

## Eksperiment 3.3: Brændselscelle

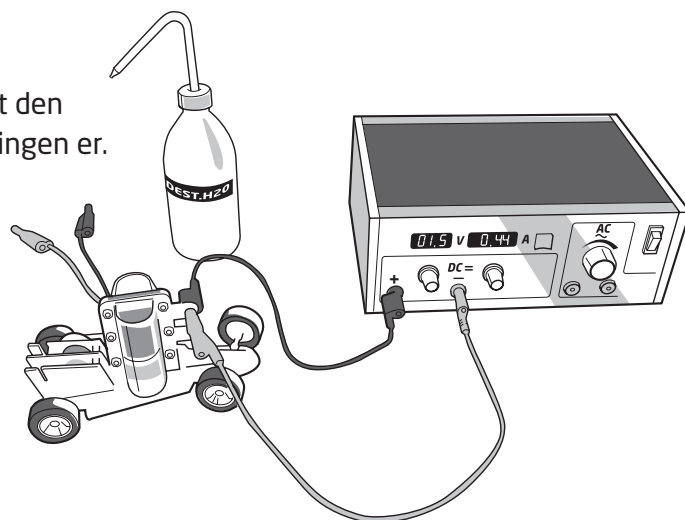
### Eksperiment med hydrogen som brændstof

#### Formål

I skal lade en brintbil op med strøm og måle, hvor langt den kan køre. I skal desuden beregne, hvor effektiv opladningen er.

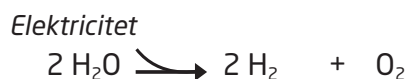
#### I skal bruge

Demineraliseret vand  
Brintbil  
Målebånd  
Strømforsyning med indbygget voltmeter og amperemeter  
Stopur



#### Oplæg

Brintbilen kører på brændstoffet hydrogen (brint). Hydrogen laves ved at spalte vand med jævnstrøm i bilens elektrolysecelle. Den elektriske energi fra strømmen bruges til at bryde bindinger mellem oxygenatomet og hydrogenatomerne i vandmolekylet. Reaktionen kan skrives som:



Ved hjælp af elektrolysecellen kan man altså omdanne elektrisk energi til brændstof til bilen. En milliliter hydrogen kan frigive energi svarende til cirka 12 joule ved 25 °C. Elektrolysecellen i bilen kan 'vendes om' til en brændselscelle og udnytte denne energi. Cellen kan nemlig 'vendes om' og fungere som en brændselscelle, hvor den kemiske energi i hydrogen omdannes til elektrisk energi, der kan drive bilens elmotor.

Under opladningen måler man strømstyrke og spændingsforskel for at kunne beregne, hvor meget elektrisk energi man bruger i elektrolysen til at danne hydrogen. Den elektriske spændingsforskel  $U$  er nemlig energi per ladning, mens strømstyrken  $I$  fortæller, hvor mange ladninger der går gennem cellen per sekund. Når vi ganger spændingsforskellen med strømstyrken, får vi altså et tal for, hvor meget energi der løber gennem cellen per sekund. Denne størrelse kaldes effekten  $P$ . Den måles i watt, som er antal joule per sekund:

$$P = U \cdot I$$

Spændingsforskellen måles i volt (V), mens strømstyrken måles i ampere (A).

For at kunne udregne energiforbruget  $E$  skal vi blot vide, hvor længe cellen kører, det vil sige tiden  $t$ , som måles i sekunder:

$$E = P \cdot t$$

#### Regneeksempler

Eksempel 1. En brintbil blev opladet med 0,44 A ved 1,5 V i 185 sekunder.

a) Beregn den elektriske effekt, og b) beregn, hvor meget energi der blev brugt.

Svar:

1a.  $P = U \cdot I = 1,5 \text{ V} \cdot 0,44 \text{ A} = 0,66 \text{ W} = 0,66 \text{ J/s}$ .

1b.  $E = P \cdot t = 0,66 \text{ J/s} \cdot 185 \text{ s} = 122,1 \text{ J}$

Eksempel 2. Ved opladningen i eksempel 1 blev der produceret 10 ml hydrogen. Beregn, hvor meget energi det svarer til.

Svar:  $E = 10 \text{ ml} \cdot 12 \text{ J/ml} = 120 \text{ J}$

Eksempel 3. Beregn, hvor mange procent af den tilførte elektriske energi der blev gemt i hydrogen. Dette tal kaldes *effektiviteten* for elektrolysen

Svar:  $\text{Effektivitet} = 120 \text{ J} / 122,1 \text{ J} \cdot 100 \% = 98,2 \%$

Eksempel 4. Da bilen var ladet op, blev den sat til at køre i ring. Bilen kørte i alt 43,73 meter på 10 ml hydrogen. Hvor langt kan den køre per liter?

Svar:  $43,73 \text{ m} / 0,01 \text{ l} = 4373 \text{ m/l} = \text{ca. } 4,4 \text{ km/l}$

### Sådan gør I

1. Fyld demineraliseret vand i begge beholdere i cellen. (Løft cellen af bilen og vend bunden i vejret. Her sidder propper).
2. Sæt cellen på bilen igen med propperne nedad.
3. Forbind elektrolysecellen til jævnstrøm på strømforsyningen.
4. Tænd for strømmen (maks 0,5 ampere), og start tidtagningen.  
Noter spændingsforskellen og strømstyrken: \_\_\_\_\_ V, \_\_\_\_\_ A
5. Stop uret, når beholderen med hydrogen er fyldt med gas (10 ml). Noter tiden: \_\_\_\_\_ sek.
6. Lad bilen køre i ring på gulvet.
7. Tæl antal omgange, og mål længden af en omgang: \_\_\_\_\_ omgange, \_\_\_\_\_ m (diameter)

### Efterbehandling

1. Beregn den elektriske effekt og energien brugt til opladning (se eksempel 1)
- 

2. Beregn, hvor meget energi der er gemt i hydrogen (se eksempel 2)
- 

3. Beregn effektiviteten for elektrolysen (se eksempel 3)
- 

4. Hvor langt kørte bilen?
- 

5. Hvor langt kan bilen køre per liter?
- 

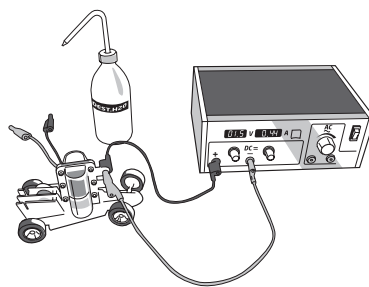
6. Opskriv og afstem den kemiske reaktion i brændselscellen, når bilen kører:
-

## Eksperiment 3.3: Brændselscelle

### *Eksperiment med hydrogen som brændstof*

#### Baggrundstekst

*Afsnittet 'Hydrogen som brændstof'*



#### Beskrivelse

Eleverne lader en brintbil op med strøm og måler, hvor langt den kan køre. Desuden regner de på, hvor effektiv opladningen er.

#### Forklaringer

*Hydrogen som brændstof*

Hydrogen er ikke en primær energikilde som kul og gas, men derimod en energibærer. I dag fremstilles hydrogen typisk ud fra det fossile brændstof metan, som findes i naturgas. Hvis hydrogen skal bruges som et CO<sub>2</sub>-neutralt brændstof, er det derfor nødvendigt at udvikle en fremstillingsmetode uden brug af fossile brændstoffer. En sådan metode kan være spaltning af vand ved hjælp af elektricitet i en elektrolysecelle. Elektriciteten kan komme fra eksempelvis vindmøller eller solceller. Derved har vi en CO<sub>2</sub>-fri metode, der samtidig kan udnyttes til at gemme overskydende strøm fra vedvarende energikilder som kemisk energi i hydrogen.

Hydrogen kan bruges til opvarmning ved direkte afbrænding, eller det kan konverteres tilbage til elektricitet. Produktionen af elektricitet sker i brændselsceller, der kan indbygges i en lang række produkter lige fra meget små brændselsceller i bærbare apparater som mobiltelefoner og computere til større celler i biler, lastbiler og skibe. Endelig kan stationære brændselsceller bruges til at producere varme og elektricitet i private hjem og på kraftværker.

*Forholdet mellem mængden af dannet oxygen og hydrogen i elektrolysecellen*

Hvis opladningen stoppes, inden der begynder at boble hydrogen ud, kan eleverne se, at der er dannet dobbelt så meget hydrogen som oxygen. Det skyldes, at der for hvert vandmolekyle kan dannes et hydrogenmolekyle, mens det kræver to vandmolekyler at danne et oxygenmolekyle.

*Sammenligning af masse og volumen*

Det er en væsentlig pointe i brintbilen, at brændstoffet er meget let. Mens en liter benzin vejer ca. 740 g, vejer en liter hydrogen ved atmosfærisk tryk og 25 °C kun 84 mg. I opgaverne regner eleverne med volumen (ml) i stedet for masse (g) for at undgå forvirring. Det er dog mere korrekt at udtrykke bilens rækkevidde per gram end per liter, da hydrogens rumfang afhænger af både tryk og temperatur, mens massen er uafhængig heraf. Den beregnede rækkevidde er således også gyldig, hvis hydrogen bliver opbevaret under tryk eller bundet i fast stof, eksempelvis i brintpiller. Her er beregningen for regneeksempel 4, hvis man ønsker brintbilens rækkevidde per gram hydrogen, når 10 ml hydrogen vejer 0,84 milligram:

$$\text{Rækkevidde} = 43,73 \text{ m} / 0,00084 \text{ g} \approx 52 \text{ km/g}$$

Det er relevant at diskutere dette med eleverne, da de måske ellers konkluderer, at brintbilen kører færre kilometer på literen end en benzinbil. At beregne rækkevidden i km/g gør det også nemmere at sammenligne med benzinbiler. De ovenstående 52 km/gram svarer til 52.000 km/kg, og hvis man antager, at en rigtig bil vejer tusind gange så meget og derfor kræver tusind gange så meget brændstof, vil denne kunne køre 52 km/kg. Det er ikke et helt urealistisk tal at sammenligne med benzinbilernes 20 km/liter. Antagelsen om, at

en tusind gange så tung bil kræver tusind gange så meget brændstof, er dog ikke helt korrekt, da en stor del af energien bruges til at overvinde luftmodstanden, og den vokser ikke lige så meget som massen, når man bare skalerer bilen op.

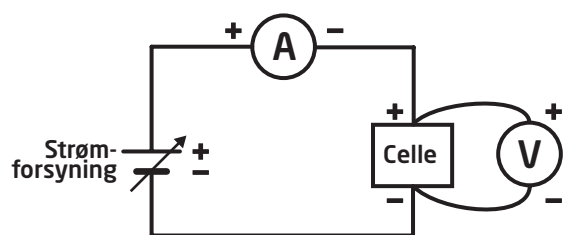
### Cellens effektivitet

De anvendte tal i eksempel 1 er faktiske målinger. Man kan opleve at regne sig frem til en effektivitet over 100 %, og det virker naturligvis besynderligt. Forklaringen er, at de anvendte målinger ikke er så præcise, så de forskellige afrundinger ved et tilfælde spiller sammen og trækker resultatet mod en for høj værdi. Især er det vanskeligt at aflæse hydrogenrumfanget nøjagtigt. Hvis 9,5 ml var det korrekte i stedet for 10 ml, ville man i eksempel 2 få 114 J og dermed en effektivitet i eksempel 3 på  $114 \text{ J} / 122,1 \text{ J} \cdot 100 \% = 93,3 \%$ .

I praksis er effektiviteten af elektrolysen ganske høj (selvom den aldrig kan være 100 %). Måler man derimod på brændselscellen (ved at tilkoble voltmeter og amperemeter og tage tid), opdager man, at effektiviteten her kun er cirka 50 %. Alt i alt tabes altså 50 % af den elektriske energi, hver gang man oplader og aflader bilen igen. Den tabte varme er der selvfølgelig som "restenergi", men den kan ikke omdannes fuldstændigt til en form, der kan drive en motor. Det er dog værd at bemærke, at man udmærket kan lave et kombineret husstands anlæg med brændselsceller, som leverer både elektricitet og varme til huset.

### Gode råd til eksperimentets udførelse

Har man ikke strømforsyning med indbyggede volt- og amperemetre, benyttes følgende diagram:



*Elektrolysecellen kobles i serie med et amperemeter til strømforsyningen. Et voltmeter sættes parallelt over cellen.*

Når eleverne skal opmåle den runde bane, er det mest præcise at optegne bilens bane med kridt på gulvet og derefter måle diameteren.