

Verdens bedste



energikilde

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

Der er sol nok til alle

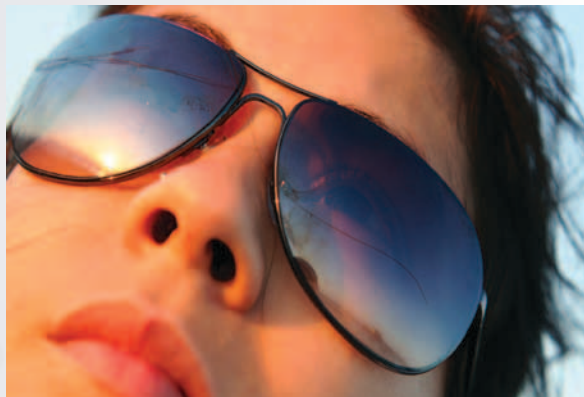
Vi bruger mere og mere energi,
men hvor skal den komme
fra i fremtiden?

Svaret hænger lige
over vores hoveder.



Et kig ind i Solens stråler: 50

Hvor sidder energien?



Naturens 3 milliarder år gamle opskrift på brændstof 54



En lille landsby tænker stort: 58

'Nul CO₂ fra vores skorstene'



Hvad sker der i dette kapitel?

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



Det svære mål:

Solenergi til brændstof

59



Indhold – Kapitel 3

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

Forskerens udfordring:

Peter som plakatmester

62



I Spanien gemmer de solenergi i salt

53



Sol til alle

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



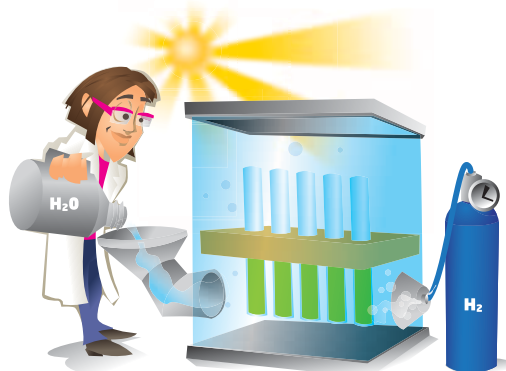
Tænk hvis bilos og skorstensrøg kun bestod af rent vand. I dag er begge dele fyldt med CO₂ og andre skadelige gasser samt partikler. De opstår, når vi forbrænder *fossile brændstoffer* som kul, olie og naturgas. Derfor har vi brug for at erstatte de fossile brændstoffer med en ny og ren energikilde.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

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

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

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

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



Grundstoffer i dette kapitel:

C Carbon (dansk: kulstof)

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

H Hydrogen (dansk: brint)

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

O Oxygen (dansk: ilt)

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

Pt Platin

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

Si Silicium

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

Kemiske forbindelser i dette kapitel:

$C_6H_{12}O_6$ Glucose

er et sukkerstof og kroppens vigtigste brændstof.

CO_2 Carbondioxid

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



Når du møder dette symbol, skifter energi form.

Ordliste

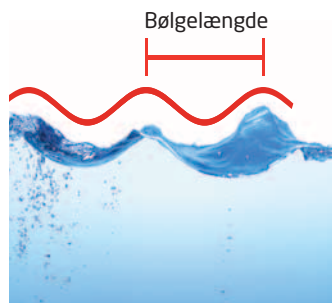
Ord i *kursiv* er forklaret i ordlisten bagerst i bogen.



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



Hvad rummer Solens stråler



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

FAKTA

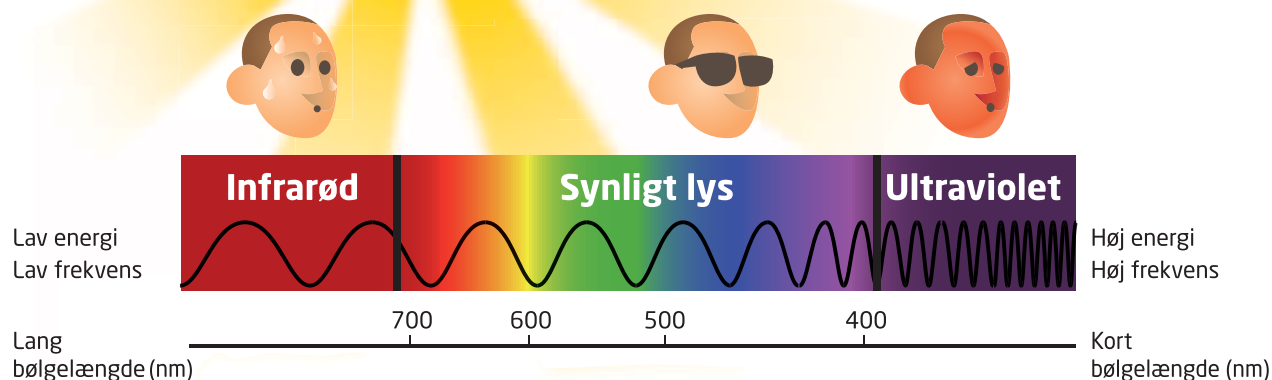
Frekvens er antallet af bølgetoppe per sekund og måles i hertz. Hvis der for eksempel kommer tre bølgetoppe forbi per sekund, er frekvensen 3 hertz.

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

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

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

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



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

Solenergi i bruseren og stikkontakten

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

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

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

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

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

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



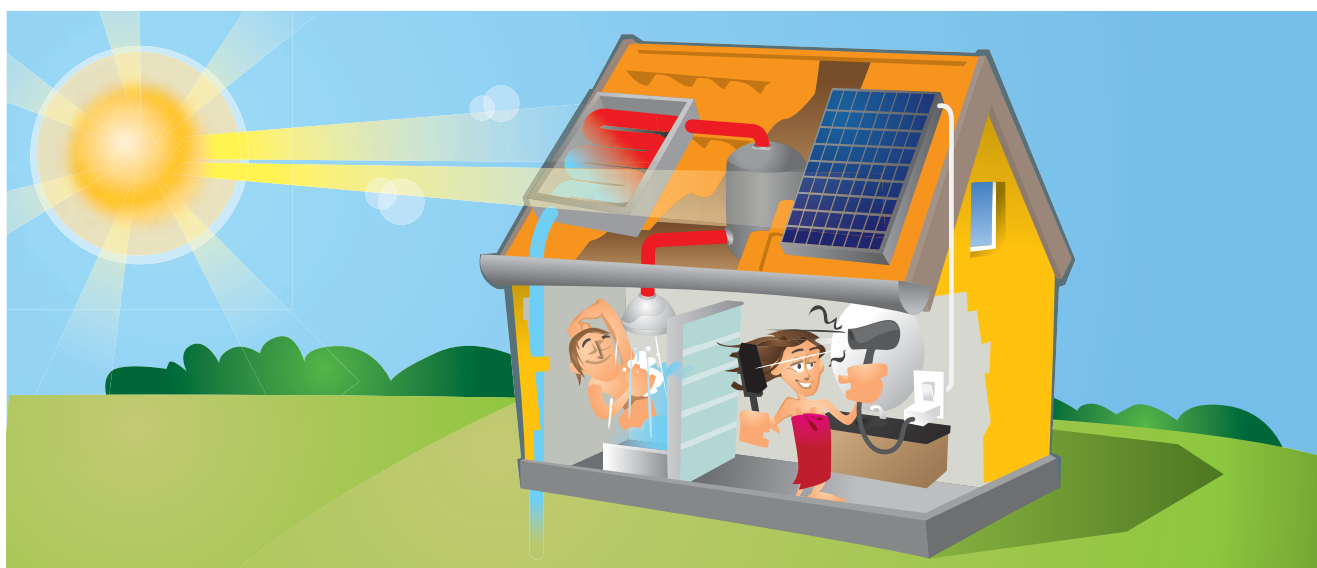
Undersøg, hvordan vandet i dit hus bliver varmet op.



Solfangere omdanner solenergi til varme i vandrør.



Solceller omdanner solenergi til elektrisk energi.



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



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

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

Diskuter i klassen, om det er fornuftigt:

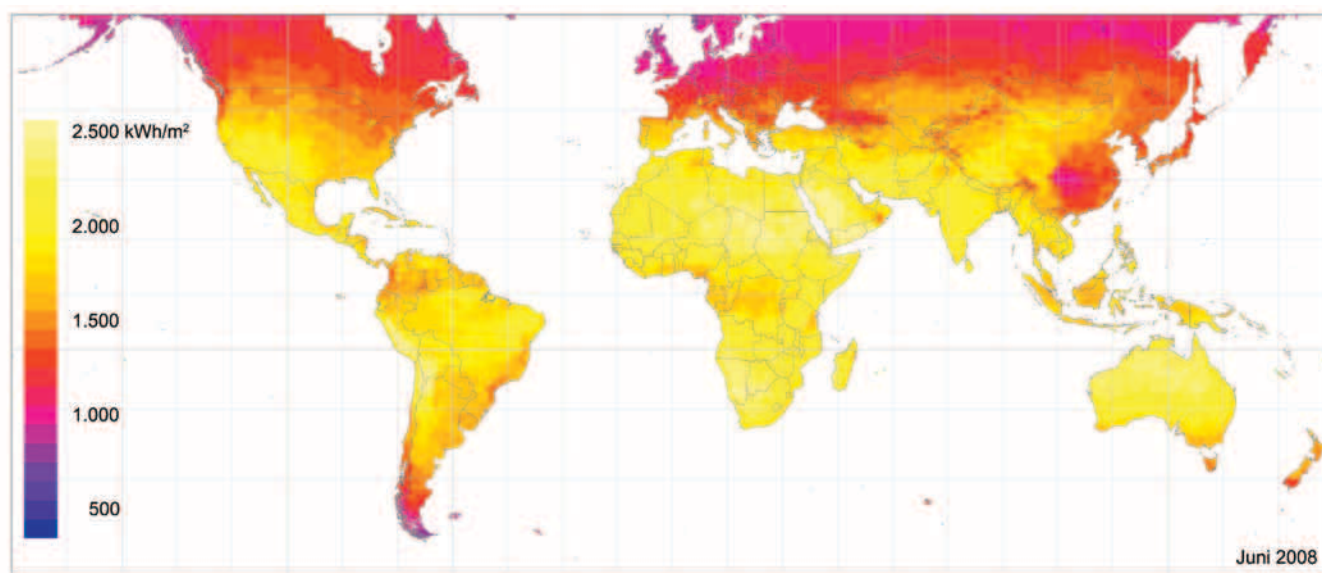
- at rydde skov for at bygge store solanlæg
- at opstille solceller i fjerntliggende områder
- at importere strøm fra solceller opstillet i områder med politisk uro.

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

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

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

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



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

Hvordan gemmer vi Solen til natten?

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

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

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

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



Lithiumbatteri: 0,8 MJ/kg



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



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



FAKTA

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

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

Varmt salt gemmer sydens sol

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

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

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

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

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

Planternes opskrift på brændstof

FAKTA

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

Hvad hedder den modsatte reaktion af fotosyntesen?

Tip: Se side 29



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

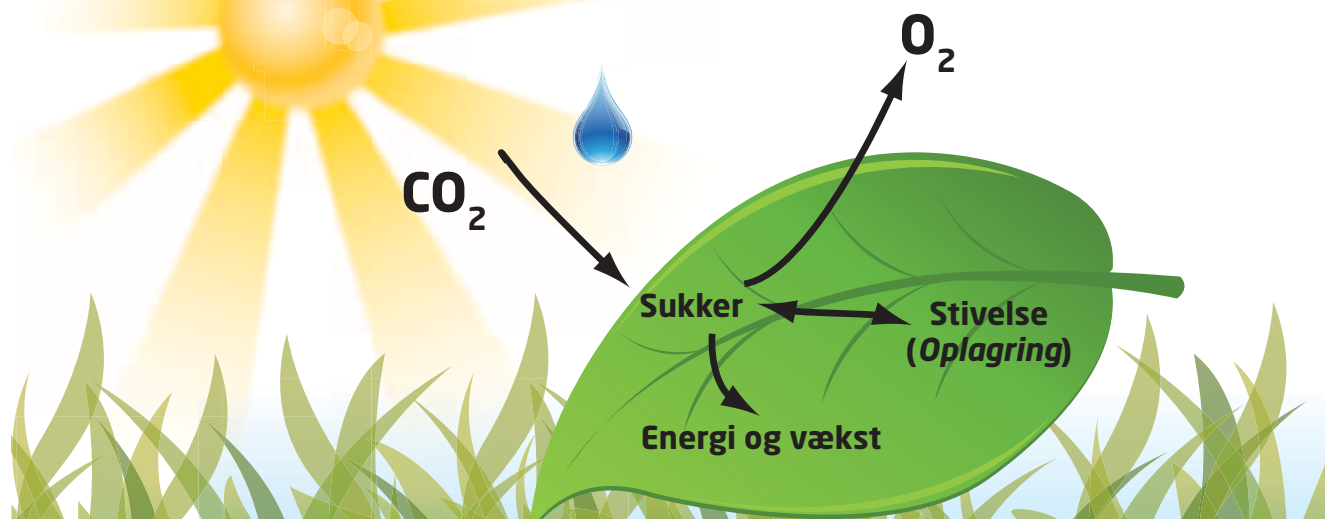
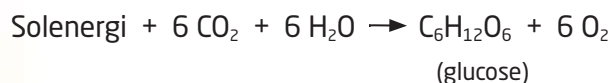
I mere end tre milliarder år har naturen brugt energi fra Solen til at lave brændstof. I *fotosyntesen* bryder og danner planterne *kemiske bindinger* og omdanner derved Solens energi til kemisk energi. Ved at studere planternes geniale opskrift på brændstof kan vi lære, hvordan vi gør Solen til vores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

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

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



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



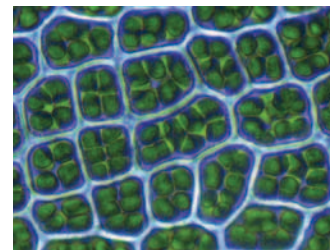
Fotosyntesen er en genistreg i planteverdenen og en forudsætning for alt liv på Jorden, men den er faktisk ikke særlig effektiv. Tal fra FN's landbrugsorganisation FAO viser, at planterne kun omdanner 3-5 % af Solens energi til kemisk energi. Den lave effektivitet skyldes blandt andet, at planternes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

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

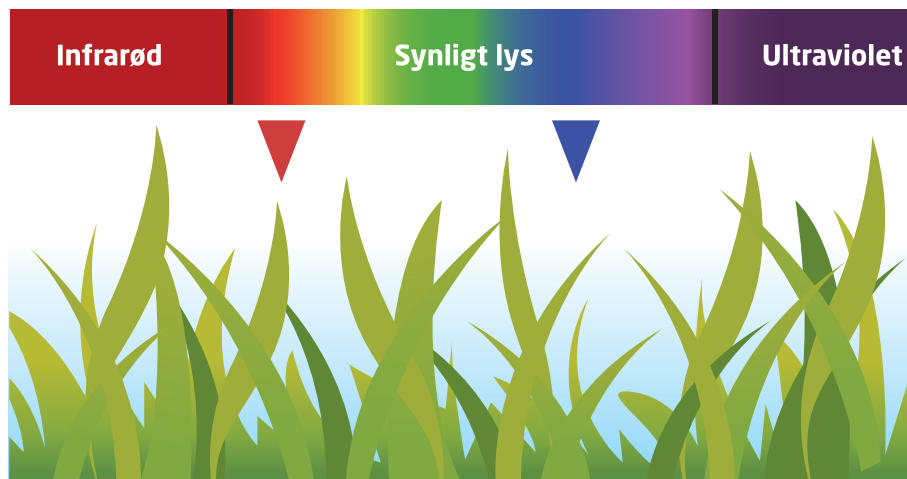
verdens samlede energiforbrug. Det kunstige fotosystem ville kun fylde 0,16 % af Jordens overflade og kunne i modsætning til planterne stå i Jordens tørre og solrige ørkener. Deres areal overstiger tilsammen det område, som det kunstige fotosystem ville fylde, så der er rigeligt plads.

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

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



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



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

FAKTA

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

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



Hydrogen som brændstof

FAKTA

Biler, der kører på hydrogen, kaldes for brintbiler.



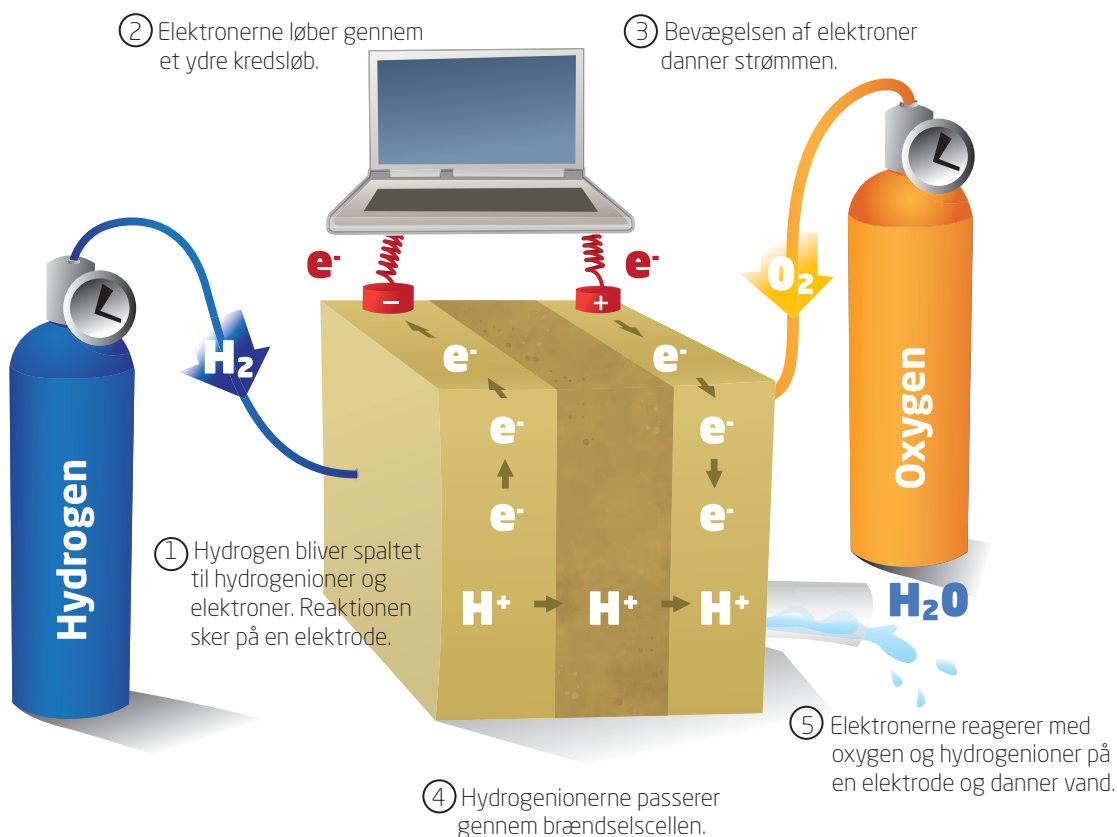
I brændselsceller omdannes kemisk energi i hydrogen til elektrisk energi.

Selvom forskerne vil efterligne planternes fotosyntese og lave brændstof, er de ikke ude efter sukker. Det er nemlig en kompliceret kemisk forbindelse, som er svært at lave. Desuden ville sukkeret blive til en værre omgang karamelsnask i de varme bilmotorer. Derfor er forskerne i stedet for interesseret i at fremstille hydrogen (H_2). Det er det simpleste brændstof, der findes, og indeholder en masse kemisk energi. Her vil vi først se på, hvordan hydrogen fungerer som et brændstof, mens næste afsnit handler om, hvordan hydrogen bliver fremstillet.

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



Strømmen bliver lavet fra hydrogen og oxygen, og det eneste restprodukt er vand – ingen CO_2 . (Ex. 3.3)



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

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

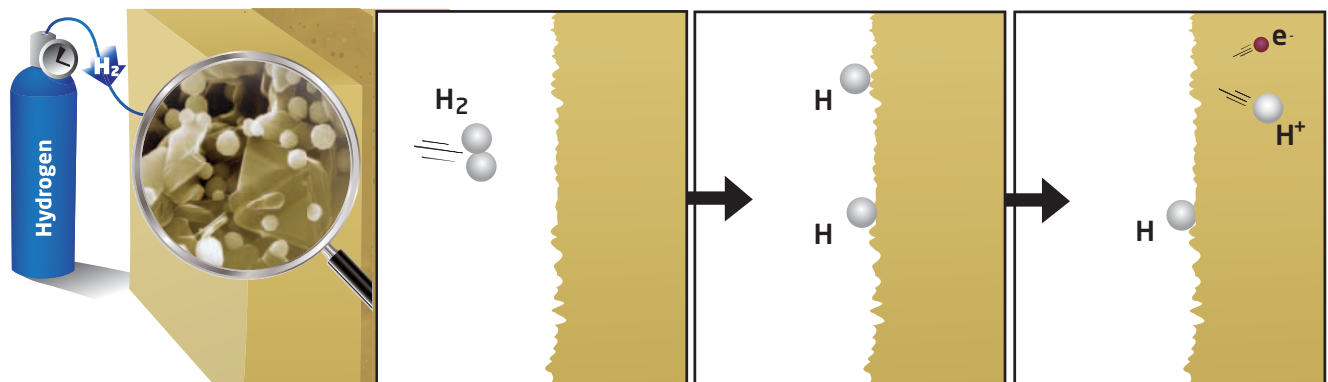
På *elektroderne* i brændselscellen findes der et lag af *katalysatorer*, der i forskerslang kaldes for 'katté'. Det er materialer, som hæver virkningsgraden ved at hjælpe den kemiske reaktion til at forløbe hurtigere og lettere.



En katalysator virker ved at binde forskellige molekyler til sin overflade. I stedet for at molekylerne farer frit rundt i luften, holder katalysatoren dem fast, og på den måde kan molekylerne nemmere og hurtigere reagere med hinanden og danne nye kemiske bindinger.

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

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



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

FAKTA

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

Hvad er symbolet for effekt, og hvad er enheden?

Tip: Se kapitel 1



FAKTA

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

Hvor mange brintbiler kan vi så producere om året?



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



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

Kan du forklare, hvad forskellen er?

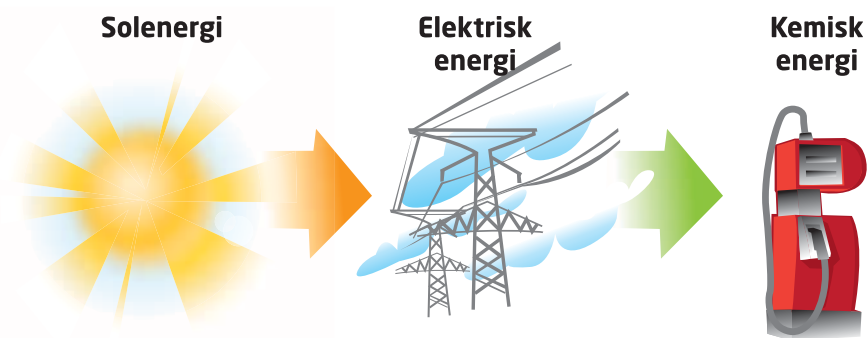
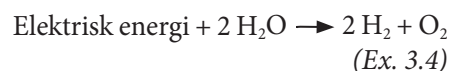
En dyr omvej til hydrogen

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

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

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

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



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

Danmark i front: Verdens første brintlandsby

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

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



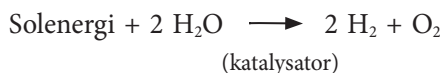
Den direkte vej til hydrogen

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

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

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

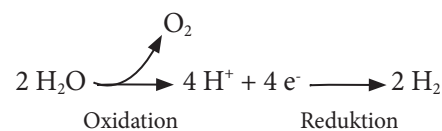
vand. I denne fotokatalytiske reaktion bliver vandmolekyler spaltet til oxygen og hydrogen.



Reaktionen består af to dele:

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

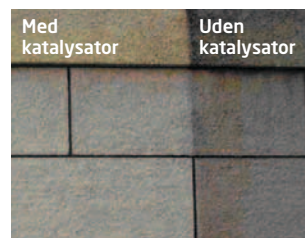
Den første reaktion, hvor der dannes oxygen, kaldes en *oxidation*. Ved en oxidation bliver der altid afgivet elektroner. Den anden reaktion, hvor hydrogen dannes, kaldes en *reduktion*. Ved reduktioner bliver elektroner modtaget. Tilsammen kaldes de en *redox-reaktion*.



FAKTA

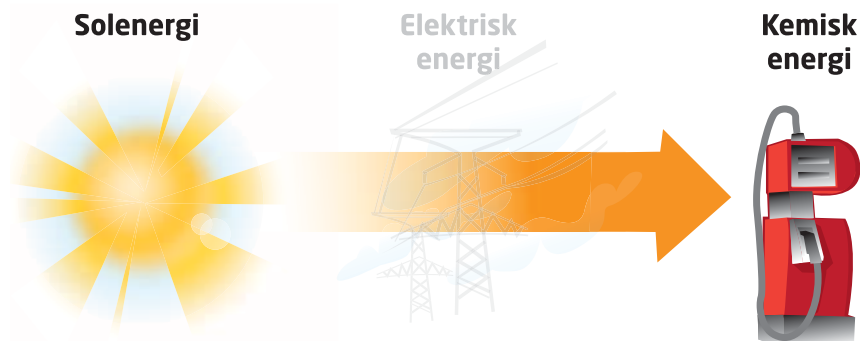
En fotokatalysator bruger Solens energi til at få en reaktion til at forløbe hurtigt og effektivt.

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



FAKTA

REDuktion + OXidation = redox-reaktion



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



FAKTA

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

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

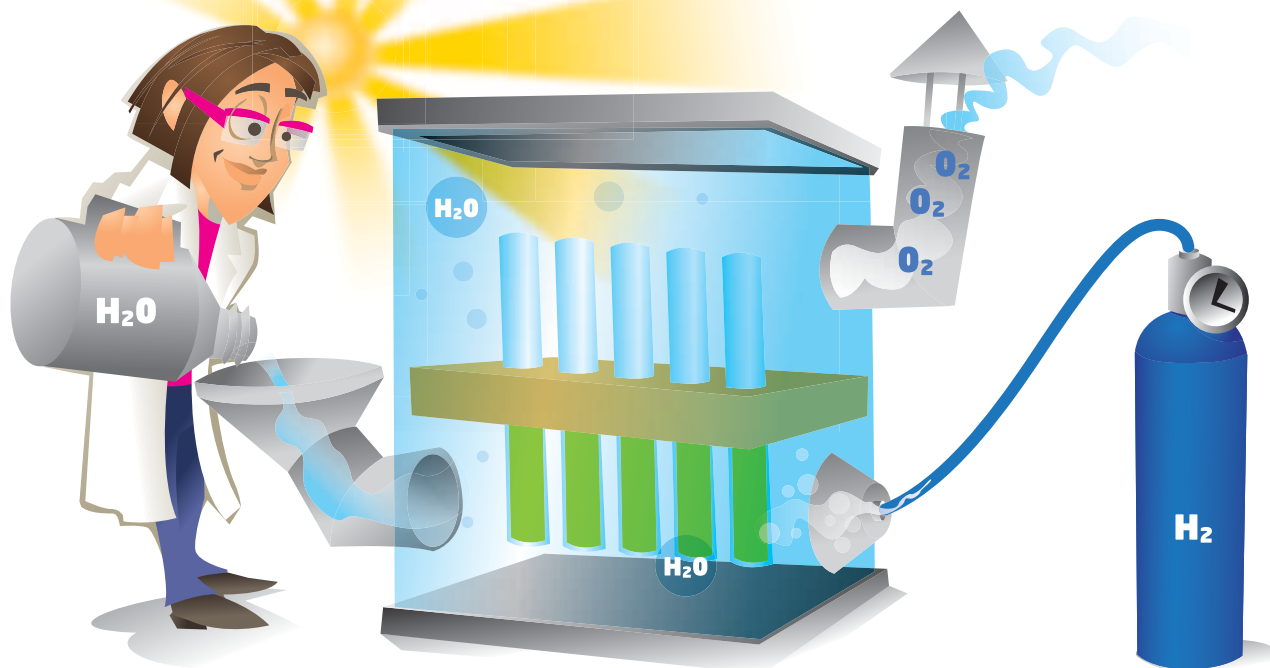
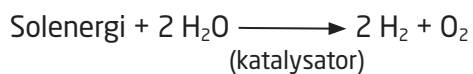


I alt skal fire elektroner altså skifte plads for at gennemføre en fuld redox-reaktion af vand til oxygen og hydrogen.

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

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

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



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



Se også filmen
'Verdens bedste
energikilde'.

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

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

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

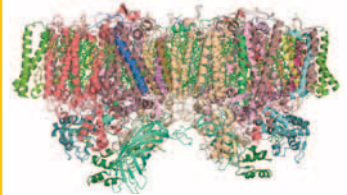
for planterne at spalte vand. Selvom enzymerne er blevet perfektioneret i naturen gennem milliarder af år, er de dog ikke skabt til fabrikker. Derfor er enzymer desværre for skrøbelige til at bruge i fotosystemet. De kan dog lede forskerne i CASE på sporet af, hvilke grundstoffer der kan bruges til at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

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

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

FAKTA

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



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

Knaldgas. Eksplosiv blanding af hydrogen og oxygen.



Forskerens udfordring: Plakatmester eller bænkevarmer

Peter fortæller:

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

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

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

I flyet mærker Peter den første snert

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



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

ne solenergi til kemisk energi som hydrogen.

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

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

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

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

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

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

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

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

Kan du arbejde som forsker?

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

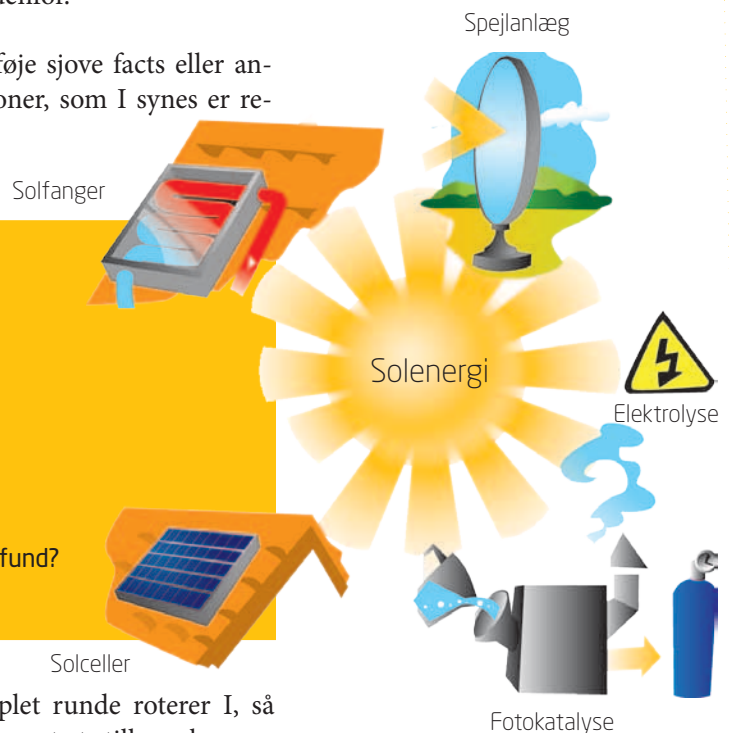
A3-størrelse med de figurer og tegninger, I har fundet. Skriv desuden en forklarende tekst på posteren for hvert af punkterne nedenfor.

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

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

Forklar med jeres egne ord

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



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

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

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

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

Tre udfordringer ved solenergi

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

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

De største udfordringer ved at bruge solenergi er at

- opfange mest mulig energi

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

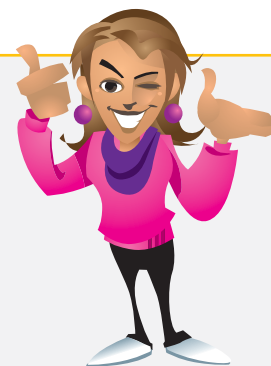
De tre udfordringer skal løses så billigt og effektivt som muligt, og der er desværre et stykke vej endnu, før Solen bliver vores vigtigste energikilde. Til gengæld er belønningen stor, hvis det lykkes. Med et samfund baseret på solenergi kan vi løse to af verdens største problemer: CO₂-udledning og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

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



Det ved du nu

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



Test dig selv

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

