 78
 Hemicellulose 72, 73
 Hertz 50
 Hydrogen som brændstof 56
 Hypotese 17
- I**
 Infrarød stråling 50
 Ioniske væsker 79
- J**
 Jern 93
 Jorden 26
 Jordvarme 12
 Joule 11
- K**
 'Kat' 15
 Katalysator 15, 38, 39, 61, 76, 81, 93
 Kemisk energi 12, 30, 37, 53, 72
 Kernekraft 12
 Kinetisk energi 12
 Klimaforandringer 13, 30
 Kloroplaste 54
 Kløver 97, 100
 Knaldgas 61

Kobber 39
Kraftvarmeværk 33, 51, 74
Kraftværk 33
Kul 12, 29
Kulsyre 31
Kunstgødning 92
Kunstig diesel 33

L

Lignin 72, 73
Lolland 58

M

Magnesiumchlorid 101
Merkur 26
Methan 26, 29, 94
Methanol 77
Midlertidige energikilder 12
Miljøvenlig plastik 80
Mælkesyre 80
Mælkesyregæring 81

N

Nanometer 50
Naturgas 12, 29, 33, 94
Naturgødning 92
Nikkel 39
Nitrat 96, 98
Nitrogen 93, 95
Nitrogenase 100
Nitrogendioxid 101
Nitrogenoxid 101
Nitrogens kredsløb 96-97
Novozymes 76
Næringsstoffer 95

O

Olie 12, 29
Oplagret energi 12
Oxidation 59

P

Pig-City 98
Plastik 80
Platin 57
Polyethylen 80
Potentiel energi 12
Propanol 77
Proteiner 95

Q

Qatar 33

R

Redox-reaktion 59
Reduktion 59
Respiration 29

S

Salttårn 52
Samsø 36
Silicium 52
Slagteriaffald 75
Sleipner-reservoiret 34
Solcelle 51
Solenergi 12, 48, 50
Solfanger 51
Solindstråling 52
Solstråling 50
Spænding 57
Stivelse 54, 72, 73
Sur regn (syreregn) 101
Svovlsyre 92
Synligt lys 50
Syntesegas 78

T

Tilstandsformer 26
Transportsektoren 36
Tripelbinding 93, 100
Tøris 26

U

Udvaskning 98
Ultraviolet (UV) stråling 50
Urinstof 96

V

Vandkraft 12
Vedvarende energi 12, 35
Verdenshave 31
Vestenskov 59
Vindenergi 12, 35
Vindmølle 35
Virkningsgrad 52
Volvo 78

W

Watt 11

Æ

Ærteblomster 97, 100

Billedkilder

Hvor intet andet er anført, er illustrationer udført af illustratør Martin Ørsted Rasmussen. Alle bogens portrætfotografier er taget af fotograf Lisbeth Holten.

Omslag: iStock, Dreamstime (kulmine), Lisbeth Holten (CO₂, affald), Anne Hansen (ærteblomster), redigeret af Lisbeth Holten.

Indholdsfortegnelse: iStock (baggrund).

Kapitel 1

Kapitelforside: iStock, Dreamstime (kulmine), redigeret af Lisbeth Holten.

Side 8-9: Poul Møller, Haldor Topsøe A/S (baggrund).

Side 10: Dreamstime.

Side 11: Colourbox.

Side 12: Dreamstime (træ), iStock (slangebøsse).

Side 14: Grethe Kofoed, Artcome ('Fra sol til kemi').

Side 15: Poul Møller, Haldor Topsøe A/S (piller), Anders Laursen og Morten Godtfred Nielsen, DTU Fysik (TiO₂-roser).

Side 18: iStock, Anders Laursen og Morten Godtfred Nielsen, DTU Fysik (TiO₂-roser).

Kapitel 2

Kapitelforside: Lisbeth Holten.

Indholdsfortegnelse: iStock (Kokranie), Poul Møller, Haldor Topsøe A/S (oliefelt), Andreas Poulsen (baggrund).

Side 24: Dreamstime (molekyle).

Side 27: Wikimedia Commons (vand- og methanmolekyler).

Side 26: iStock (spørgsmålstegn), Wikimedia Commons (vindruer, CO₂-slukker), The CocaCola Company (colaflaske), iStock (tøris).

Side 30: iStock (olie-, kul-, gasikoner).

Side 31: Colourbox.

Side 33: iStock (Smileys), Poul Møller, Hal-

dor Topsøe A/S (oliefelt).

Side 35: Tilpasset efter Airi Iliste, Energiboken, IVA (vindkraft).

Side 38: Andreas Poulsen (katalysator).

Side 39: Wikimedia Commons (enzym).

Side 40: Esben Peter Friis, Novozymes A/S (enzym).

Side 41: iStock.

Side 42: iStock.

Kapitel 3

Kapitelforside: iStock, redigeret af Lisbeth Holten (baggrund), iStock (stjernehimmel).

Indholdsfortegnelse: iStock (solbriller, solceller, baggrund), Colourbox (mark).

Side 48: iStock (brintbil), NASA images (jordklode), iStock (stopur), redigeret af Andreas Poulsen.

Side 50: iStock (bølger), redigeret af Andreas Poulsen.

Side 52: Meteororm 6.0 (www.meteororm.com).

Side 53: Torresol Energy (www.torresol-energy.com).

Side 54: iStock (blad), øvrig illustration og redigering af Martin Ørsted Rasmussen.

Side 55: Wikimedia Commons.

Side 56: Andreas Poulsen (computer).

Side 57: Colourbox (lup), Poul Møller, Haldor Topsøe A/S (katalysator), Martin Ørsted Rasmussen (brændselscelle), øvrig illustration og redigering af Andreas Poulsen.

Side 59: PGC Pure Green Coatings.

Side 61: Wikimedia Commons (enzym), iStock (knaldgas).

Side 64: iStock.

Kapitel 4

Kapitelforside: Lisbeth Holten.

Indholdsfortegnelse: Christian Mailand (fedt), Colourbox (gran, sukker), Dreamstime (baggrund).

Side 70: iStock (majs), Colourbox (træ, bananskrael), Christian Mailand (kødben).

Side 72: Colourbox, Christian Mailand (kødben).

Side 73: Dreamstime (træstub), Wikimedia Commons (cellulase).

Side 75: Christian Mailand.

Side 76: Statoil A/S (Bio95), Growth Energy™ (E85), Wikimedia Commons (gæringstanke).

Side 77: Andreas Poulsen (katalysator).

Side 79: Andreas Jonas Kunov-Kruse, DTU Kemi.

Side 80: Colourbox, redigeret af Anne Hansen (plastik).

Side 81: Esben Taarning, Haldor Topsøe A/S (katalysator).

Side 84: Colourbox.

Kapitel 5

Kapitelforside: Anne Hansen, redigeret af Lisbeth Holten.

Side 88: Dreamstime (fugleklatte), Colourbox (kløver, bilos).

Side 90: Haldor Topsøe A/S.

Side 92: Andreas Poulsen (ammoniakmolekyle).

Side 93: Andreas Poulsen (nitrogenmolekyle, katalysator), Poul Møller, Haldor Topsøe A/S (jernkatalysator), Colourbox (papirrulle).

Side 94: Haldor Topsøe A/S.

Side 95: Andreas Poulsen (nitrogenforbindelser), Dreamstime (fugle).

Side 100: Harold Evans, Oregon State University (rødde), 2AFK, Tezcan et al., Science 309: 1377 (nitrogenase).

Side 101: Carsten Broder Hansen, IPU (pille), Amminex (ammoniakbeholder), Andreas Poulsen (nitrogenmolekyler).

Side 103: Elisabeth Wulfeld.

Side 104: Colourbox.