

LÆRERVEJLEDNING

Energi på lager

Følg forskernes jagt på ren energi
og fremtidens brændstoffer

CASE

Catalysis for Sustainable Energy

DTU



LÆRERVEJLEDNING

Energi på lager

Følg forskernes jagt på ren energi og fremtidens brændstoffer

Elisabeth Wulffeld
Anne Hansen



CASE

Catalysis for Sustainable Energy

Energi på lager

DTU

1. udgave, 1. oplag, 2011

Oplag: 2.250

ISBN: 978-87-87669-32-0

Lærervejledningen kan frit hentes som 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

Elzabeth 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: 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 Niensens 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

Indhold

Opbygning af materialet	5
Kapitel 1: Fra sort til gul energi	12
Kapitel 2: Fra miljøsynder til eftertragtet råstof	16
Kapitel 3: Verdens bedste energikilde	22
Kapitel 4: Affald på tanken	28
Kapitel 5: Ammoniak som grønt brændstof	34
Register og billedkilder	40

Opbygning af materialet

Der er lagt store kræfter i at gøre materialet brugbart og relevant for undervisningen især med henblik på at opfylde adskillige trinmål i Fælles Mål for fysik/kemi. Samtidig består materialet af flere delelementer, som gør brug af forskellige virkemidler for at fange og fastholde elevernes interesse og tilbyde variation i undervisningen:

- En elevbog, der er opbygget som en kombination af klassisk lærebog, populærvidenskabeligt magasin og narrative elementer. Elevbogen er rigt og humoristisk illustreret med opgaver og forskerportrætter undervejs.
- En supplerende film på otte korte (4-6 minutter) sekvenser, som introducerer eleverne til bogen. Filmen lægger særlig vægt på at forklare om forskernes arbejde i CASE.
- Et hæfte med eksperimenter, nøje udvalgt til at supplere bogens teori og muliggøre variation i undervisningsformen.
- En lærervejledning med uddybende oplysninger og pædagogiske overvejelser.
- En hjemmeside med quizzes og uddybende informationer i form af blandt andet tekster og filmklip fra YouTube. På hjemmesiden findes elevbogen desuden i e-bogsudgave.

De mange elementer af undervisningsmaterialet er udarbejdet, så de fungerer sammen, men de kan også bruges uafhængigt af hinanden. De forskellige medier betyder flere typer kommunikationsveje samt inddragelse af eleverne blandt andet gennem bogens tilhørende opgaver og eksperimenter, indlagte diskussionsrunder i filmen og de interaktive webelementer. Målet er at gøre undervisningen levende og vedkommende og derved engagere eleverne samt sikre, at de læsesvage elever også bliver inddraget i emnet.

Det faglige indhold bevæger sig på tværs af forskellige grene af naturvidenskaben som fysik, kemi og bioteknologi. Det tager fat om både en teoretisk og en eksperimentel tilgang til naturvidenskaben. Med dette øn-

sker vi at give et mere realistisk billede af sammenhængen mellem de forskellige grene af naturvidenskaben i modsætning til de faste, opdeltede rammer, eleverne ofte møder på skoleskemaet.

Endelig forsøger materialet at styrke interessen for naturvidenskab gennem fortællinger om unge forskere og studerende, der giver deres personlige vinkel på livet og arbejdet som forsker. Endvidere er der lagt vægt på at fremhæve de stadig mange uløste problemer i videnskaben, problemer, som venter på at blive udforsket af nye, unge talenter.

Undervisningsmaterialet er udsendt i classesæt til alle landets grund- og efterskoler og kan desuden hentes gratis på www.energipaalager.dk.



Unge forskere i CASE fortæller om livet som forsker.

Fælles Mål for fysik/kemi

Bog og eksperimenter dækker følgende trinmål fra Fælles Mål 2009 - fysik/kemi for 8. og 9. klasse.

Kapitelhenvisning er angivet, hvis et trinmål er forbeholdt et specifikt kapitel.



Fysikkens og kemiens verden

8. klasse

- beskrive nogle grundstoffer og kemiske forbindelser, der har betydning for liv eller hverdag
- kende generelle egenskaber ved hverdagens stoffer og materialer, herunder tilstandsformer, surhedsgrad, [...] (kap. 2)
- beskrive og forklare energioverførsel, herunder elektrisk energioverførsel
- gøre rede for hovedtræk ved fotosyntese og respiration, herunder disse processers grundlæggende betydning i økosystemer (kap. 2, kap. 3)
- beskrive hovedtræk af [...] kulstofs kredsløb i naturen (kap. 2)

9. klasse

- anvende fysiske eller kemiske begreber til at beskrive og forklare fænomener, herunder [...] lys og farver (kap. 3)
- beskrive eksempler på organiske og uorganiske kemiske forbindelser og deres indbyrdes reaktion, herunder [...] redoxprocesser og ligevægt (kap. 2, kap. 3)
- forklare, hvordan indgreb i naturens stofkredsløb kan påvirke miljøet, herunder anvendelse af fossilt brændsel
- beskrive hovedtræk af nitrogens kredsløb i naturen og problemer, der knytter sig til brug af nitrogenholdig gødning i moderne landbrugsformer (kap. 5)



Bogens tekster understøttes af forklarende tegninger. Her ses en helsidetegning af nitrogenkredsløbet fra kapitel 5.

Udvikling i naturvidenskabelig erkendelse

8. klasse

- kende eksempler på, at teknologiudvikling er tæt forbundet med fysisk og kemisk viden, herunder [...] enzynteologi (kap. 4)

9. klasse

- kende eksempler på, at forskning har givet ny viden og uforudsete muligheder

Anvendelse af fysik og kemi i hverdag og samfund

8. klasse

- beskrive og forklare udvalgte eksempler på energioverførsel i hverdagen og teknikken
- give eksempler på, at der ved energiforsyning ofte produceres stoffer og varme, der påvirker miljøet
- kende fordele og ulemper ved udnyttelsen af forskellige energikilder
- beskrive, hvorledes anvendelse af råstoffer eller materialer kan påvirke ressourceforbrug, miljø og affaldsmængde, herunder kul, plast og træ
- kende eksempler på produktionsprocesser og deres delprocesser, herunder gæring (kap. 4)

9. klasse

- beskrive hovedtræk ved samfundets energiforsyning, herunder elektrisk energiforsyning
- give eksempler og forklaringer på, hvordan energiproduktion kan ske på bæredygtig måde i forskellige dele af verden
- gøre rede for energiomsætninger, nyttevirkning og tab i energikvalitet i forbindelse med samfundets elektriske energiforsyning og brug af solceller, solfangere, [...] og brændselsceller (kap. 3)
- beskrive industriel produktion af nogle af hverdagslivets produkter og materialer
- vurdere anvendelser af naturgrundlaget i perspektivet for bæredygtig udvikling og de interessermodsatninger, der knytter sig hertil (kap. 4)

Arbejds måder og tankegange

8. klasse

- formulere spørgsmål og indsamle relevante data
- anvende it-teknologi til informationssøgning, dataopsamling, kommunikation og formidling

9. klasse

- formulere enkle problemstillinger, opstille og efterprøve hypoteser samt vurdere resultater (kap. 1)
- benytte fysisk eller kemisk viden opnået ved teoretisk og praktisk arbejde (kap. 5)
- formidle resultater af arbejde med fysiske, kemiske eller tekniske problemstillinger (kap. 2, kap. 3)

Elevbog

Rygraden i undervisningsmaterialet fra CASE er en elevbog til 8.-9. klases fysik/kemi-undervisning. Bogen findes både på tryk og som e-bog (læs mere under 'Web'). Overordnet set handler bogen om de udfordringer, der er ved at skifte fra fossile brændstoffer til vedvarende energi. To af de største udfordringer er, hvordan vi gemmer vedvarende energi, og hvordan vi skaffer brændstoffer til transportsektoren. En mulig løsning er at omdanne den vedvarende energi til kemisk energi, der både kan gemmes og bruges som brændstof.

Bogen er inddelt efter de fire hovedemner bag forskningen i CASE. Emnerne rummer gode muligheder for at dække en række undervisningskrav. Desuden inddrages eksempler fra hverdagen, og teksterne lægger op til diskussioner om forskellige energikilders fordele og ulemper. Kapitlerne behandler også problemerne ved at benytte fossile brændstoffer samt udfordringen ved at sikre en stabil og rigelig energiforsyning baseret på vedvarende energikilder. Når vi dykker ned i videnskaben bag de overordnede diskussioner, handler det om forskningen i materialer, der kan hjælpe os med at omdanne eksempelvis biomasse eller strøm fra vindmøller til kemisk energi. Disse materialer kaldes for katalysatorer og bruges også til at fremstille en lang række andre materialer, som eleverne kender fra deres hverdag, eksempelvis plastik, medicin, makeup og kunstgødning.

Elevbogens fem kapitler er holdt i hver sin farve for hurtig genkendelse. Hvert kapitel har en indholdsfortegnelse, der giver eleven mulighed for at orientere sig i kapitlet. I indholdsfortegnelsen findes en kort oversigt med kapitlets vigtigste pointer under titlen 'Hvad sker der i dette kapitel?'

Tæt på livet som forsker

I hvert kapitel præsenteres eleverne for en ung forsker, der giver sit syn på personlige og professionelle udfordringer i livet som forsker. Profilerne sætter ansigt på betegnelsen 'forsker' og tegner et realistisk og humoristisk billede af menneskene bag titlen. Efter disse historier, der kaldes 'Forskerens udfordring', følger en klasseopgave med titlen 'Kan du arbejde som forsker?'. Her skal eleverne selv agere forskere og forsøge sig med den naturvidenskabelige arbejdsmetode. For eksempel udfordres de til at formidle faglig viden, præsentere resultater, debattere holdninger samt opstille og afprøve hypoteser. Opgaverne lægger typisk op til, at eleverne skal arbejde i grupper og bruge tid hjemme eller i timen på at forberede et oplæg. Da forskerprofilerne fungerer som appetitvækker og inspiration til den efterfølgende opgave, anbefales det at bruge de to elementer sammenhængende.

Opsummering

Hvert kapitel afsluttes med et resume efterfulgt af en opsummering af de vigtigste pointer i kapitlet under overskriften 'Det ved du nu'. Slut-



Katalyse er en central proces i omdannelse af vedvarende energi til kemisk energi, men også i fremstillingen af blandt andet plastik og kunstgødning samt i rensning af bilernes udstødningsgas.

teligt kan eleverne teste deres egen viden i afsnittet 'Test dig selv'. Svarene på disse spørgsmål findes i den tilhørende kapiteltekst i denne lærervejledning.

Kapitlernes emner

Elevbogens kapitler kan læses sammenhængende som et fuldt forløb om fremtidens energiforsyning eller enkeltvis. Vi anbefaler dog, at eleverne starter med at læse kapitel 1, der fungerer som en introduktion til de problemstillinger og løsningsforslag, som falder ind under forskningen i CASE, og som uddybes i de øvrige fire kapitler.

Kapitlerne indeholder forskellige løsningsforslag på fremtidens energiforsyning. Hvert kapitel beskæftiger sig med fordele og ulemper ved forslagene og forsøger at give eleverne en forståelse af de udfordringer, der knytter sig til de forskellige løsningsmodeller.

- **Kapitel 1** introducerer eleverne til samfundets behov for energi i dag og i fremtiden. De generelle begreber som energiformer og energikilder bliver gennemgået. Der lægges særlig vægt på at forklare omdannelsen af vedvarende energi til kemisk energi og herunder behovet for katalysatorer til at styre de kemiske reaktioner.
- **Kapitel 2** giver en grundigere forklaring på sammenhængen mellem fossile brændstoffer, CO₂ og drivhuseffekt. Derefter præsenteres fire løsningsforslag til at skære ned på vores udledning af CO₂ med fokus på forskningen i CASE i det sidste. Katalysatorer har her en central rolle, idet de er nødvendige for at omdanne CO₂ til nye brændstofmolekyler ved hjælp af strøm fra vedvarende energikilder.
- **Kapitel 3** fokuserer på den direkte udnyttelse af Solens stråler. I den forbindelse behandles emner som bølglængde og frekvens. Kapitlet beskriver desuden solceller og solfangere. Planternes evne til at omdanne sollys til kemisk energi i fotosyntesen leder frem til afsnittet om CASE og forskningen i katalytiske systemer, der kan omdanne solenergi til kemisk energi i form af brint.
- **Kapitel 4** stiller skarpt på biomasse som energikilde og de udfordringer, der knytter sig til udviklingen af 2. generationsbiobrændstoffer. Herunder beskrives CASE-forskernes arbejde med at nedbryde og omdanne uspiselig biomasse til brændstoffer med hjælp fra katalysatorer. Kapitlet spænder bredt fra brug af biomasse til både fødevarer, kraftvarme, biobrændstoffer og miljøvenligt plastik.
- **Kapitel 5** handler om ammoniak og mulighederne for at bruge ammoniak som CO₂-neutralt brændstof. I dag fremstilles ammoniak primært til brug i kunstgødning, og kapitlet gennemgår derfor også betydningen af kunstgødning for mennesker såvel som for naturen. I afsnittet om CASE går vi tæt på de udfordringer, der er ved at fremstille ammoniak ved hjælp af vedvarende energi, samt vanskelighederne ved at transportere og opbevare ammoniakken på sikker vis.

Ikoner

Fakta og Opgaver

FAKTA Faktaoplysningerne fremhæver vigtige pointer i teksten og giver supplerende oplysninger. Eleverne udfordres til at overveje, forklare og arbejde videre med kapitlets indhold gennem regnestykker, informationssøgning på internettet, undersøgelser i hjemmet og diskussionsoplæg. De fleste opgaver kan løses hjemme af eleverne selv, mens andre lægger op til gennemgang og diskussion i klassen.

Symbol for katalysatorer



Katalysatorer er et af bogens centrale emner. Da fagfolk ofte omtaler katalysatorer som 'katte', benytter bogen et katteikon, hver gang de nævnes.

Symbol for energiskift



Der er lagt stor vægt på at forklare og fremhæve, at energi kan skifte form, men aldrig forsvinde (termodynamikkens 1. lov). Symbolet for energiskift optræder i lille udgave inde i teksten, når der beskrives et skift i energiform. Skiftet uddybes i marginen ved symbolet i større udgave.

Den hyppige brug af energisymbolet skal gøre eleverne fortrolige med energiens forskellige former og sikre forståelsen af energibevarelse.

Henvisning til andre kapitler



Når tekster suppleres eller uddybes i andre kapitler, henvises til dette med et talebobleikon.

Henvisning til eksperimenter



Et symbol og et nummer refererer til det tilhørende eksperiment i eksperimenthæftet.

Lærervejledning

Lærervejledningen er holdt i samme farver som elevbogens kapitler, så det er nemt at orientere sig. For hvert kapitel er der forslag og uddybende oplysninger til brug i undervisningen. Derudover indeholder vejledningen forslag til svar på alle opgaverne i elevbogens kapitler og i filmen.

Eksperiment-hæfte



Til hvert kapitel hører der en samling af eksperimenter. Disse underbygger specifikke afsnit i bogen og skaber derved sammenhæng mellem teori og praktiske øvelser. Eksperimenterne er samlet i et sort/hvidt kopi-hæfte. Hvert eksperiment består af en elevvejledning og en vejledning til læreren. Sidstnævnte indeholder uddybende forklaring til eksperimentet, gode råd og oplysning om eventuelle fejlkilder. Desuden henvises til relevante afsnit i elevbogen, der fungerer både som baggrundstekst til eleverne og som hjælp i efterbehandlingen af eksperimentet.

Hæftet består af både nyudviklede og kendte eksperimenter hentet fra blandt andet www.fysikbasen.dk og www.practicalchemistry.org. De varierer i sværhedsgrad, men de er alle tilpasset 8. eller 9. klasses niveau. Eksperimenter er udvalgt og afprøvet af undervisningslaboratoriet Nanoteket på DTU i samarbejde med skolekon-sulenter og lærebogsforfattere.

Web

Hele undervisningsmaterialet er tilgængeligt på hjemmesiden www.energipaalager.dk. Her finder man desuden elevbogen i en e-bogsudgave med interaktive elementer, animationer og links til relevante videoklip. E-bogen kan udforskes af eleverne selv eller klassevis ved hjælp af interaktive tavler. Eleverne kan også komme direkte til hjemmesiden via deres mobiltelefon ved at benytte scan-mærket i starten af hvert kapitel.

Hjemmesiden har en indgang til eleverne og en indgang til lærerne. I begge tilfælde er uddybende oplysninger sorteret efter hvert kapitel i elevbogen. Elevsiderne indeholder quizzet, animationer og videoklip samt et periodisk system og forskerprofiler, der supplerer kapitlerne. Eleverne kan altså både afprøve deres viden, lære mere samt repetere kapitlernes emner ved hjælp af nye virkemidler.

På lærersiderne er der ligeledes uddybende oplysninger og relevante links. Blandt andet er der mulighed for at dykke dybere ned i problemstillingen om klimaforandringer og global opvarmning, som elevbogen ikke behandler som sit primære formål. Emnerne kan udforskes via links til artikler, film, spil og Power Point-præsentationer, som læreren kan benytte i undervisningen. Endelig indeholder lærersiden en samling af alle bogens eksperimenter. Her findes også ekstramateriale i form af øvrige eksperimenter og henvisninger, som ikke findes i det trykte hæfte. Under hvert eksperiment er

der mulighed for at dele erfaringer og gode råd omkring udførelsen af eksperimentet.

Film



Undervisningsmaterialets tilhørende dvd indeholder otte korte film af 4-6 minutters varighed. Filmene skal give eleverne en bred introduktion til videnskaben bag nutidens og fremtidens energiforsyning og samtidig sikre, at de læsesvage elever også bliver inddraget i emnet. Filmene titler er:

1. Hvad er problemet?
2. Energiformer
3. Lagring af energi
4. Katalysatorer
5. Fra miljøsynder til eftertragtet råstof
6. Verdens bedste energikilde
7. Brændstof på tanken
8. Ammoniak som grønt brændstof

Filmene bør ses i den angivne rækkefølge, men ikke nødvendigvis på en gang. Film 1-4 supplerer elevbogens kapitel 1. De fire næste film introducerer CASE's løsningsforslag på fremtidens energiforsyning og supplerer hhv. kapitel 2, 3, 4 og 5. Derfor kan man passende vælge at vise eleverne de fire første film som introduktion til hele bogen og derefter vise eleverne den film, der er knyttet til det kapitel, de arbejder med.

I slutningen af hver film stilles der en række spørgsmål, som følger op på de vigtigste pointer. Læreren opfordres til at pause filmen her og gennemgå spørgsmålene med eleverne.

Spørgsmål og svar

Film 1

- *Hvorfor bruger vi fossile brændstoffer?*

Fossile brændstoffer er billige, let tilgængelige, og hele vores samfund er indrettet til at bruge dem. De bruges til at producere varme, elektricitet og brændstoffer og til at fremstille mange af de varer, vi køber.

- *Hvad er problemet med fossile brændstoffer?*

De udleder CO₂ og varer ikke evigt.

- *Hvad kan vi erstatte fossile brændstoffer med?*

Vedvarende energikilder, hvoraf den ultimative energikilde er Solen.

Film 2

- *Hvad er vedvarende energi?*

Energi, vi ikke løber tør for.

- *Hvilke vedvarende energikilder stammer fra Solen?*

For eksempel vindenergi, vandkraft og energi fra planter (biomasse).

- *Forklar, hvordan solenergien bliver omdannet.*

Solenergi bliver omdannet til andre energiformer blandt andet via opvarmning af luften og fotosyntesen.

- *Er fossile brændstoffer en vedvarende energikilde? Begrund dit svar.*

Fossile brændstoffer er ikke vedvarende, da der kun er en begrænset mængde af dem i undergrunden.

Film 3

- *Hvordan gemmer vi vedvarende energi?*

Energien kan for eksempel gemmes i batterier, men den kan også omdannes til et brændstof og derved gemmes som kemisk energi.

- *Giv et eksempel på kemisk energi.*

Den energi, der frigives, når vi forbrænder kemiske forbindelser som benzin, hydrogen og ethanol.

Film 4

- *Hvad er en katalysator?*

Katalysatorer får kemiske reaktioner til at ske hurtigere uden at bruge en masse energi. Katalysatorer er tit lavet af metaller.

- *Hvorfor er de katalysatorer, vi har i dag, ikke gode nok?*

Fordi de består af dyre materialer som platin.

Film 5

- *Hvorfor er fossile brændstoffer populære?*

Fordi de frigiver masser af energi, når man brænder dem af.

- *Hvilket grundstof er der meget af i fossile brændstoffer?*

Carbon.

- *Hvad er de to udfordringer ved at lave CO₂ om til brændstoffer?*

At skille carbonatomerne fra CO₂ og sætte dem sammen igen til et brændstof.

Film 6

- *Hvorfor er det bedre at lave solenergi om til kemisk i et trin frem for i to?*

Fordi der går energi tabt som varme, hver gang energi omdannes fra en form til en anden.

- *Hvilke to kemiske forbindelser får man, når man spalter vand?*

Hydrogen og oxygen.

- *Hvad er det eneste spildprodukt ved afbrændingen af hydrogen?*

Vand (H₂O).

Film 7

- *Hvad er biomasse?*

Alt levende eller nyligt afdødt materiale. For eksempel madrester eller planter på marken.

- *Hvilken form for energi indeholder biomasse?*

Kemisk energi.

- *Hvad er et biobrændstof?*

Brændstoffer lavet af biomasse.

Film 8

- *Hvorfor kræver det meget energi at lave ammoniak?*

Fordi det kræver meget energi at bryde de stærke bindinger i nitrogenmolekyler.

- *Hvordan kan vi gemme solenergi ved hjælp af ammoniak?*

Solenergi bliver til vindenergi, som bliver til elektrisk energi i vindmøllen. Strømmen bruges til at producere ammoniak.

Opfølgning:

Følgende spørgsmål kan bruges til at samle op på de otte film:

- *Hvilken energikilde kan vi bruge til at erstatte de fossile brændstoffer?*

Solen.

- *Giv nogle eksempler på vedvarende energikilder, der stammer fra Solen.*

Vind, bølger og biomasse.

- *Hvordan gemmer vi solenergi?*

Det kan vi gøre ved at omdanne den til kemisk energi i brændstoffer.

- *Hvordan påvirker en katalysator en kemisk reaktion?*

Den får reaktionen til at ske hurtigere uden at bruge en masse energi.

- *Nævn nogle eksempler på kemisk energi, som vi kan bruge i fremtidens biler.*

Hydrogen, ethanol og ammoniak.

Fra sort til gul energi



Vedvarende energi kaldes i daglig tale for grøn energi, men i dette kapitel fremhæves den 'gule' solenergi. Det skyldes, at Solen er ophav til de fleste andre vedvarende energikilder. Solen er samtidig den eneste vedvarende energikilde, vi har til rådighed, som alene kan dække verdens konstant stigende behov for energi.

I kapitlet lægges vægt på at forklare fordele og ulemper ved fossile og vedvarende energikilder, men også samfundets behov for forskellige former for energi, eksempelvis elektrisk eller kemisk. Elevernes indsigt i samfundets behov for kemisk energi i form af flydende brændstoffer er grundlæggende for at forstå, hvorfor

solenergi og andre former for vedvarende energi ikke direkte kan erstatte transportsektorens behov for benzin og diesel. Det leder frem til behovet for at kunne omdanne solenergi til kemisk energi med mindst muligt tab af energi undervejs. Eleverne får en grundigere gennemgang af forskningen inden for dette område i afsnittene om CASE og katalysatorer. Her forklares virkningsmekanismen for katalysatorer, og forskernes jagt efter nye katalysatorer til omdannelse af solenergi beskrives. Katalysatorer er uundværlige i fremstillingen af specifikke brændstoffer som ethanol, ammoniak og hydrogen og også i fremstillingen af en lang række hverdagsprodukter som kemikalier, medicin og kunstgødning.

Følgende emner behandles:

- ☛ Energi og effekt
- ☛ Fordele og ulemper ved fossile og vedvarende energikilder
- ☛ Hovedtræk ved samfundets energiforsyning
- ☛ CO₂-udledning og klimaforandringer
- ☛ Energiomdannelse
- ☛ Aktiveringsenergi for kemiske reaktioner
- ☛ Forskning i katalysatorer til at omdanne solenergi til kemisk energi
- ☛ Opstilling og afprøvning af hypoteser

Gode råd og mere viden

Energi Energikilder

I 2008 var verdens årlige energiforbrug på $519 \cdot 10^{18}$ J, hvilket svarer til et gennemsnitligt effektforbrug på 16 terawatt (TW, 10^{12} watt). Udfordringen ved at dække vores stigende energiforbrug med vedvarende energi bliver tydelig, når vi ser nærmere på, hvor meget de enkelte energikilder kan levere. Den maksimale energi fra vind, vand og jordvarme, som vi realistisk kan udnytte, når der tages højde for økonomiske og praktiske overvejelser, er omkring 8 TW. Heraf udgør vindenergi 4 TW. Biomasse dækker allerede 10 % af verdens energiforbrug, men tallet afspejler ikke en fuldt ud bæredygtig produktion, da en del af verdens biomasseforbrænding foregår uden genplantning af skov. Nogle forskere vurderer, at biomasse kan dække 5 % af verdens energibehov, svarende til 0,8 TW, uden at påvirke klimaet eller fødevarereproduktionen negativt.

Solenergi er der til gengæld nok af. Hele 120.000 TW er til rådighed om året. Men overgangen fra fossile brændstoffer til solenergi sker ikke af sig selv. Ganske vist løber vi sandsynligvis tør for de billige og let tilgængelige fossile brændstoffer inden for de næste par hundrede år. Til gengæld kan mere utilgængelige, men dermed også dyrere reserver som olieholdigt sand og frossen naturgas i permafrosten formentlig forsyne os med energi i mange århundreder. Dermed bliver overgangen til ren energi i høj grad et spørgsmål om, hvornår prisen på vedvarende energi

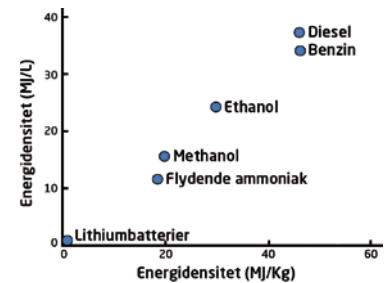
bliver lavere end prisen på fossile brændstoffer.

Fossile brændstoffer

Uanset varigheden af de fossile energireserver er CO_2 -udledningen et presserende problem, der ikke kan ignoreres. Sammenhængen mellem udledning af drivhusgasser og drivhuseffekten bliver forklaret i kapitel 2, men konsekvensen af global opvarmning kan uddybes ved gennemgang af kapitel 1. For eksempel viser tal fra FN's klimapanel, at havniveauet gennemsnitligt er steget med 1,8 mm/år siden 1961 og med 3,1 mm/år siden 1993. To store årsager til stigningen er udvidelse af oceanerne (da vand udvider sig ved opvarmning) og tab af landbaseret is i takt med, at gletsjere og polaris smelter. Det skønnes, at omkring en sjettedel af Jordens befolkning vil blive ramt af havstigninger inden for de næste 100 år. På <http://flood.firetree.net/> findes et verdenskort, hvor eleverne kan zoome ind på Danmark og se konsekvenserne af havstigning. De kan herefter sammenligne havstigningen i Danmark og i Spanien og bruge dette til at diskutere, hvordan klimaforandringer påvirker landene forskelligt.

Som nævnt i elevbogen skyldes de fossile brændstoffers popularitet blandt andet, at de indeholder meget energi per liter eller per kilo. Ethanol, som er et af budene på fremtidens brændstoffer, har derimod lavere energindhold. Olie er dog også populært, fordi det allerede er på kemisk form og derfor blot skal raffineres til ben-

zin og diesel, før det kan bruges som brændstof. Vedvarende energi derimod skal først omdannes til kemisk energi i eksempelvis hydrogen og ethanol, før energien kan bruges som brændstof. Undervejs går der energi tabt. For eksempel mistes 30 %, når vindmøllestrøm omdannes til hydrogen ved elektrolyse. Derudover er hydrogen mindre praktisk at håndtere som brændstof, da det ved normalt tryk er på gasform.



Energidensiteten i forskellige brændstoffer.

Forskerne dyrker Solen

Ethvert bæredygtigt energisystem må i sidste ende hente sin energi fra Solens indstråling. Omsætning af solenergi til kemisk form sker mest effektivt ved brug af en katalysator. For stort set alle potentielle, bæredygtige energiformer gælder det, at manglen på billige og effektive katalysatorer begrænser udbredelsen af vedvarende energikilder. Hvis omdannelsen af vedvarende energi til brændstoffer som hydrogen, ethanol og ammoniak kan gøres mere effektiv og dermed rentabel, vil den rene energi få en chance for at konkurrere med fossile brændstoffer. Omdrejningspunktet for forskningen i CASE er derfor udviklingen af nye katalysatorer.

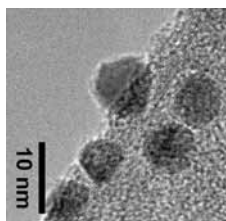
Kemiske katte

Katalysatorer er hjælpematerialer, der nedsætter aktiveringsenergien, det vil sige den mængde energi, der skal til for at sætte en reaktion i gang. Dermed øger katalysatoren hastigheden på kemiske reaktioner. Katalysatoren indgår ikke selv i reaktionen og bliver derfor ikke forbrugt i processen. Katalysatorer har desuden den egenskab, at de styrer retningen og dermed produktet af reaktionen. Det er vigtigt, eftersom mange kemiske reaktioner ikke kun danner ét, men flere forskellige produkter.

Katalysatorer inddeles i kategorierne homogene og heterogene katalysatorer afhængigt af, om de befinder sig i samme fase (gas, væske, fast stof) som reaktanterne eller i en anden fase. I CASE forskes der udelukkende i heterogene katalysatorer, som typisk består af metaller eller legeringer af platin, ruthenium, silicium, nikkel, kobber og molybden. Reaktanterne er typisk gasser. Forskningen foregår i flere parallelle spor, som tilsammen giver en detaljeret indsigt i katalytiske processer:

Det første trin er teoretiske forudsigelser af materialer med gode katalytiske egenskaber. Ved hjælp af

supercomputere kan teoretikerne undersøge forskellige reaktionsscenarier og udvælge en række potentielt gode katalysatorer, der skal undersøges nærmere. Herefter bliver de udvalgte materialer fremstillet i laboratoriet og efterprøvet for deres katalytiske aktivitet i bestemte kemiske reaktioner, som man ønsker at forbedre, eksempelvis produktionen af ethanol fra CO₂. Endelig karaktiseres sammenhængen mellem katalysatorpartiklernes form og størrelse og deres effektivitet. For eksempel undersøges katalysatoroverfladerne i nye avancerede elektron- og atommikroskoper med atomar opløsning, det vil sige ned til nogle få nanometer (10⁻⁹ m). Læs mere på www.case.dtu.dk og www.bit.ly/e04EDR.



Karakterisering af en katalysator bestående af ruthenium-nanopartikler på en carbon-overflade.

Klasseopgaven

I kapitlets klasseopgave skal eleverne arbejde med grundstenen i viden-

skabelige undersøgelser: Hypotesen. Eleverne skal først opstille deres egen hverdagshypotese. De kan hjælpes i gang med følgende sætning:

Hvis jeg ____ [gør sådan]____, og ____ [dette sker]____, har jeg modbevist ____ [hypotesen]____ og må opstille en ny.

Derefter skal eleverne udføre eksperiment 1.5, som netop handler om at opstille og afprøve hypoteser. Eksperimentet findes i eksperimentsamlingen med tilhørende lærervejledning.

Arbejdet med hypoteser kan indledes med at forklare, at hypoteser er påstande, man har mulighed for at afprøve og afvise. Nogle gange tager det lang tid, før en hypotese bliver afvist. For eksempel opstillede den græske filosof Aristoteles den hypotese, at hastigheden af en faldende genstand er proportional med dens vægt. Først 2.000 år senere modbeviste videnskabsmanden Galileo Galilei hypotesen ved at lade en tung og en let genstand falde samtidig fra Det Skæve Tårn i Pisa. Hastigheden var næsten ens, så Aristoteles' hypotese var ikke sand.

Svar på opgaver

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

Svar: Billedet viser fra venstre mod højre: solenergi, vindenergi, elektrisk energi, kemisk energi i mad samt be-

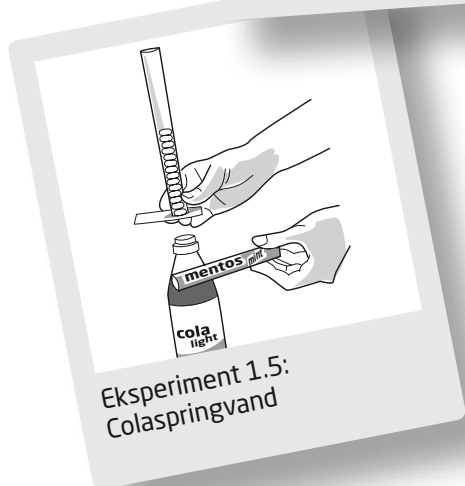
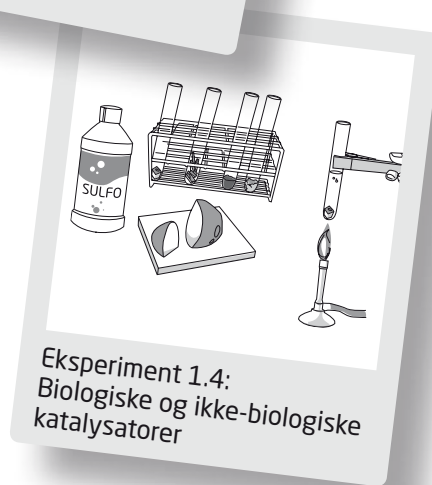
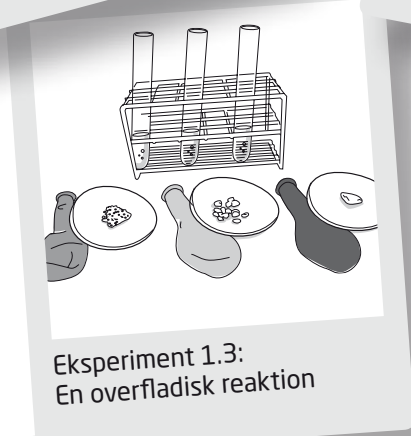
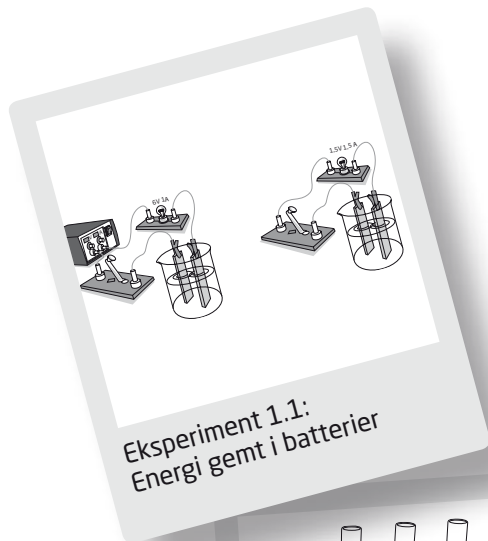
vægelsesenergi og varme i kroppen. Varme er ikke en egentlig energiform, men derimod en overførsel af indre energi fra ét system til et andet. Ligesom et system kan udføre et stykke arbejde og derved omsætte en energiform til en anden, kan et sy-

stem afgive eller modtage varme og dermed overføre energi. I elevbogen undlades konsekvent brug af ordet varmeenergi, men ved beskrivelser af omdannelsen af energiformer benyttes dog ordet varme frem for indre energi.

Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

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



Fra miljøsynder til eftertragtet råstof



Kapitlet præsenterer eleverne for CO₂ set fra flere vinkler: Som en vigtig kemisk forbindelse både i naturen og industrien og som en livsnødvendig, men også problematisk gas i atmosfæren. Eleverne får desuden en forståelse for, hvorfor CO₂ er uløseligt forbundet med vores forbrug af fossile brændstoffer. Slutelig gennemgås fire forslag til, hvordan vi kan undgå de uheldige

følgenvirkninger af CO₂ ved at gemme den væk, udlede mindre eller genbruge den. CASE's forskning indgår i det fjerde forslag og handler om at bruge CO₂ som råstof til at lave CO₂-neutrale, carbonholdige brændstoffer. For hvert forslag gennemgås desuden relevante ulemper eller begrænsninger. Dette tydeliggør, at løsningen på fremtidens energiforsyning sandsynligvis skal findes i en

kombination af mange forskellige teknologiske og videnskabelige initiativer.

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

Følgende emner behandles:

- ☛ Tilstandsformer af CO₂ og gassens opløselighed i vand
- ☛ Drivhuseffekten
- ☛ Carbonkredsløbet
- ☛ CO₂-udledning og øget drivhuseffekt
- ☛ Energiforbrug og befolkningsvækst
- ☛ Fjernvarme og kraftvarmeværker
- ☛ Lagring af CO₂ i undergrunden
- ☛ Vedvarende energi og begrebet CO₂-neutral
- ☛ Udvikling af carbonholdige brændstoffer fra CO₂
- ☛ Forskning i katalysatorer til at omdanne grøn elektricitet til kemisk energi

Gode råd og mere viden

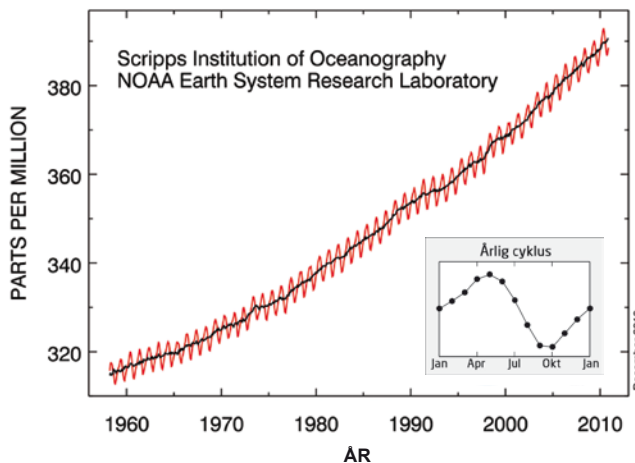
Sodavandsbrus og is, der ikke smelter

CO₂ bruges i industrien til mange andre formål end dem, der er nævnt i bogen. For eksempel bliver CO₂-målere benyttet ved grænsekontroller til at afsløre flygtninge, der forsøger at skjule sig i store varevogne eller containere. Flygtningenes vejtrækning gennem mange timer vil nemlig resultere i en højere CO₂-koncentration i vognen end normalt.

Jordens lune tæppe Carbons jordomrejse Kuk i carbonkredsløbet

Disse afsnit lægger vægt på at forklare henholdsvis den naturlige og den øgede drivhuseffekt. Ligeledes bliver det naturlige carbonkredsløb og menneskets indflydelse på dette forklaret. Eleverne får derved en forståelse for, at CO₂ og carbon ikke kun er relevant i sammenhæng med fossile brændstoffer og øget drivhuseffekt, men også udgør en livsnødvendig del af atmosfæren og en naturlig del af menneskets respiration.

Bemærk, at atmosfærens CO₂-indhold på den nordlige halvkugle er højere om vinteren end om sommeren. Om sommeren er den samlede fotosyntese større end respirationen, hvorved der er et nettooptag af CO₂ fra atmosfæren. Om vinteren vendes billedet, når løvtræerne taber bladene, og planter dør. Det døde materiale bliver nedbrudt, den samlede respiration overstiger fotosyntesen, og CO₂-koncentrationen sti-



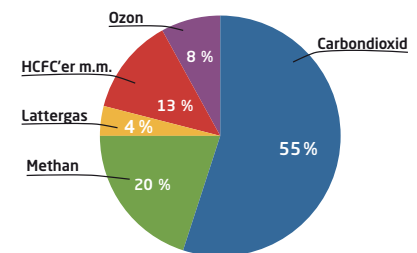
Atmosfærisk CO₂ målt ved Manua Loa Observatoriet. Kilde: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

ger. Den takkede kurve, der opstår, når man måler CO₂-koncentrationen, kaldes Keeling-kurven opkaldt efter Charles D. Keeling (1928-2005). Han var en amerikansk pioner inden for måling af CO₂ i atmosfæren. Nyeste målinger fra Manua Loa Observatoriet på Hawaii for CO₂-koncentrationen kan hentes fra www.esrl.noaa.gov/gmd/.

En drivhusgas kendetegnes ved, at den absorberer infrarød (IR) stråling, også kaldt varmestråling, i atmosfæren. Luftarter med denne egenskab skal have mindst tre molekyler. Derfor fungerer hverken nitrogen (N₂) eller oxygen (O₂) som drivhusgas, selvom de udgør størstedelen af vores atmosfære. Bidraget til global opvarmning fra en given drivhusgas afhænger blandt andet af, hvilke dele af det infrarøde spektrum gassen absorberer, og af gassens levetid i atmosfæren. Som skemaet på næste side viser, absorberer methan for eksempel langt mere IR-stråling end CO₂. Til gengæld er methans levetid i atmosfæ-

ren kort. Endelig afhænger en drivhusgas' effekt også af mængden af gassen. Der er langt mere CO₂ end methan i atmosfæren.

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



Bidraget fra forskellige drivhusgasser

til den totale menneskeskabte øgning af drivhuseffekten. Kilde: www.global-klima.org

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

Med global opvarmningseffekt menes, hvor meget varme en drivhusgas kan tilbageholde i forhold til CO₂.

damp i atmosfæren. Menneskets aktiviteter påvirker ikke direkte luftens indhold af vanddamp, men det er en god øvelse for eleverne at overveje, om vi indirekte risikerer at påvirke mængden af vanddamp. Med lidt hjælp kan eleverne nå til den rette konklusion, at hvis øget udledning af menneskeskabte drivhusgasser som CO₂ hæver temperaturen, kan det medføre en øget fordampning af vand og altså en selvforstærkende drivhuseffekt.

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

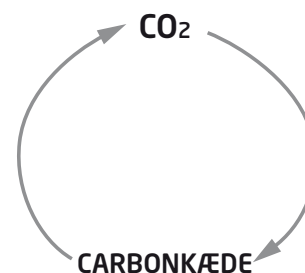
Fire fede forslag

Kapitlet gennemgår fire løsningsforslag til CO₂-problematikken. Alle indeholder de fordele og ulemper, som er fremhævet med grønne og røde smileys. Løsningsforslagene fokuserer på at udnytte de fossile brændstoffer bedre ved at forbedre de nuværende industrielle processer (forslag 1), indfange CO₂-forureningen (forslag 2), skifte til vedvarende energi (forslag 3) og endelig lære at bruge CO₂ og vedvarende energi til at lave nye brændstoffer (forslag 4).

Ideen med at omdanne vedvarende energi til kemisk energi ved hjælp af katalysatorer er gennemgående for hele bogen, men i dette kapitel fremhæves CO₂ som et nyt råstof til at lave CO₂-neutrale brændstoffer. Princippet i CO₂-neutrale brændstoffer er, at de udleder samme mængde CO₂ til atmosfæren, når de brændes af, som de optog fra atmosfæren for at blive dannet. Ved hjælp af elektrisk energi fra eksempelvis vindmøller og solceller vil CASE fremstille carbonholdige brændstoffer som methanol eller længere carbonkæder fra CO₂

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

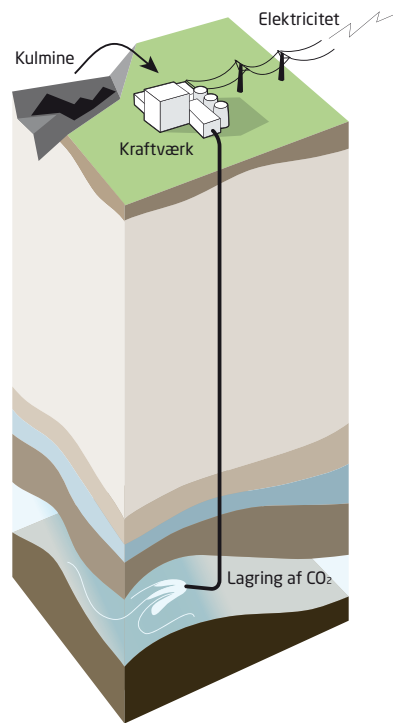
I takt med at CO₂-neutrale brændstoffer erstatter fossile brændstoffer, kan vi altså bremse den stigende mængde CO₂ i atmosfæren. Men fossile brændstoffer bliver fortsat brugt i højere grad, og de vil blive brugt mange årtier endnu. Derfor kan andre løsninger på CO₂-problematikken være relevante her og nu, som for eksempel at indfange og opbevare den CO₂, vi udleder.



Teknologien kendes på engelsk som CCS, Carbon Capture and Storage. I elevbogens afsnit nævnes Sleipner-reservoiret i Nordsøen, som allerede opbevarer 8 millioner ton CO₂. Den naturgas, der udvindes fra Sleipner, indeholder nemlig 9 % CO₂, som i stedet for at blive udledt til atmosfæren bliver deponeret i undergrunden. Der findes forskellige metoder til at rense naturgas eller røggas fra fabrikker for CO₂. Én metode er at lede gassen hen over en amin-opløsning, som optager CO₂ (aminer er molekyler med mindst en N-C binding, og hvor nitrogen er bundet til hydrogen hvis ikke til carbon). Efterfølgende koges blandingen, så CO₂ frigøres, hvorefter den komprimeres og pumpes ned i undergrunden. Et pilotprojekt fra Dong Energy på Esbjergværket har med succes vist, at 90 % af røggassens CO₂ kan fanges ved hjælp af denne teknologi. En af de store udfordringer er dog at nedbringe energiforbruget.

Selvom lagring af CO₂ er en forholdsvis ny teknologi, har det længe været muligt at indfange CO₂ fra en blanding med andre gasser. For eksempel har ubåde anlæg, der benytter kemisk absorption til at rense luften for CO₂. Ellers ville mandskabets udånding af CO₂ efterhånden gøre luften umulig at leve i.

En sjov opgave for eleverne kan være at udregne deres egen udledning af CO₂. Opgaven kan løses hjemme eller i undervisningen, hvis der er et smartboard i klassen med internetadgang. Testen kan findes på hjemmesiden for Dong Energy under 'Tjek dit forbrug'. Efter at



have gennemført testen oplyses der, hvor mange ton CO₂ man sparer årligt, hvor mange plantede træer det svarer til, og hvor mange ikke-kørte kilometer. Se www.dongenergy.dk.

I 2009 var Danmarks energiforbrug på 809 petajoule (PJ, 10¹⁵ joule), mens vores samlede produktion af primær energi var på 1008 PJ. Siden 1997 har vi produceret mere energi, end vi forbruger, og derfor eksporteret energi. Uddybende oplysninger og statistik over Danmarks forbrug af energi samt CO₂-udledning udgives årligt på Energistyrelsens hjemmeside www.ens.dk. Statistik over verdens forbrug af energi, fordeling af energikilder samt CO₂-udledning kan hentes fra U.S. Energy Information Administration, www.eia.doe.gov.

Klasseopgaven

I klasseopgaven sidst i kapitlet opfordres eleverne til at arbejde videre i grupper med et af de fire forslag til at løse CO₂-problemet, som er beskrevet i kapitlet. Eventuelt kan lektierne tilrettelægges, så eleverne læser de indledende sider i kapitlet samt det ene løsningsforslag, de vælger at arbejde med i klasseopgaven. De løsningsforslag, elevgrupperne ikke selv arbejder med, får de i stedet fremlagt af deres klassekammerater.

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

Svar på opgaver

? Prøv at gå på nettet og undersøg, hvilken tilstandsform CO₂ har i brandslukkere og ved køling af druer. *Se f.eks. wikipedia.org.*

Svar: CO₂-brandslukkere indeholder flydende CO₂ under tryk. Når væsken frigives fra flasken, bliver den til fast stof og gas. Det faste stof omdannes til gasformig CO₂. På fast form (tøris) bruges CO₂ blandt andet i vinindustrien til at køle druerne.

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

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

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

Svar: Ved at flippe mellem side 27 og 31 kan eleverne visuelt sammenligne den naturlige drivhuseffekt og den øgede drivhuseffekt. Øget drivhuseffekt ses i sammenhæng med øget forbrug af fossile brændstoffer og mere CO₂ i atmosfæren. Det medfører, at en større mængde af Jordens varmestråling tilbageholdes i atmosfæren på trods af, at solindstrålingen er den samme.

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

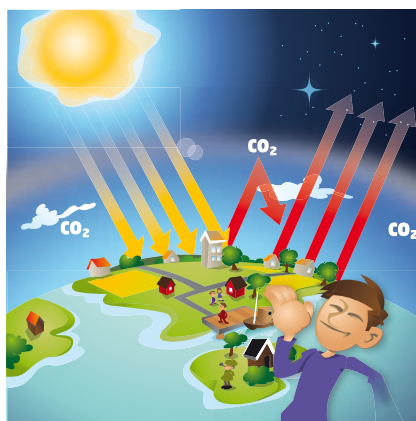
Svar: En dansker udledte i gennemsnit 9,18 ton CO₂ i 2007, en svensker udledte 5,38 ton, en amerikaner 18,91 ton, og en filippiner udledte 0,8 ton. Opgaven kan efterfølges af en klasserunde, hvor eleverne selv prøver at vurdere, om de udleder mere eller mindre end gennemsnittet. Eksempelvis kan de overveje: Hvor ofte rejser de til udlandet? Hvor mange elektriske apparater har de på værelset? Hvordan transporterer de sig rundt?

? Hvor mange år holder et CO₂-lager, hvis det ikke får tilført mere CO₂ og lækker med 1 % af den oprindelige mængde hvert år? Hvad med 5 % om året?

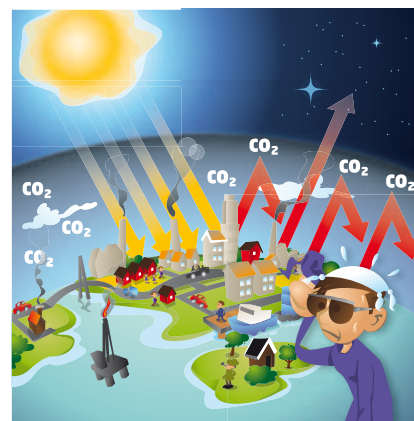
Svar: Et CO₂-lager med en given mængde vil have udledt al gassen igen efter 100 år, hvis det lækker med 1 % af den oprindelige mængde om året. Hvis det lækker med 5 %, er gassen udledt igen efter 20 år.

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

Svar: Nøglesætninger for eleverne kan være: øger ikke mængden af CO₂, kan ikke bruges op, er ikke baseret på fossile brændstoffer, er tilgængelig for alle.



Drivhuseffekten (side 27).

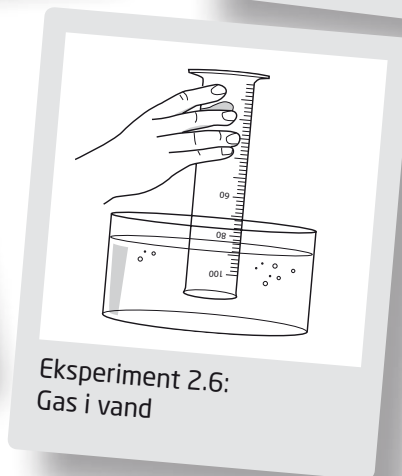
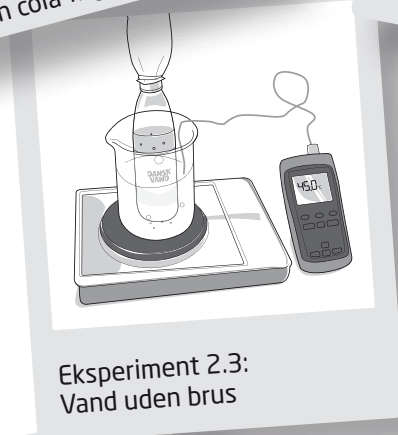
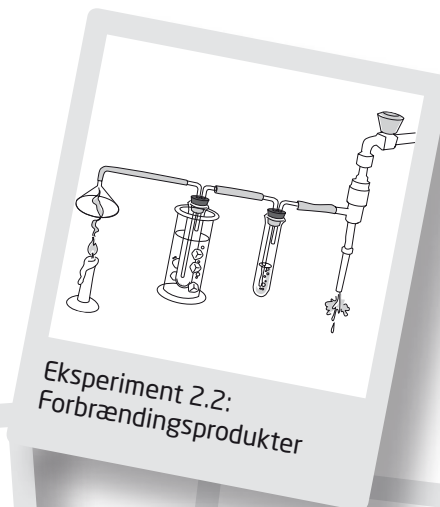


Øget drivhuseffekt (side 31).

Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

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



Verdens bedste energikilde



I udnyttelsen af vedvarende energikilder spiller Solen hovedrollen. Solenergi findes ikke blot i Solens stråler, men omdannes også til både vind- og bølgeenergi samt gennem fotosyntese til biomasse.

Vi kalder Solen for verdens bedste energikilde, fordi den opfylder en række væsentlige krav. På bare halvanden time modtager Jorden nok energi fra Solen til at dække verdens

energibehov i et år. Solen er således den eneste vedvarende energikilde, vi har til rådighed, der alene kan dække hele verdens behov for energi. Hvis altså bare vi kunne udnytte den effektivt nok. Solenergi har også andre fordele: Alle lande har adgang til Solen, den er vedvarende og CO₂-fri. Udfordringen ved at erstatte de fossile brændstoffer er altså ikke at finde en ny energikilde, men derimod at udnytte solenergi bedre.

Kapitel 3 indleder med at forklare fysiske begreber i forbindelse med solstråling, så eleverne får en grundlæggende forståelse for solenergi. Derefter præsenteres eleverne for nogle af de teknologier, vi i dag benytter til at udnytte solenergi, for

eksempel solfangere og solceller til produktion af henholdsvis varme og elektricitet. Resten af kapitlet sætter fokus på omdannelsen af solenergi til kemisk energi i brændstof, eksempelvis med brændstoffet hydrogen. Forskningen i omdannelsen af solenergi til kemisk energi kaldes fotokatalyse. Målet for CASE er at spalte vand til oxygen og hydrogen ved hjælp af solenergi. Fordelene og udfordringerne ved fotokatalyse bliver gennemgået og sammenlignet med elektrolyse (spaltning af vand ved hjælp af elektricitet).

Kapitlet kræver ikke særlige forudsætninger ud over et kendskab til ioner i forbindelse med afsnittet om brændselsceller. Desuden vil en generel forståelse af energiproblematikken, som gennemgået i kapitel 1 og 2, være en fordel.

Følgende emner behandles:

- ☛ Infrarød stråling, synligt lys og ultraviolet stråling
- ☛ Bølgelængde, frekvens og fotoner
- ☛ Solfangere og solceller, herunder virkningsgrad
- ☛ Fotosyntese
- ☛ Brændselsceller og begrebet brintsamfund
- ☛ Elektrolyse
- ☛ Fotokatalyse
- ☛ Redoxreaktioner
- ☛ Forskning i katalysatorer til brug ved omdannelse af solenergi til kemisk energi

Gode råd og mere viden

Hvad rummer Solens stråler

Solstråling er elektromagnetiske bølger, der i lufttomt rum udbreder sig med cirka 300.000 km/s (lysets hastighed, $c = 299.792.458$ m/s). Sammenhængen mellem strålingens bølgelængde (λ) og frekvens (f) er givet ved:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Det er ikke bølgelængderne, men derimod frekvenserne, der afgør farven i Solens synlige lys. Traditionelt beskrives farverne med deres bølgelængder, fordi man kan måle bølgelængder med et spektroskop, mens frekvenser af synligt lys ikke kan måles direkte. Men bølgelængden af en bestemt farve lys skifter, når lyset passerer fra et materiale over i et andet, for eksempel fra luft til vand, mens farven forbliver den samme. Frekvensen er derimod altid den samme for en given farve lys uanset bølgelængden.

Solstråling beskrives også som partikler, der kaldes fotoner. Energien for en foton (E_{foton}) afhænger af strålingens frekvens (f):

$$E_{\text{foton}} = h \cdot f$$

Proportionalitetskonstanten h kaldes Plancks konstant og har værdien $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Elektromagnetiske bølger omfatter dog langt mere end solstråling. Som et eksempel på bølger med lavere frekvens end sollyset kan nævnes radiobølger, mens man i den anden ende af det elektromagnetiske spektrum eksempelvis kan finde røntgenstråler.

Solenergi i bruseren og stikkontakten

På en klar sommerdag er solintensiteten i Danmark omkring 1.000 W/m² på en vandret overflade. Når man vil udnytte Solens energi, eksempelvis ved hjælp af solceller og solfangere, er det interessant at vide, hvilken del af solstrålingen der indeholder mest energi. Hovedparten af energien i solstrålingen stammer fra det infrarøde område. Ganske vist har den infrarøde stråling lavest frekvens og dermed lavest energi, men til gengæld udsendes der flest fotoner fra dette lys. Fotonerne i UV-strålingen har højest energi, men til gengæld er der færre af dem.

Det er materialet, der afgør, hvor energirige fotoner en solcelle kan udnytte. Siliciumsolceller skal eksempelvis bruge 1,14 elektronvolt til at excitere en elektron, det vil sige løfte den op i en højere energitilstand. Elektronen falder tilbage ved at løbe gennem et ydre kredsløb og frigive noget af sin energi. Derved leverer solcellen elektricitet. Energien, der skal bruges på at løfte elektronen, svarer til en bølgelængde på 1.100 nm, det vil sige i det infrarøde område. Fotoner med lavere energimængde kan altså ikke løfte elektronerne og derfor heller ikke udnyttes. Fotoner med højere energimængde kan løfte elektronerne, men energien ud over de første 1,14 elektronvolt går til spilde. Det betyder, at der er en øvre grænse for solcellens virkningsgrad. For siliciumsolceller ligger den teoretiske grænse på ca. 30 % og den praktiske grænse på omkring 20 %.

Hvordan gemmer vi Solen til natten?

Jorden modtager i gennemsnit 100.000 terawatt (TW, 10^{12} watt) fra Solen. Det overstiger Jordens gennemsnitlige effektforbrug (2008) på 16 TW med mere end 6.000 gange. Med andre ord svarer halvanden times solenergi til vores årlige energiforbrug.

Solen er en energikilde, mens elektricitet og hydrogen er energibærere, der kan bruges til at opbevare energien, til vi har brug for den igen. Da de fleste vedvarende energikilder varierer med vejret, døgnet og årsti-

Farve	Vakuumbølgelængde (nm)	Frekvens (THz)
rød	620-770	480-390
orange	590-620	510-480
gul	560-590	540-510
grøn	500-560	600-540
cyan	480-500	620-600
blå	460-480	650-620
violet	380-460	790-650

Farvespektrum i det synlige lys (omtrentlige værdier).

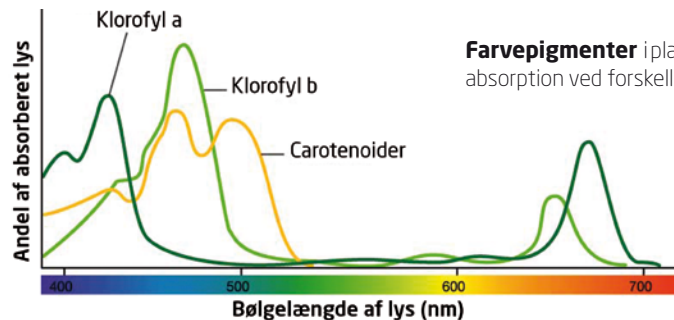
den, kan vi ikke skabe en stabil og rigelig vedvarende energiforsyning, medmindre vi lærer at omdanne eksempelvis sol-, vind og bølgeenergi til brændstoffer, som vi kan gemme. Kemiske brændstoffer som hydrogen og methanol er særlig nyttige, da de både kan opbevares over længere tid, og samtidig kan benyttes direkte i transportsektoren. I elevbogens afsnit beskrives desuden et projekt, hvor solenergi gemmes som varme i smeltesalt. Historien refererer til projektet Gemasolar fra firmaet Torresol Energy, www.torresolenergy.com.

Planternes opskrift på brændstof

Planter absorberer lys til fotosyntesen ved hjælp af forskellige pigmenter, der findes i kloroplaste, også kaldet grønkorn. Pigmenterne absorberer lys ved forskellige bølgelængder og udvider derved det samlede absorptionsspektrum. De mest almindelige pigmenter er:

- *Klorofyl a*, der primært absorberer blåviolet og rødt lys samt reflekterer grønt lys.
- *Klorofyl b*, der absorberer blåt og orange lys samt reflekterer gulgrønne bølgelængder.
- *Carotenoider*, der absorberer blågrønt lys og reflekterer gult og orange lys.

Eleverne kender bladenes karakteristiske farveskift på løvtræerne om efteråret, men de færreste ved næppe, at det skyldes de forskellige farvepigmenter. Forklaringen er, at bladenes farve i sommerhalvåret er domineret af klorofyl, som primært reflekterer det grønne lys. Om efteråret nedbrydes klorofylmolekylerne, og de gule



Farvepigmenter i planterne og disses lysabsorption ved forskellige bølgelængder.

og røde farver fra carotenoiderne træder frem.

Hydrogen som brændstof

Hydrogen kan bruges til opvarmning ved direkte forbrænding eller konverteres til elektricitet i brændselsceller. Disse kan indbygges i en lang række produkter lige fra meget små brændselsceller i bærbare apparater som mobiltelefoner og computere til større, mobile celler i biler, lastbiler og skibe. Endelig kan stationære brændselsceller bruges til at producere varme og elektricitet i private hjem og på kraftværker. Hydrogen som brændstof og brug af brændselsceller bliver anvendt flere og flere steder i samfundet. I afsnittet fremhæves den danske by Vestenskov som eksempel. På www.h2-lolland.dk kan der hentes yderligere information om verdens første brintlandsby, og i Vestenskov kan man besøge en interaktiv udstilling, som fortæller mere om brintprojektet. Se www.h2interaction.dk.

Der findes også andre gode eksempler på brug af hydrogen og brændselsceller i Skandinavien. I Norge blev en motorvejsstrækning på 560 km indviet som hydrogenmotorvej i 2009. Ruten løber mellem Oslo og Stavanger, og den er forsynet med fire hydrogentankstationer.

Også i Danmark skyder der tankstationer op. Den første blev bygget ved Nordisk Folkecenter for Vedvarende Energi i Thy, hvor hele processen, fra vindmølle og elektrolyse til hydrogenlager, tankstation og brintbil, opleves. Se www.folkecenter.dk. I et demonstrationsprojekt for hydrogen til transport arbejder Scandinavian Hydrogen Highway Partnership (SHHP) på at samle Danmark, Norge og Sveriges netværk af hydrogenmotorveje til ét netværk. Det skal gøre det muligt at køre i brintbil hele vejen fra Stavanger i Norge til den dansk-tyske grænse. På www.hydrogenlink.net under 'netværk' kan ses et kort over de nuværende hydrogentankstationer i Danmark.

En dyr omvej til hydrogen

I dag fremstilles hydrogen typisk ud fra det fossile brændstof methan, som findes i naturgas. Hvis hydrogen skal bruges som et CO₂-frit brændstof, er det nødvendigt med en fremstillingsmetode uden brug af fossile brændstoffer. I dag er dette muligt ved hjælp af elektrolyse, hvor elektricitet fra vedvarende energikilder spalter vand til hydrogen og oxygen. I Norge udvindes der elektricitet fra vandkraftværker, mens vi i Danmark typisk henter strømmen fra vindmøller. Som del af undervisningen

om elektrolyse kan eleverne overveje, hvilke vedvarende energikilder forskellige lande har til rådighed til elektrolyse.

Elektrolyse er dog ikke en optimal metode til at fremstille hydrogen, da energien skal omdannes i to trin, først til elektricitet og derefter til kemisk energi. Både ved hver energiomdannelse og under transport af elektriciteten går der energi til spilde. Det sænker den samlede effektivitet, og elektrolyse er derfor også en dyr løsning. CASE forsker i at spalte vand direkte ved hjælp af solenergi (fotokatalyse). Det har den energimæssige fordel, at solenergien ikke først skal omdannes til elektricitet og derefter transporteres videre. Solenergien bliver direkte omdannet til kemisk energi, og energitabet bliver mindre. Fotokatalyse af vand med en effektivitet helt op til 18 % er muligt i dag, men stadig meget kostbart, da teknologien er afhængig af platin som katalysator. Derfor er den store udfordring at finde nye, billige katalysator, der kan styre reaktionen.

Den direkte vej til hydrogen

Fotokatalyse af vand sker i to sideløbende reaktioner. Først bliver vand spaltet til et oxygenmolekyle og to hydrogenioner. Dette sker ved en oxygenudviklende katalysator. Oxygen bliver dannet i fire trin, og i hvert trin skal et nyt mellemprodukt binde sig til katalysatoren. Det er derfor særlig svært at finde en god oxygenudviklende katalysator, da der ikke findes ét materiale, der kan binde alle mellemprodukterne perfekt. Hydrogenionerne fra vandspaltningen bevæger sig hen til en hydrogenud-

viklende katalysator, hvor de danner hydrogen (H_2). Denne reaktion kræver kun to trin og stiller derfor ikke samme krav til katalysatoren. Solstrålingen driver hele processen ved at excitere elektroner i fotosystemet. Med andre ord overfører fotoner energi til elektroner, som bliver løftet op i en højere energitilstand. De exciterede elektroner driver reduktionen af hydrogen, mens de elektronhuller, der opstår, driver oxidationen af vand til oxygen ved at tage imod elektronerne fra vandmolekylerne. Jo mere energi fotonerne overfører til elektronerne, jo nemmere er det at få processen til at forløbe. Derfor er fotokatalysen i dag stadig begrænset til det energirige blå lys eller UV-stråling. Udfordringen er naturligvis at udnytte mest muligt af solstrålingen og derved gøre den fotokatalytiske proces så effektiv som muligt. Derfor forsøger CASE-forskerne at excitere hver elektron ved hjælp af to mindre energirige fotoner (for eksempel fra gult og rødt lys) i stedet for en enkel foton med høj energi (fra UV-stråling).

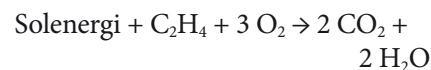


Fotokatalyse er afhængig af to katalysatorer. En til at danne oxygen og en til at danne hydrogen.

Andre udfordringer ved fotosystemet er at holde den dannede hydrogen og oxygen adskilt af hensyn til faren for knaldgas og at bygge fotosystemet i et tilstrækkeligt holdbart materiale. Fo-

tokatalysen skaber nemlig et stærkt oxiderende miljø, som de færreste materialer kan udsættes for i længere tid uden at tage skade.

Fotokatalyse kan synes svært og abstrakt, så for at gøre emnet konkret og lettere forståeligt kan man inddrage andre eksempler på fotokatalytiske reaktioner, som eleverne kan relatere til deres hverdag. For eksempel bruger man fotokatalyse i frugtcontainere til at forhindre, at frugten modner for hurtigt. Når frugt modner, udskiller det ethen (C_2H_4), som kan opfanges af nabofrugten og fremskynde modningen. Ved hjælp af solstråling og katalysatoren titandioxid (TiO_2) nedbrydes ethen:



Klasseopgaven

I klasseopgaven skal eleverne formidle et fagligt emne for deres klassekammerater ved hjælp af visuelle virkemidler og ved at anvende et kort og præcist sprog. Hver elevgruppe fremstiller en poster, der omhandler et af emnerne i kapitlet. Det vil sige en metode til at udnytte solenergi. Der bør lægges vægt på, at eleverne udvikler korte, læsevenlige tekster til deres poster og gør dem visuelt appellerende ved hjælp af billeder, de finder på nettet. Som udgangspunkt kan eleverne læse mere ved at indtaste deres emneord (eksempelvis solceller) i billedsøgningen på www.google.dk og derefter klikke sig ind på de sider, der har gode illustrationer.

Læreren bør sikre sig, at eleverne for-

står forskellen på at skrive af fra en kilde og referere til en kilde. Selve udfordringen for eleverne ligger ikke i at finde gode citater, men derimod at opbygge tilstrækkelig viden om deres emne til selv at kunne formidle det videre i eget sprog. Formidlingen foregår både skriftligt og mundligt.

De korte tekster på posterne skal suppleres med mundtlig paratviden, når klassen afholder en konference, hvor eleverne 'besøger' hinandens poster og stiller spørgsmål til dem. Efter endt konference kan der følges op på, hvilke grupper der udførte den bedste formidling og hvorfor.

En udvidet version af klasseopgaven kan omfatte kildekritik og korrekt kildehenvisning af elevernes brug af billeder og oplysninger. Hold eventuelt et oplæg inden opgaven, hvor eleverne præsenteres for udvalgte hjemmesider og sammen vurderer, hvad der kendetegner en pålidelig kilde.

Svar på opgaver

? Undersøg, hvordan vandet i dit hus bliver varmet op.

Svar: Svarene kan omfatte fjernvarme, oliefy, gasfy, solfangere og jordvarmeanlæg. Omkring 60 % af danske boliger får varme via fjernvarme. På Energistyrelsens hjemmeside www.ens.dk kan eleverne undersøge varmeværkernes fordeling i Danmark, og hvilken type brændsel de bruger.

? 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.

Svar: Klassen kan blandt andet diskutere CO₂-udledningen fra produktionen og eventuelle miljømæssige konsekvenser ved at anlægge store solanlæg. Ulemperne kan diskuteres i forhold til den CO₂-besparelse, man opnår ved at udnytte anlæggene. Endvidere kan klassen diskutere politiske og økonomiske konsekvenser af at være afhængig af en energiforsyning, der kommer langvejs fra, frem for en lokal energiforsyning. Omvendt

kan fjerntliggende områder være en fordel, når støj og sikkerhed tages i betragtning, som man for eksempel kender det fra havvindmøller og kernekraftværker.

? Hvad hedder den modsatte reaktion af fotosyntesen?

Svar: Reaktionen er respiration, hvilket eleverne kan finde svaret på i kapitel 2 under 'Carbons jordomrejse'.

? 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.

Svar: Elevbogens figur viser, at lysets farve med denne bølgelængde (i luft) hovedsagelig er grøn. Den grønne farve bliver reflekteret fra planterne, hvorfor de fremtræder grønne. Dette skyldes, at farvepigmenterne i planten som klorofyl og carotenoider ikke udnytter det grønne lys.

? Hvad er enheden for strømstyrke?

Svar: Symbolet for strømstyrke er *I*, og enheden er ampere.

? 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 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?

Svar: Vi kan fremstille 6,9 millioner brintbiler om året med den tilgængelige mængde platin, og det vil tage os 130 år at udskifte alle nuværende biler.

$$\frac{240 \cdot 10^6 \text{ g}}{35 \text{ g/bil}} = 6,9 \text{ mio. biler}$$

$$\frac{900 \text{ mio. biler}}{6,9 \text{ mio. biler}} = 130 \text{ år}$$

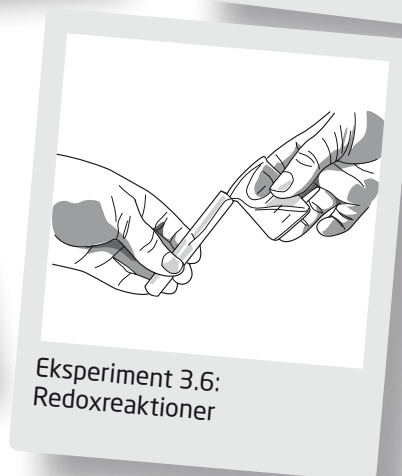
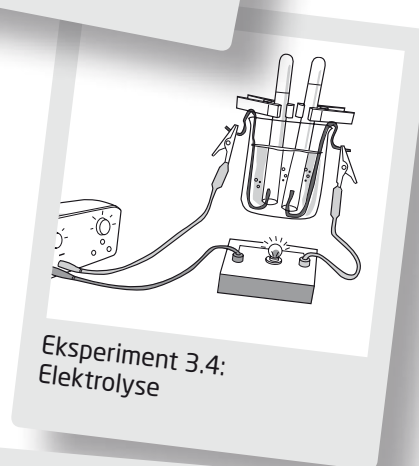
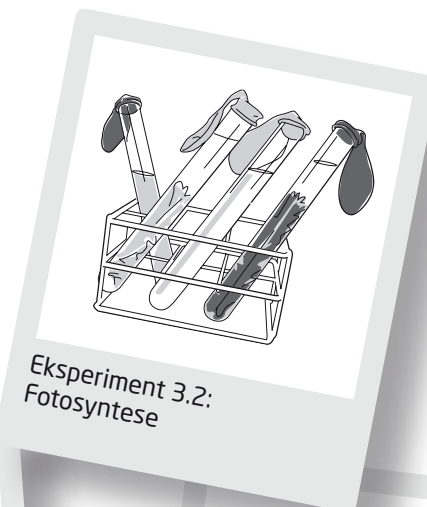
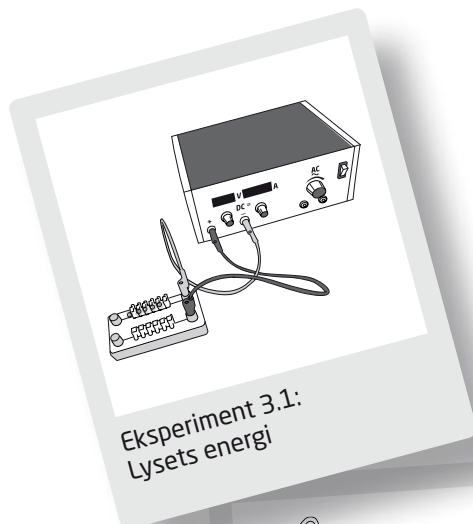
? Skriv reaktionen for elektrolyse af vand, og skriv derefter reaktionen for en brændselscelle. Kan du forklare, hvad forskellen er?

Svar: De to reaktioner er ens, men forløber i forskellig retning. Elektrolysen omdanner elektrisk energi til kemisk energi, mens brændselscellen omdanner kemisk energi til elektrisk energi.

Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

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



Affald på tanken



CASE's tredje forskningsområde handler om at omdanne biomasse til brændstoffer. Metoden er endnu en vej til indirekte at udnytte solenergi og lagre den på kemisk form. Biomasse er imidlertid ikke kun en energikilde, men også vores fødegrundlag. Når det handler om energi, skal vi blive bedre til at udnytte den uspiselige del af biomassen. Derfor er forskningen i CASE inden for biobrændstoffer koncentreret omkring udnyttelse af uspiselig biomasse som planterester fra marken og levninger fra husholdningen. Med det håber

forskerne at gøre det lettere at erstatte fossile brændstoffer og i stedet hælde affald på tanken.

Kapitlet indledes med fotosyntesen, som er kilden til al biomasse. Hvor fotosyntesen i kapitel 3 blev gennemgået med fokus på planternes udnyttelse af solenergien, fokuserer vi i dette kapitel på de vigtigste molekyler, som planterne danner. Når det drejer sig om at bruge biomasse som energikilde, kan de centrale molekyler inddeles i letnedbrydelige og sværtnedbrydelige molekyler, der

anvendes til henholdsvis 1. og 2. generations-biobrændstoffer. Der bliver gennemgået flere metoder til at fremstille biobrændstoffer, og eleverne bliver dermed introduceret for både de enzymatiske nedbrydnings- og gæringsprocesser, man primært bruger i dag, og de katalytiske reaktioner, der i højere grad kan blive en del af fremtidens produktion.

En introduktion til enzymer vil være en fordel, inden eleverne arbejder med kapitlet. Alternativt kan eleverne finde en grundlæggende forklaring på, hvad et enzym er, i ordlisten bagerst i bogen. Ligesom for de andre kapitler vil en generel viden om energiproblematikken, som den bliver gennemgået i kapitel 1 og 2, desuden give eleverne en større forståelse for betydningen af biomasse som energikilde.

Følgende emner behandles:

- ☛ **Fotosyntese og planters kemiske bestanddele**
- ☛ **Forskellen på biomasse og fossile brændstoffer**
- ☛ **Begreberne vedvarende energi og CO₂-neutral energi**
- ☛ **Letnedbrydelig og sværtnedbrydelig biomasse**
- ☛ **Biobrændstoffer af første og anden generation**
- ☛ **Enzymatisk produktion af bioethanol ved alkoholgæring**
- ☛ **Forskning i katalytisk nedbrydning af biomasse og fremstilling af biobrændstoffer af anden generation**
- ☛ **Plastik fremstillet af biomasse i stedet for af olie**

Gode råd og mere viden

Biomasse begynder med planterne Biomasse giver energi til kroppen

Formålet med disse afsnit er ikke blot at introducere eleverne til fotosyntesen, men også til de forskellige molekyler, planter består af. Det er vigtigt for elevernes udbytte af resten af kapitlet, at de forstår, at al biomasse indeholder kemisk energi, men at det findes i forskellige kemiske forbindelser. Molekyler som sukkerstoffer og stivelse kan vi nedbryde i kroppen, mens molekyler som cellulose og lignin er ufordøjelige. Dette er vigtigt, både for at forstå problematikken omkring fødevarer versus biobrændstoffer og forskellen på 1. og 2. generations-biobrændstoffer, som behandles senere i kapitlet.

Inden der tages hul på kapitlet, kan det være en god øvelse at lade eleverne lave en liste over alt det, de mener, er biomasse. Efter arbejdet med kapitlet kan eleverne gentage øvelsen og sammenligne deres nye liste med den oprindelige. Det er nok de færreste elever, der er klar over, at biomasse både omfatter deres madpakke, madaffald, kæledyr og deres egen krop. Den endelige liste kan udbygges ved at understrege de former for biomasse, der er relevante som energikilder (det vil sige mennesker og levende dyr undtaget). Listen kan desuden opdeles i spiselig og ikke-spiselig biomasse.

For uddybende information om fotosyntesen og planternes forskellige

farvepigmenter se lærervejledningens afsnit 'Planternes opskrift på brændstof', side 24.

Biomasse som energikilde til samfundet

Når der står i elevbogen, at biomasse som energikilde i princippet er CO₂-neutral, skal det forstås ud fra den betragtning, at biomassen indbygger samme mængde CO₂ fra atmosfæren gennem fotosyntesen, som den udleder ved afbrænding eller naturlig nedbrydning. Men hvis forbrændingen af biomasse ikke modsvares af væksten af ny biomasse, er forbruget naturligvis ikke CO₂-neutralt på langt sigt og påvirker derfor Jordens carbonbalance.

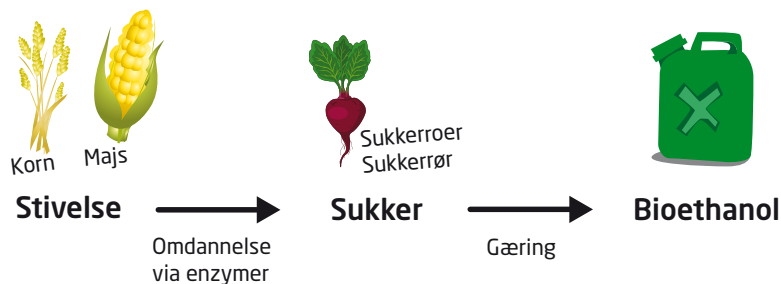
International Energy Agency (IEA) vurderer, at biomasse og affald dækker ca. 10 % af verdens energiforbrug (2008). I dag er 2,5 milliarder mennesker afhængige af biomasse som træ og planterester for at dække deres mest basale behov for opvarmning og madlavning. Forbruget er dog hverken effektivt eller fuldt ud bæredygtigt, da ikke al biomassen bliver genplantet. I gennemsnit er effektiviteten vurderet til 5-20 % i husholdninger i udviklingslande, mens de industrialiserede lande udnytter biomasse med en effektivitet på 65-80 %. Derudover er forurennet indendørsluft en uheldig følgevirkning af biomasseforbrændingen i udviklingslandene. IEA vurderer, at 1,3 millioner mennesker, primært kvinder og børn, dør hvert år som følge af dette.

Fra afsnittet om fotosyntesen ved eleverne, at biomasse indeholder kemisk energi. Den energi udnytter vi for eksempel i kroppen ved at forbrænde mad eller på kraftvarmeværker, når vi brænder biomassen af. Den kemiske energi er dog ikke umiddelbart tilgængelig i en form, vi kan udnytte til brændstoffer i transportsektoren. For at bruge biomasse som brændstof skal de kemiske forbindelser først omdannes til en form, der kan forbrændes i en bilmotor.

Kun omkring 2 % af verdens biomasseforbrug går til produktionen af biobrændstoffer, men produktionen er stigende. Her er det vigtigt at gøre sig klart, at begrebet CO₂-neutral kun dækker over biomassens vækst og endelige afbrænding. Både produktion, forarbejdning og transport af biomassen sker ofte ved hjælp af fossil energi. Det påvirker det overordnede CO₂-regnskab i negativ retning. CO₂-udledningen fra den fulde cyklus i produktionen af biobrændstoffer varierer meget. Ifølge USA's energiministerium (2008) resulterer bioethanol fremstillet af majs i en ca. 20 % reduktion af drivhusgasser i forhold til benzin. En reduktion på hele 86 % kan derimod opnås med ethanol fremstillet af celluloseholdigt materiale og ved brug af biomassebiprodukter som energikilde.

Biobrændstof med naturens hjælp

Produktionen af biobrændstoffer varierer meget fra land til land. USA



Fremstilling af 1. generations-bioethanol med eksempler på fødevarer, der bruges som råstof.

og Brasilien står sammenlagt for 87 % af produktionen af ethanol til brændstof (2009), men de to lande bruger dog forskellige afgrøder. Brasilien fremstiller ethanol af sukkerrør, mens USA primært benytter majs. Sukkerrørene kræver tropiske eller subtropiske betingelser for at gro. Til gengæld er sukkeret frit tilgængeligt og blot en gæringsproces væk fra ethanol. Ved brug af råvarer som majs, korn og kartofler derimod skal stivelse først frigives og konverteres til sukker ved hjælp af enzymatiske processer. I begge tilfælde er der tale om 1. generations-biobrændstoffer, det vil sige brændstoffer baseret på spiselige afgrøder. Spiselige afgrøder er nemmest at benytte, fordi enzymer let kan spalte de kemiske bindinger i stivelse og frigøre de enkelte glucosemolekyler. I celluloseholdig biomasse derimod er de kemiske bindinger mellem glucosemolekylerne sværere at bryde, og desuden er glucosekæderne bundet stærkt til hinanden ved hjælp af hydrogenbindinger.

1. generations-biobrændstoffer har været genstand for både politisk og folkelig debat. Bekymringerne gælder især brugen af landområder til dyrkning af afgrøder til brændstoffer i stedet for til fødevarer. Dertil

kommer stigende fødevarerpriser og afskovning af regnskove. Problemstillingen kan gøres tydelig for eleverne ved at lade dem regne på, hvor mange mennesker man kan brødføde med den mængde majs, USA bruger til bioethanol. Majs indeholder omkring 4.500 kJ/kg, og USA producerede ca. 107 millioner ton majs til ethanol i 2009. En danskers daglige energiforbrug er omkring 10.000 kJ. Majsproduktionen kan altså brødføde ca. 130 millioner mennesker i et år. Eksemplet giver naturligvis et forenklet billede af problemstillingen, da fødevarerproduktion og verdens madfordeling er mere kompliceret end som så.

Vender vi blikket mod biodiesel, er det EU, som er førende på området med 75 % af verdens samlede produktion. Biodiesel består af estere af langkædede fedtsyrer og er fri for svovl i modsætning til almindelig diesel. Brændstoffet fremstilles ved en katalytisk reaktion mellem alkohol og vegetabilsk olie eller animalsk fedt. Ofte er alkoholen methanol, da den er billigst at fremstille, hvorfor

man kalder biodieselen for en methylester. Som olie-/fedtkilde bruges rapsolie (RME), palmeolie (PME) eller fedtsyrer (FME), der blandt andet udvindes fra dyrefedt. Afsnittet 'Fedt på tanken' fremhæver det danske firma Daka, der netop bruger dyrerester som fedtkilde. Læs mere på www.daka.dk. Methylesterne skal ikke forveksles med DME, der står for dimethylether (CH_3OCH_3), og som nævnes senere i kapitlet under afsnittet om forgasning af sortlud. DME kan ikke som methylesterne blandes i konventionel diesel. Til gengæld er det relativt simpelt at ændre dieselmotorer til at køre på ren DME.

I fremtiden vil alger måske spille en større rolle i produktionen af biodiesel, da fedtstof kan udvindes herfra. Algeproduktion er på mange måder fordelagtigt, da den ikke konkurrerer med fødevarer om landbrugsjord og samtidig kan bruges til at rense forurenede vand for næringsstoffer. På Lolland i Onsevig Klimapark dyrker man alger i forsøgsbassiner både for at producere biodiesel, rense dræn- og overfladevand fra landbruget og beskytte området med diger. Læs mere på www.lolland.dk eller www.onsevighavn.dk/onsevig-klimapark.dk.

Nye 'katte' til nye brændstoffer

De stærke kemiske bindinger i celluloseholdigt biomasse stiller store udfordringer til fremstillingen af 2. generations-biobrændstoffer. Flere



virksomheder, heriblandt danske Novozymes, har udviklet enzymer til at nedbryde cellulose, men den biologiske nedbrydningsmetode er dyr. Desuden kræver biomassen en aggressiv forbehandling typisk ved hjælp af syre for at muliggøre de enzymatiske processer. CASE arbejder i stedet på at fremstille biobrændstoffer ved hjælp af ikke-biologiske processer og katalysatorer.

Den første metode, der behandles i elevbogen, er forgasning. Det er en proces til at nedbryde biomasse til gasser, primært hydrogen (H_2) og carbonmonoxid (CO) (tilsammen kaldt syngas). Forgasningen sker ved hjælp af varme og kontrolleret tilførsel af oxygen og vanddamp. Fordelen ved metoden er, at den kan nedbryde alle typer biomasse. Til gengæld er processen meget energikrævende, og de katalysatorer, man har i dag, er ikke tilstrækkelig gode til at styre dannelsen af lange alkoholer. Længere alkoholer er fordelagtige, fordi de indeholder mere energi per kilo, er lettere at blande i benzin og er mindre giftige end korte alkoholer som methanol. Forskerne i CASE forsøger derfor dels at udvikle nye katalysatorer, dels at bygge videre på de korte alkoholer ved at blande dem med syngas, så molekylerne kombinerer til længere alkoholer. For eksempel har forskerne haft succes med at tilsætte ethanol til syngassen og derved øge produktionen af 1-butanol ($CH_3(CH_2)_3OH$) i de katalytiske processer.

Den anden metode, der beskrives i elevbogen, er opløsning af celluloseholdigt biomasse ved hjælp af

ioniske væsker. Det er en nyere og mindre energikrævende metode end forgasning. Ioniske væsker er defineret som salte med smeltepunkter under $100\text{ }^\circ\text{C}$. I modsætning til for eksempel bordsalt, der først smelter omkring $800\text{ }^\circ\text{C}$, kan ioniske væsker være på væskeform fra stuetemperatur og helt op til $300\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$. Væskerne har været kendt siden starten af 1900-tallet, men det er den nyere generation udviklet fra 1990'erne, der har tiltrukket sig opmærksomhed. Det skyldes, at de nye ioniske væsker er mere stabile i vand, og det gør det muligt at benytte væskerne til katalyse og organisk syntese. Væskerne har også gode opløsningssegenskaber og kan nedbryde celluloseholdig biomasse. Det er dog besværligt at oprense den dannede glucose fra væsken og derfor ikke muligt efterfølgende at gære glucosen til alkohol. I stedet satser CASE på at fremstille andre brændstoffer som dimethylfuran (DMF) ved hjælp af reaktioner direkte i den ioniske væske. Da DMF er uopløselig, skiller den ud i et separat lag, der let kan aftappes. DMF har gode egenskaber som biobenzin og bedre blandbarhed end ethanol. Læs mere om CASE's forskning i 2. generations-biobrændstoffer på www.case.dk.

Biomasse er fuld af carbon Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik

Biomasse bliver ofte nævnt som energikilde, men de færreste tænker over, at biomasse også er et alternativt råstof til de mange carbonholdige varer, vi er afhængige af i vores moderne forbrugssamfund. Alt fra plastik og medicin til konserveringsmidler og

billigt kunststof er afhængige af den kemiske industri, og 95 % af alle organiske kemikalier fremstilles i dag af carbon fra olie og naturgas. Oftest benyttes olie, fordi den enorme produktion af oliebasebrændstoffer gør det muligt at fremstille kemikalier direkte på olieraffinaderierne. Det gælder blandt andet for de fire mest producerede kemikalier ethen, propen, benzen og xylen. Kemikalierne ender primært som polymerer i plastik. I dag er det globale forbrug af plastik på omkring 250 millioner ton, og i Europa bruger hver indbygger omkring 100 kg plastik om året.

I bogens afsnit om miljøvenlig plastik undlades betegnelsen bioplastik, selvom det er populært i daglig tale. Det skyldes, at ordet bioplastik ikke er officielt defineret. Bioplastik omfatter både plastik fremstillet af biomasse, der ikke er bionedbrydelig, og bionedbrydelig plastik fremstillet



Plastikforbruget i Europa forventes at stige. I dag er det på 100 kg om året per indbygger.

af olie, gas eller en blanding af disse og biomasse. Endelig findes der plastik, der er fremstillet af biomasse og samtidig er bionedbrydelig. Det gælder blandt andet for plastikken PLA, der fremstilles af mælkesyre som beskrevet i elevbogen. Med en nyudviklet katalysator fra Haldor Topsøe, der omdanner sukkerstoffer til mælkesyre i ét trin, er vejen samtidig banet for en mere effektiv og billigere produktion af PLA end ved brug af enzymer. Katalysatoren er en såkaldt zeolit, som er et krystallinsk materiale, der er særligt porøst. De

mange små porer giver katalysatoren en meget stor overflade, hvor molekyler kan diffundere ind, reagere og komme ud igen. Zeolitten bruges pudsigt nok også til at omdanne olie til benzin, men ved at ændre på den har Haldor Topsøe altså skabt en mælkesyrekatalysator. Firmaet har blandt andet udskiftet nogle af zeolittens traditionelle metaller med titan, zirconium og tin.

Klasseopgaven

I denne opgave skal eleverne repræsentere forskere eller organisationer,

der har en interesse i eller holdning til biobrændstoffer. Eleverne skal forberede oplæg til de planlagte run-der, som er defineret i opgaven. Det kan være en udfordring for eleverne at forstå, at de skal repræsentere en organisations holdning frem for deres egen, så opgaven kan med fordel præsenteres som et rollespil for at øge elevernes indlevelse i rollerne. Som en hjælp til eleverne kan man vælge at kopiere og uddele de bearbejdede rollekort, som findes i eksperiment-hæftet side 80.

Svar på opgaver

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

Svar: Processen hedder respiration. Som hjælp henvises eleven til carbonkredsløbet i kapitel 2. Opgaven kan efterfølges af en snak om, hvorfor oxygen er nødvendigt for livet på Jorden, og hvilken reaktion i naturen der danner oxygen (fotosyntese).

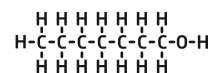
? Både danske og svenske tankstationer sælger benzin, der indeholder ethanol. I Danmark markedsføres det blandt andet som Bio95. I Sverige som E85. Brug google.dk til at undersøge, hvilken af de to typer brændstoffer der indeholder mest ethanol.

Diskuter i klassen, hvornår man kan kalde benzin for grøn.

Svar: Det danske brændstof Bio95 er benzin iblandet 5 % ethanol, mens det svenske brændstof E85 overraskende nok er benzin iblandet 85 % ethanol. Derved markedsføres de to produkter ganske forskelligt. Brug opgaven til klassedebat om, hvordan man som forbruger skal forholde sig til markedsføringen. Statoil markedsførte oprindeligt Bio95 med et logo, der indeholdt en blomst, men forbrugerombudsmanden betragtede dette som 'greenwashing', hvorpå Statoil trak blomsten ud af logoet. Det kan bruges som startskud til en debat om, hvor høj eller hvor lav eleverne synes, koncentrationen af ethanol bør være, før man kan kalde et brændstof for 'grønt' eller miljøvenligt eller tillade sig at markedsføre det med en blomst.

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

Svar: Heptanol tegnes som vist. Forbindelsen kaldes heptanol-1, da OH-gruppen sidder på det første carbonatom.



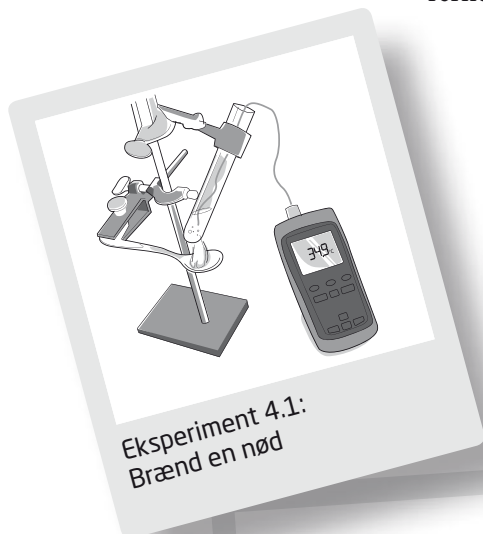
? Mælkesyregæring er én type gæring. Hvilken anden gæringsproces har du læst om i dette kapitel?

Svar: Kapitlet gennemgår ethanol-gæring (også kaldt alkoholgæring) på side 76 i forbindelse med bakteriers nedbrydning af glucose til ethanol og CO_2 .

Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

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



Ammoniak som grønt brændstof



I de foregående kapitler har der blandt andet været fokus på at gemme vedvarende energi som ethanol og hydrogen. Bogens sidste kapitel handler om at gemme energien som

ammoniak. Det er et mindre velkendt molekyle i forbindelse med energilagring. Ligesom ethanol og hydrogen frigiver ammoniak masser af energi ved forbrænding og er derfor et godt brændstof. Forskerne i CASE forsøger at udvikle metoder til at fremstille ammoniak ved hjælp af vedvarende energi og nye katalysatorer. På den måde får vi endnu en mulighed for at lagre vedvarende energi på kemisk form.

Kapitlets første emne er den nuværende, og meget energikrævende, industrielle metode til fremstilling af ammoniak. I dette afsnit får eleverne desuden en forståelse for, hvorfor ammoniakindustrien er så stor, hvilket skyldes behovet for kunstgødning. Derefter beskrives en række fordele

og ulemper ved brugen af gødning. Endelig sættes der fokus på at lagre vedvarende energi som ammoniak. Ved først at gennemgå de krævende processer bag fremstillingen af ammoniak bliver eleverne klædt på til at forstå, hvorfor det er så udfordrende for forskerne at gemme vedvarende energi som ammoniak.

For at få det fulde udbytte af kapitlet vil det være en fordel, hvis eleverne har et vist kendskab til brændselsceller og elektrolyse, og kapitlet fungerer derfor særlig godt i forlængelse af kapitel 3, som behandler disse emner. Endvidere kræver gennemgangen af nitrogenkredsløbet, at eleverne kender til ioner.

Følgende emner behandles:

- ☛ Den kemiske forbindelse ammoniak og dens forbrænding
- ☛ Historisk produktion af kunstgødning, herunder Haber-Bosch-processen og dens betydning for verdens fødevarerproduktion
- ☛ Nitrogen som essentielt næringsstof
- ☛ Hovedtræk af nitrogens kredsløb og menneskets indflydelse på kredsløbet gennem brug af gødning
- ☛ Forskernes interesse i naturens nitrogenfiksering
- ☛ Fremstilling af ammoniak ved hjælp af vedvarende energi og katalysatorer
- ☛ Opbevaring af ammoniak

Gode råd og mere viden

En lille forbindelse med store muligheder

Som introduktion til den kemiske forbindelse ammoniak kan undervisningen indledes med nogle hverdagsksempler, der sætter lugt og smag på ammoniak. Start eksempelvis med at forklare, at ammoniak har en stikkende, ubehagelig lugt. Eleverne kender den måske fra tredobbelt salmiakspiritus. Spørg eventuelt også, om nogen ved, hvordan en nyligt gødet mark lugter. Ammoniak kan lugtes, når det fordamper fra gylle spredt ud som gødning. Fortæl så eleverne, at det samme molekyle bruges til at fremstille salmiaksmag i lakrids. Salmiak har det kemiske navn ammoniumchlorid (NH_4Cl) og fremstilles fra ammoniak og saltsyre:



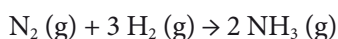
Fortsæt undervisningen med at fortælle, at ammoniak også kan bruges som brændstof. Dette er en god anledning til at forklare, at en forbrænding altid sker ved brug af oxygen. Eleverne vil muligvis tænke, at en forbrænding har noget med CO_2 -udledning at gøre. Forbrænding af ammoniak er derfor samtidig et godt eksempel på, at dette ikke altid er sandt. Hvis brændstoffet er carbonfrit, dannes der ingen CO_2 . Det samme gælder, hvis man først spaltes ammoniak og derefter forbrænder hydrogen, der danner vand som det eneste spildprodukt. Se afsnittet 'Hydrogen som brændstof' i kapitel 3 for mere information om hydrogen og brændselsceller.

Mad til dobbelt så mange

Indførelsen af kunstgødning siden starten af 1900-tallet har haft en enorm betydning for landbrugsproduktionen. I dag bruges kunstgødning ifølge FN's landbrugsorganisation FAO til at producere næsten halvdelen af den mad, der dyrkes på Jorden i dag. Kunstgødning spiller dog langt fra den samme rolle overalt i verden. I Danmark bruger vi for eksempel over 200 kg kunstgødning om året per person, mens gennemsnittet for hele verdens befolkning er omkring 22 kg. Det er primært for at dyrke foder til grise og køer, at vi i Danmark bruger så meget gødning. Vi er det suverænt mest kødspisende folkefærd i verden og indtager langt mere protein, end vi behøver. Derimod er lande som Kina, Egypten og Indonesien dybt afhængige af kunstgødning bare for at kunne dyrke nok basale fødevarer som ris og korn.

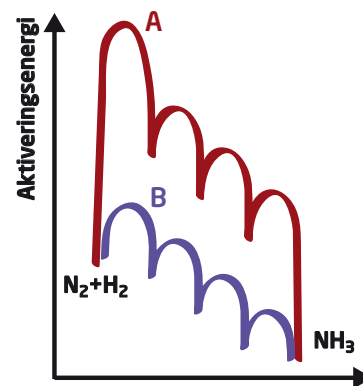
Katte sætter skub i reaktionerne

Ammoniak produceres af nitrogen (N_2) fra luften og af hydrogen (H_2) fremstillet fra naturgas. Kun i lande med billig elektricitet bliver hydrogen fremstillet i større mængder ved elektrolyse af vand. Processen til at fremstille ammoniak er kendt som Haber-Bosch-processen, opkaldt efter dens tyske opfindere Fritz Haber (1868-1934) og Carl Bosch (1874-1940):



Fremstillingen af ammoniak kræver høje temperaturer (400-550 °C)

og tryk (100-150 atm) for at forløbe effektivt. De høje temperaturer er nødvendige for at få nitrogen og hydrogen til at reagere hurtigt nok. Reaktionen sker i en række trin, som alle har reaktionsbarrierer, der skal overvindes. Den højeste reaktionsbarriere findes i den første del af reaktionen, hvor den stærke tripelbinding i nitrogenmolekylet skal brydes. Katalysatoren hjælper reaktionen i gang ved at sænke barriererne. Katalysatoren er dog ikke god nok til, at reaktionen forløber effektivt ved lav temperatur. Ulempen ved at øge temperaturen er imidlertid, at ligevægten for reaktionen forskydes mod venstre, det vil sige, der dannes mindre ammoniak. Derfor skal processen også foregå under højt tryk. Når trykket øges, forskydes ligevægten af reaktionen mod højre (dannelsen af NH_3), da der er færre gasmolekyler på den side af reaktionen.



Ammoniaksyntesen har en række reaktionsbarrierer. A: Aktiveringsenergi for at overkomme reaktionsbarriererne uden katalysator. B: Aktiveringsenergi med katalysator.

Alt i alt står ammoniakfremstillingen for over 1 % af verdens energifor-

brug, når der tages højde for forbruget af methan og de energikrævende processer, der skal til for at danne både hydrogen og ammoniak. Det er endda, selvom det er lykkedes at halvere energiforbruget gennem de seneste 50 år. I dag er effektiviteten af Haber-Bosch-processen meget tæt på den teoretisk øvre grænse, og ingeniørerne forventer ikke at kunne reducere energiforbruget yderligere.

Fabrikker, der kører på sol og vind

Den skæve fordeling af kunstgødning mellem udviklingslande og industrialiserede lande skyldes blandt andet de høje omkostninger forbundet ved at anlægge og drive ammoniakfabrikker. På grund af de høje temperaturer og tryk kan det ikke betale sig at bygge små anlæg. I stedet samles produktionen på enorme fabrikker, der koster omkring en milliard dollars at bygge. Det gør det svært for fattige lande selv at producere kunstgødningen. I stedet må de importere dyr gødning.

Forskningen i CASE stiler mod at udvikle en metode til at omdanne vedvarende energi til kemisk energi i ammoniak ved lavere temperaturer og tryk (læs mere i afsnittet 'Ammoniak som grønt brændstof'). Målet er at kunne gemme vedvarende energi, men forskningen kan som sidegevinst også betyde billigere anlæg til produktion af kunstgødning. Det er nemlig essentielt for omdannelsen af vind- eller solenergi til kemisk energi, at produktionen foregår på mindre anlæg, der hurtigt kan tilpasse sig den konstant varierende mængde af sol og vind.

Det livsnødvendige nitrogen Nitrogens kredsløb

Den største udfordring for eleverne i disse to afsnit er nok at forstå, at planterne kun har begrænsede mængder nitrogen til rådighed, selvom 78 % af vores atmosfære består af nitrogen. Faktisk befinder hele 99 % af verdens nitrogen sig i luften, mens kun 1 % er bundet til andre grundstoffer som carbon, hydrogen og oxygen. Det kan være en hjælp for eleverne at genopfriske, at nitrogen (N_2) er bundet i en stærk tripelbinding. Ved at reflektere over hvor meget energi det kræver at bryde tripelbindingen i Haber-Bosch-processen, kan eleverne lettere forholde sig til, hvorfor mennesker og planter ikke selv kan udnytte nitrogen.

Nitrogen indgår i alle levende organismer i form af livsvigtige molekyler som proteiner og DNA. Nitrogen udskilles gennem urinen som urinstof, der er et produkt af nedbrydningen af aminosyrer i leveren. Jordbakterier nedbryder urinstof og andet dødt organisk materiale til ammoniak, som bliver omdannet til ammonium (NH_4^+). Processen kaldes ammonifikation. Herfra omdanner andre jordbakterier ammonium til nitrit (NO_2^-) og derefter til nitrat (NO_3^-). Den samlede reaktion fra ammonium til nitrat kaldes nitrifikation. For enkelthedsens skyld er de to delprocesser slået sammen i elevbogens afsnit. Ligeledes er nitrogens kredsløb gennem hav og vand udeladt, men den minder om cyklussen i jorden. De specifikke organismer er forskellige, men processerne er stort set de samme.

Nitrogenfiksering er en af naturens forunderlige mekanismer, som CASE-forskerne stræber efter at efterligne. Her bliver frit nitrogen reduceret til ammoniak under almindelige, atmosfæriske forhold af bakterieenzymet nitrogenase. Da enzymet kræver oxygenfrie betingelser, er bakterierne ofte anaerobe. Af samme årsag udvikler nogle planter rodknolde for at skabe ideelle, næsten oxygenfrie vækstforhold for de nitrogenfikserende bakterier.

Ud over nitrogenfiksering bliver atmosfærisk nitrogen ført ned i jorden ved tordenvejr. Lyn spalter frie nitrogen- og oxygenmolekyler til atomer, der efterfølgende danner nitrogenoxider (NO_x). Disse føres med regnvand ned i jorden som salpetersyre (HNO_3), hvor de reagerer med jordens mineraler og danner nitrat. Lynnedslag er et godt, pædagogisk eksempel på, hvor stærke kræfter naturen bruger til at bryde bindingen i nitrogenmolekylet. Et lyn udvikler ca. 2.500 kWh, hvilket svarer til den mængde energi, som en gennemsnitlig dansk familie bruger på et halvt år.

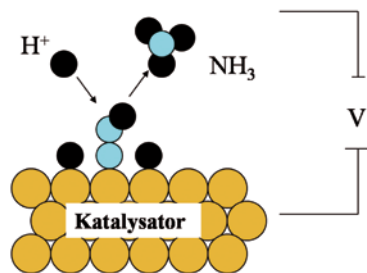
Når miljøet får nok af gødning

Gødning er tilførsel af næringsstoffer, særligt nitrogen, som ofte er den begrænsende faktor for planternes vækst. Men næringsstoffer kan sprede sig til grundvand og følsomme naturområder via udvaskning i jorden, udledning til vandmiljøet og fordampning til luften. Der er især de negativt ladede ioner som nitrat (NO_3^-) og sulfat (SO_4^{2-}), der udvaskes, fordi de ikke kan binde sig til jordens partikler, der også er negativt ladede.

Gødning skaber ikke kun problemer i forbindelse med udvaskning, men også via fordampning. Nitrogen fordamper til atmosfæren i form af ammoniak. Fordampningen sker især fra gylle i gødningslagre eller ved udbringning af gødningen. I Danmark fordamper der omkring 70.000 ton ammoniak hvert år. Dampene afsættes på jorden igen både i Danmark og i nabolandene og belaster miljøet med forøgede næringsstoffer. Der er dog eksempler på nytænkning inden for landbruget som fremhævet i elevbogen med historien om Pig-City. Læs om projektet på www.pig-city.dk og om andre nytænkende landbrugsprojekter på www.fremtidsgaarde.dk.

Ammoniak som grønt brændstof

Muligheden for at bruge ammoniak som miljøvenligt brændstof og kemisk energilager er i dag begrænset af fremstillingsmetoden. Da ammoniakfabrikkerne kræver høje temperaturer og tryk, er de afhængige af en stabil og konstant energiforsyning i form af fossile brændstoffer. Et skift til vedvarende energikilder kræver fabrikker, der kan slukkes og tændes, når energien er til rådighed. Derfor skal der udvikles en mindre krævede fremstillingsmetode med nye katalysatorer. Katalysatorer til ammoniakfremstilling er i dag udviklet til at binde hydrogen på gasform, men ved brug af en elektrisk energikilde (solceller eller vindmøller) får katalysatorerne i stedet tilført hydrogenioner og elektroner. Denne elektrokemiske virkningsmekanisme minder om naturens egen nitrogenfiksering ved hjælp af nitrogenaser. De udfører en reaktion, hvor nitrogenmolekylet



Associativ reaktion hvor hydrogenatomer (sort) trinvis binder sig til nitrogen.

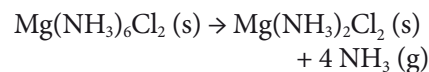
gradvist reduceres, hvilket svækker den stærke tripelbinding i nitrogen. Det kaldes en associativ reaktion. Haber-Bosch-processen er derimod en såkaldt dissociativ reaktion, hvor tripelbindingen brydes, før hydrogenatomerne binder sig til de frie nitrogenatomer.

I jagten på katalysatorer til den elektrokemiske reaktion har CASE-forskerne undersøgt flere rene metaller. De har dog den ulempe, at de udvikler frit hydrogen i stedet for at reducere nitrogen til ammoniak. Derfor har forskernes fokus rettet sig mod forbindelser af nitrogen og metal, såkaldte metalnitrider, der muligvis kan nedsætte reaktionsbarrieren for ammoniakudviklingen.

Ammoniak på pilleform

Som fremhævet i dette afsnit i elevbogen bliver der også forsket i at indfange og opbevare ammoniak for eksempel i saltet magnesiumchlorid. For at indfange ammoniak kan saltet placeres i et lag over katalysatoren. Det har samtidig den fordel, at saltet driver den katalytiske reaktion mod øget ammoniakdannelse, fordi det binder ammoniak og skubber ligevægten mod højre. Desværre binder saltet faktisk ammoniak lidt for effek-

tivt. De fire første ud af de i alt seks molekyler ammoniak, hvert MgCl_2 binder, frigives igen ved opvarmning til ca. 130°C :



Men det femte og sjette molekyle kræver henholdsvis 100 og 200°C yderligere for at blive frigivet. Det nedsætter voldsomt det overordnede udbytte ved at bruge magnesiumchlorid som energilager. Sammen med udviklingen af nye elektrokemiske katalysatorer er dette en af de store udfordringer, forskerne forsøger at løse. Læs mere på www.case.dtu.dk.

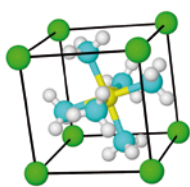
Endelig kan ammoniak bruges til at rense udstødningsgasser fra dieselmotorer for nitrogenoxider (NO_x). Dette gøres ved at føre udstødningen hen over en katalysator. Det danske firma Amminex, der udvikler systemer til at dosere ammoniakken til udstødningsgassen, anvender ligeledes salte til at opbevare ammoniak. Læs mere på www.amminex.net.

Nitrogenoxider og svoldioxid fra især biler og kraftværker er et miljømæssigt problem, da forbindelserne reagerer med vand i atmosfæren og danner syreregn. Regnen skader blandt andet bygninger, træer og fiskebestande. Syreregn er karakteriseret som regnvand med pH under 4,5, og i Nordeuropa er der målt syreregn med en pH-værdi helt ned til 2,4. Det er lige så surt som saften i en citron. Takket være rensning af røgen fra kraftvarmeværker og katalysatorer i bilerne er udledningen af de problematiske forbindelser væsentligt ned-

sat. Siden 1980 er udslippet af svovldioxid i Danmark reduceret med 93 %, mens udslippet af nitrogenoxider er reduceret med 32 %.

Klasseopgaven

Opgaven består af målinger og beregninger af ammoniakmolekylerne rumfang og efterligner en teoretikers arbejde med modeller og computerberegninger. Eleverne kommer frem til, at ammoniakmolekyler bundet i magnesiumchlorid optager et langt større rumfang end forventet, fordi alle molekylerne i en enhed binder sig til samme magnesiumatom. Af samme årsag udvider magnesium-



Magnesiumchlorid.

Her ses en enhed af saltet, som består af chlor (grøn) og magnesium (gul) med seks bundne ammoniakmolekyler (turkis og hvid).

chlorid sig, når det binder ammoniak. Egentlig er det kun hver anden enhed i saltet, der binder ammoniak, men det er ikke nødvendigt at tage højde for dette i opgaven.

Gennemfør for eksempel opgaven ved at give elevgrupperne 10-15 minutter til deres målinger og beregninger for oplysning 1. Saml derefter resultaterne på tavlen, og begynd næste runde med oplysning 2. Afslut eventuelt opgaven med at spørge eleverne, hvad de tror, der sker med saltgitteret, når ammoniakken bliver frigivet igen. Det logiske svar er, at gitteret trækker sig sammen, og det er også sandt, men samtidig opstår der sprækker og revner i saltkrystalen. Derfor fylder det tomme (brugte) salt lige så meget som det fyldte, selvom det naturligvis vejer mindre.

Målinger og beregninger kan se ud på følgende måde:

1.A: På side 101 i elevbogen kan eleverne læse, at en enhed MgCl_2 kan binde seks molekyler ammoniak.

1.B: Seks ammoniakmolekyler tæt pakket i et 500 ml bægerglas fylder ca. 380 ml.

2.A: Har I ikke nitrogenkugler med fire huller, kan I benytte carbonkugler i stedet. Vinklen mellem atomerne vil dog være lidt forkert.

2.B: Når eleverne holder molekylerne som anvist, kan de ikke længere være i et 500 ml bægerglas.

2.C: En måling med lineal giver et rumfang på 2.000-3.000 cm^3 (for eksempel 13 cm · 13 cm · 15 cm).

3.A: Rumfanget af $\text{Mg}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_2$ på 330 Å^3 svarer til 5.280 cm^3 i elevernes målestoksforhold ($330 \text{ Å}^3 \cdot 16 \text{ cm}^3/\text{Å}^3$).

4.A: Rumfanget af MgCl_2 på 68 Å^3 svarer til 1.088 cm^3 i elevernes målestoksforhold ($68 \text{ Å}^3 \cdot 16 \text{ cm}^3/\text{Å}^3$).

4.B: Saltstrukturen udvider sig altså, når magnesiumatomet binder ammoniak.

Svar på opgaver

? 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.

Svar: NPK-gødning indeholder de tre hovednæringsstoffer nitrogen (N), phosphor (P) og kalium (K). Blandingsforholdene varierer fra produkt til produkt, men hvis I samler klassens resultater på tavlen, vil I se, at der ofte er mest nitrogen og kalium i blandingerne og mindst phosphor. Nitrogen bruges blandt andet til at danne aminosyrer, DNA og det

grønne farvestof klorofyl. Mangel på nitrogen medfører derfor gule blade. Phosphor bruges også i DNA og til at danne de energibærende forbindelser ATP og ADP. Kalium har blandt andet en afgørende betydning for spalteåbningerne i bladene, det vil sige de åbninger, hvorigennem planten optager CO_2 , udskiller oxygen og regulerer vandfordampning.

? Afstem reaktionen for fotosyntesen. Hvilken energiform udnytter planterne i fotosyntesen?

Svar: Den afstemte reaktion er: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$.

I fotosyntesen udnytter planterne solenergi, som de omdanner til kemisk energi i sukkerstoffet glucose. Opgaven kan udvides til også at opskrive og gennemgå formelen for respiration.

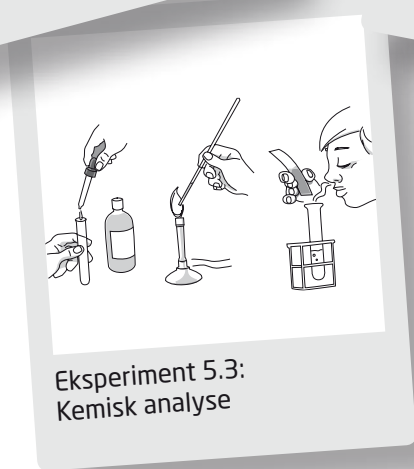
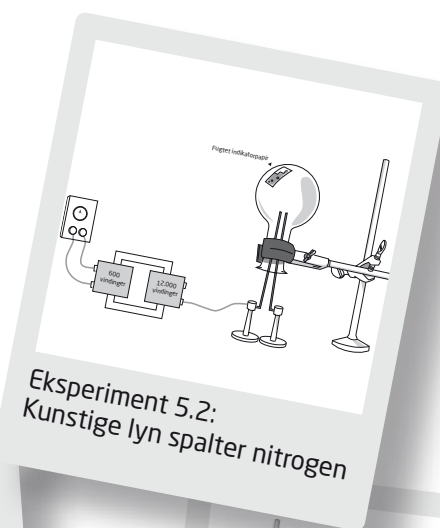
? Beskriv med dine egne ord, hvordan en katalysator virker.

Svar: Nøglesætninger kan være: Får en kemisk reaktion til at forløbe hurtigere, får en kemisk reaktion til at bruge mindre energi, forbruges ikke selv i reaktionen eller binder molekyler til sin overflade.

Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

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



Register

- A**
 Aktiveringsenergi 14
 Alger 30
 Alkohol 31
 Ammoniak 34, 37
 Ammonifikation 36
 Ammoniumchlorid 35
 Atmosfæren 17
- B**
 Biobrændstoffer 29
 Biodiesel 30
 Bioethanol 30
 Biomasse 29
 Bioplastik 31
 Brintsamfund 24
 Brændselscelle 24
 Bølgelængde 23
- C**
 Carbondioxid 17
 Carbonkæder 18
 Carbons kredsløb 17
 Carotenoider 24
 CASE 3, 13
 Cellulose 29
 CO₂-koncentration 17
 CO₂-lager 19
 CO₂-neutral 18, 29
- D**
 Dimethylether, DME 30
 Drivhuseffekt 13, 17
 Drivhusgasser 17
- E**
 Effektforbrug 13
 Elektrolyse 24
 Elektromagnetiske bølger 23
 Energibærere 23
 Energidensitet 13
 Energiforbrug 13
 Enzym 30
 Ethanol 29
- F**
 Forgasning 31
 Fossile brændstoffer 13
 Fotokatalyse 25
 Foton 23
 Fotosyntese 24
 Frekvens 23
- G**
 Global opvarmning 13, 17
 Glucose 30
 Gylle 35
 Gæring 30
- H**
 Haber-Bosch-processen 35
 Havstigning 13
 Hydrogen som brændstof 24
 Hypotese 14
- I**
 Infrarød stråling 23
 Ioniske væsker 31
- J**
 Jordvarme 13
- K**
 Katalysator 14
 Klimaforandringer 13
 Klorofyl 24
 Kloroplastre 24
 Kunstgødning 35
- M**
 Magnesiumchlorid 37
 Methan 18
 Methanol 18
 Methylestre 30
 Miljøvenlig plastik 31
 Mælkesyre 32
- N**
 Nikkel 14
 Nitrat 36
 Nitrifikation 36
 Nitrit 36
 Nitrogenase 36
 Nitrogenfiksering 36
 Nitrogenoxider 36
 Nitrogens kredsløb 36
 Næringsstoffer 36
- P**
 Plastik 31
 Platin 14, 25
- R**
 Respiration 17
- S**
 Salmiak 35
 Silicium 14, 23
 Solcelle 23
 Solenergi 12, 23
 Solfanger 23
 Solstråling 23
 Stivelse 29
 Synligt lys 23
 Syntesegas 31
 Syreregn 37
- T**
 Tripelbinding 35
- U**
 Udvaskning 36
 Ultraviolet (UV) stråling 23
 Urinstof 36
- V**
 Vandkraft 13
 Vedvarende energi 13
 Vindenergi 13
- Z**
 Zeolit 32

Billedkilder

Hvor intet andet er anført, er illustrationer udført af illustratør Martin Ørsted Rasmussen.

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

Indholdsfortegnelse: Dreamstime (baggrund).

Side 5: Esben Peter Friis, Novozymes A/S (enzym), portræt og redigering af Lisbeth Holten.

Side 7: Colourbox.

Side 12: iStock, Dreamstime (kulmine), redigeret af Lisbeth Holten.

Side 13: Wikimedia Commons.

Side 14: Shane Murphy og Christian E. Strebel, DTU Fysik.

Side 17: NOAA Earth System Research Laboratory (atmosfærisk CO₂), Wikimedia Commons (cyklus), Andreas Poulsen (diagram).

Side 19: Airi Iliste, Energiboken, IVA.

Side 22: iStock, redigeret af Lisbeth Holten.

Side 24: University of Illinois at Chicago.

Side 25: Anne Hansen.

Side 28: Lisbeth Holten.

Side 30: Colourbox (sukkerroe).

Side 31: Colourbox.

Side 34: Anne Hansen, redigeret af Lisbeth Holten.

Side 35: Andreas Poulsen.

Side 37: Efter Egill Skulasons ph.d.-afhandling, 2009.

Side 38: Af Steen Lysgaard, efter Jens Strabo Hummelshøj, Stanford University.

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.

