



Brændselsceller

Case: Brændselscellens historie

Forestil dig, at du havde dit eget elektricitetsværk i kælderen: Et apparat der udefra ligner et sædvanligt naturgasfy, men som både fremstiller elektricitet og varme. Hvis du ikke bruger al elektriciteten selv, sendes den blot ud på el-nettet, og din energikonto krediteres med det tilsvarende beløb.

Det kan lade sig gøre med brændselsceller. Brændselsceller er en effektiv og miljøvenlig måde at fremstille elektricitet på. I cellen omsættes brint og luftens ilt direkte til elektricitet med vand og varme som eneste biprodukter. Det skyldes, at den sædvanlige forbrændingsproces, hvor elektricitet produceres vha. turbiner, bliver erstattet af en direkte elektrokemisk omsætning af brint og ilt.

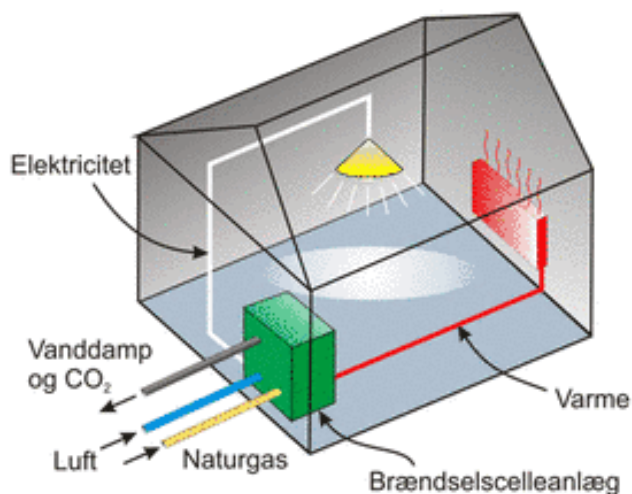


Illustration af brændselscelleanlæg (Kilde: Risø DTU)

Historie

Opdagelsen af princippet bag brændselscellen tilskrives den engelske fysiker William Grove. I 1839 udførte han et forsøg med elektrolyse, hvor han med fortyndet svovlsyre mellem to platinelektroder kunne spalte vand ved hjælp af elektricitet.

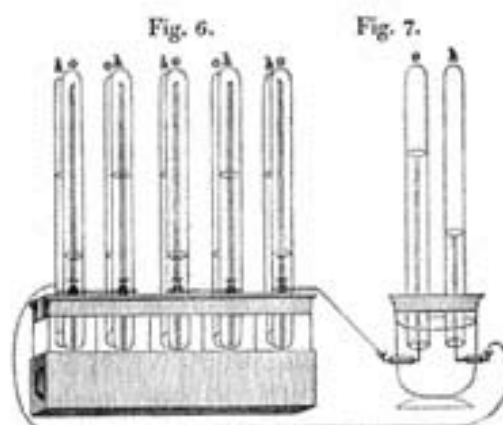
Resultatet var, at brint og ilt boblede op ved henholdsvis den negative og den positive elektrode. Grove opdagede, at processen også kunne løbe den modsatte vej: Da han frakoblede strømkilden, kunne den lille mængde ilt og brint, der sad tilbage på elektroderne, producere en svag elektrisk strøm. Grove videreudviklede i de følgende år sin opdagelse til noget, han kaldte et gas-batteri. Det fik dog ingen praktisk anvendelse.

Den teori, som Grove grundlagde, har til gengæld med tiden ledt til udviklingen af den række forskellige typer brændselsceller, som findes i dag.



William Grove demonstrerer sit gas-batteri

Disse brændselscelletyper opdeles generelt efter, hvilket temperaturområde de virker i. Lavtemperatur-brændselsceller opererer ved temperaturer ved eller under 200°C, mens højtemperatur-brændselsceller opererer ved eller over 500°C.



Tegning af gas-batteri



Francis Thomas Bacon med sit demonstrationsanlæg

Lavtemperatur-brændselsceller

I 1930'erne begyndte den britiske ingeniør Francis Thomas Bacon udviklingen af de såkaldte alkaliske brændselsceller (AFC). Hans udviklingsarbejde over de følgende årtier førte til et demonstrationsanlæg på 5 kilowatt i 1959 og til en af de første praktiske anvendelser af brændselsceller, nemlig i rumfartøjer under NASAs Apollo-missioner til Månen.

Et alvorligt problem ved de alkaliske celler er, at de ikke tåler CO_2 . Derfor skal både brint og ilt gennem en fordyrende oprensning inden brugen.

I 1960'erne og 1970'erne begyndte man derfor at udvikle CO_2 -tolerante celler. Det drejede sig dels om fosforsyreceller (PAFC) og dels om fastpolymerceller (PEMFC). De førstnævnte er i dag kommercielt tilgængelige i anlæg på nogle få hundrede kilowatt, mens de sidstnævnte er genstand for et intensivt udviklingsarbejde med henblik på anvendelse i fx biler.



PEM-brændselscelle til biler

Højtemperatur-brændselsceller

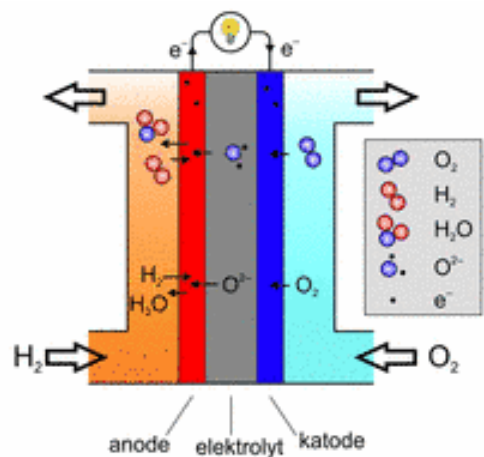
I modsætning til de ovennævnte typer af brændselsceller har både smeltet-carbonat-brændselscellen (MCFC) og fastoxid-brændselscellen (SOFC) en driftstemperatur på over 500°C .

Det gør dem i stand til at omsætte mange forskellige brændsler, fx naturgas, hvilket gør dem velegnede til kraftværksanvendelser – eller som alternativ til naturgasfyret, som nævnt i indledningen.

Begge typer højtemperatur-brændselsceller blev opdaget i 1920'erne, men blev først for alvor udviklet fra 1980'erne og frem. En SOFC, der er den mest lovende af de to typer, består af tynde lag af keramik (faststofoxider) og evt. metal. Man kan udnytte dens spildvarme enten til fjernvarme eller til at drive en gasturbine. I sidstnævnte tilfælde kan virkningsgraden blive helt op til 75%.



SOFC-brændselscelle



Virkemåden af en SOFC, her med brint som brændsel

Udfordringerne i dag – økonomi og teknologi

Brændselsceller har altså en lang historie bag sig, og man kan derfor spørge, hvorfor de ikke allerede har en mere udbredt anvendelse. Svaret har både en økonomisk og en teknologisk dimension:

Brændselscellens historie er forløbet samtidig med en æra af billige fossile brændstoffer, hvilket har gjort de mindre effektive, men driftssikre forbrændingsmotorer og turbiner økonomisk attraktive. Samtidig har materialeprisen på brændselscellesystemerne været høj, og det har vist sig vanskeligt at honorere de høje krav til levetid og driftssikkerhed, som er nødvendige for at gøre brændselsceller konkurrencedygtige.

Erkendelsen af de svindende oliereserver og miljøkonsekvenserne af fortsatte CO₂-udledninger har imidlertid øget fokus på alternative energiteknologier. Dette, kombineret med en række fremskridt i materialeforskningen, gør det nu realistisk, at brændselscellerne vil få et reelt kommercielt gennembrud inden for få år.

Dansk forskning og udvikling

I Danmark er brændselscelle-indsatsen fokuseret på typerne PEMFC og SOFC, og der er udarbejdet en national strategi for forskningen og udviklingen inden for disse typer.

Udviklingen af SOFC teknologien i Danmark er båret af Risø DTU og Topsoe Fuel Cell, hvor der i alt er 150 personer beskæftiget med alle aspekter af udviklingen af teknologien, samt med fremstilling af brændselsceller og brændselscelle-stakke.

Udviklingsarbejdet er fuldt af udfordringer og kræver en lang række forskellige kompetencer, bl.a. inden for elektrokemi, faststoffysik, procesteknologi og modellering.

I øjeblikket er meget af udviklingsarbejdet fokuseret på en ny celleopbygning, der vil blive billigere og mere robust med en driftstemperatur på ca. 600°C. De første kommercielle produkter forventes introduceret inden for få år.

Forkortelse	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Dansk navn	Alkalisk	Fastpolymer	Fosforsyre	Smeltet-carbonat	Fastoxid
Elektrolyt	Kalium-hydroxid	Polymer-membran	Fosforsyre	Saltsmelte	Keramik
Anode	Porøst nikkel	Grafit m. platin	Grafit m. platin	Porøst nikkel	Nikkel og keramik
Katode	Porøst nikkel	Grafit m. platin	Grafit m. platin	NiO m. Li ₂ O	Keramik
Drifttemp. (°C)	100	80-100	150-200	650	500-1000
Brændsel	Absolut ren brint	Ren brint	Brint uden CO	Brint, CO, naturgas	Brint, CO, naturgas
Virknings-grad	40	40	40	60	60
Anvendelse	Rumfart, militær	Biler, bærbar	Små kraftværker	Kraftvarme (MW-str.)	Kraftvarme (kW-MW)

Sammenligning af de forskellige typer af brændselsceller



Wärtsilä WFC 20 - stationær SOFC-enhed

Hvordan virker brændselsceller?

En brændselscelle kan omdanne den kemiske bundne energi i et brændsel direkte til elektricitet. Dermed kan man opnå en højere virkningsgrad end i traditionelle generatorer og kraftværker, hvor den kemiske energi først omsættes til termisk og derpå til mekanisk energi, før energien omdannes til elektricitet.

Brændselscellen minder i sit princip om et batteri, hvor opladningen sker løbende ved tilførslen af brændsel og ilt. En brændselscelle kan således køre uafbrudt, så længe der tilføres ilt og brændsel. Ligesom batteriet består brændselscellen af to elektroder (en anode og en katode), adskilt af en elektrolyt.

I modsætning til et batteri forbruges elektroderne imidlertid ikke under drift. Derimod virker de som katalysatorer for de elektrokemiske reaktioner, der foregår i cellen.

Hvilke reaktioner der finder sted, afhænger af brændselscellens type og den type brændsel, der anvendes.

I en fastoxid-brændselscelle med brint som brændsel vil følgende reaktioner finde sted: Ved katoden omdannes ilt-molekyler (O_2) til negativt ladede ilt-ioner (O_2^-).

Ilt-ionerne kan – i modsætning til ilt-molekylerne – bevæge sig gennem elektrolytten; ved anoden reagerer ilt-ionerne derefter med brinten og danner vand. De frigjorte elektroner ved anoden kan ikke passere tilbage gennem elektrolytten, og derved skabes der en spændingsforskel mellem anode og katode. Spændingsforskellen kan bruges til at drive en elektrisk strøm i et ydre kredsløb.

Der findes som sagt flere forskellige typer brændselsceller, som har forskellig driftstemperatur og krav til brændslet. Typerne navngives efter deres elektrolyt. I tabellen ses en kort oversigt over de vigtigste typers egenskaber.

Hver brændselscelle giver kun en spænding på ca. 1 volt, så for at få praktisk brugbare spændinger forbindes cellerne i serie i en såkaldt stak, ligesom når man sætter flere batterier i serie.



Fordelene ved brændselsceller

Som nævnt kan brændselsceller opnå en væsentlig højere effektivitet, fordi brændslet omsættes direkte. Til disse effektivitetsfordele skal føjes en række miljøfordele: Der udledes ingen NO_x, SO_x eller sodpartikler og mindre CO₂ (intet CO₂ hvis brændslet er ren brint). Og da der ingen bevægelige dele er i en brændselscelle, er den meget mere støjsvag end eksempelvis turbiner og forbrændingsmotorer. Endelig er brændselscellesystemer karakteriseret ved en betydelig skalérbarhed og deraf følgende fleksibilitet i deres opbygning. Trods disse fordele er brændselsceller endnu for dyre til at få et bredt kommercielt gennembrud. Som vi beskriver nedenfor, er der dog en række områder, hvor man snart kan forvente at se dem i anvendelse.

Fra rumfærgen til mp3-afspillere

De første praktiske anvendelser af brændselsceller var i rumfarten. Her er en høj effektæthed (målt i kilowatt pr. kg) og fraværet af forurenende udstødningsgasser helt afgørende, mens prisen er mindre afgørende.

I en rumfærge sidder der i dag tre AFC-anlæg på hver 12 kilowatt, der forsyner astronauterne med elektricitet; det eneste "spildprodukt" – rent vand – bruges som drikkevand. Uden for rumfarten er brændselsceller så småt begyndt at slå igennem i forskellige nicheanvendelser. Det kan eksempelvis dreje sig om små mobile enheder for PEMFC og nødstrømsanlæg på hospitalet eller hoteller for SOFC.

Et andet lovende område er supplerende strømforsyninger til lastbiler og skibe. Der kan et SOFC-anlæg erstatte de forurenende og ineffektive dieselgeneratorer, som i dag bruges til at generere strøm, når hovedmotoren ikke er i gang.

Mikrokraftvarme – husstands anlæg som dem nævnt i indledningen til produktion af el og varme – vil også få en kommerciel introduktion inden for en kort tidshorison.

Et andet nicheområde, hvor brændselscellerne hurtigt vil komme til at spille en rolle, er som batterierstatning i alle de mange elektroniske apparater, vi omgiver os med – bærbare computere, mobiltelefoner, mp3-afspillere osv. Her vil brændselsceller have den fordel, at de kan have op til 10 gange højere energitæthed end et batteri, hvilket øger anvendelsestiden betragteligt. Mange af de ovennævnte eksempler er allerede ved at blive introduceret på det kommercielle marked – de fleste dog reelt stadig som prototyper – og holder man øje i pressen, rapporteres der jævnligt om de sidste nye tiltag og produkter.

Kilder

"Brændselsceller" (Teknisk Nyt, april 2005) af Anders Smith og Søren Linderoth fra Risø DTU

Forfatter

Business development manager Andreas Benedict Richter, Topsoe Fuel Cell

Arbejdsspørgsmål

1. Hvilke typer brændselsceller findes der?
(nævn deres forkortelser)
2. Hvilke to hovedkategorier kan brændselsceller inddeles i?
3. Hvilke fordele har brændselsceller i forhold til de gængse teknologier til produktion af elektricitet, vi anvender i dag?
4. Indsæt de rigtige betegnelser for brændselscellens bestanddele på figuren, og skitsér de reaktioner og strømninger, der sker i brændselscellen.

Svar:

1. AFC, PEMFC, PAFC, SOFC, MCFC
2. Lav- og højtemperatur-brændselsceller
3. Høj effektivitet og lavt brændstofforbrug er ikke afhængig af fossile brændsler, ingen forurenende udstødningsgasser (spildprodukter: vand og kuldioxid), pålidelig og støjsvag (ingen bevægelige dele), lang anvendelsestid (sammenlignet med batterier), vand fås som anvendeligt biprodukt (specielt for rumfart).
4. Se tilsvarende figur i teksten.

Forfatter

Business development manager Andreas Benedict Richter, Topsoe Fuel Cell