

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):

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

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).

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/m^2 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 energi-forbrug.

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-

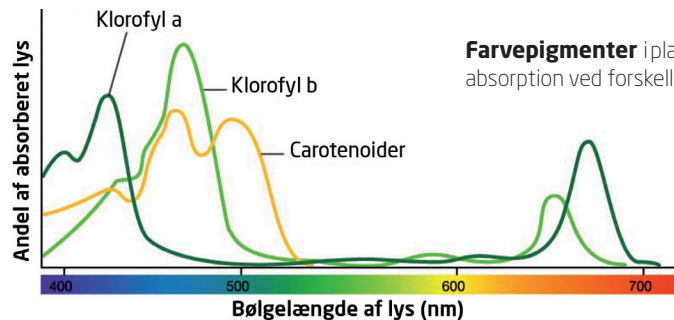
den, kan vi ikke skabe en stabil og rigelig vedvarende energiforsyning, medmindre vi lærer at omdanne eksempelvis sol-, vind og bølgeenergi til brændstoffer, som vi kan gemme. Kemiske brændstoffer som hydrogen og methanol er særlig nyttige, da de både kan opbevares over længere tid, og samtidig kan benyttes 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

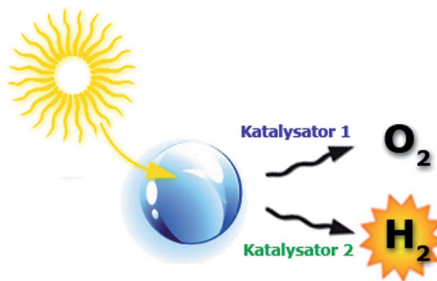
om elektrolyse kan eleverne overveje, hvilke vedvarende energikilder forskellige lande har til rådighed til elektrolyse.

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).

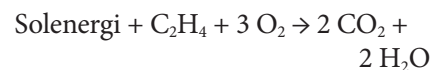


Fotokatalyse er afhængig af to katalysatorer. En til at danne oxygen og en til at danne hydrogen.

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, oliefyr, gasfyr, 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.

