



## Brændselsceller - naturgasfyrets afløser?

**Smith, Anders; Linderoth, Søren**

*Published in:*  
Gasteknik

*Publication date:*  
2005

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Smith, A., & Linderoth, S. (2005). Brændselsceller - naturgasfyrets afløser? Gasteknik, (6), 16-18.

---

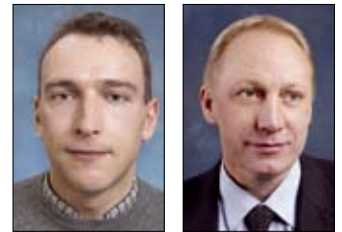
### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Brændselsceller – naturgasfyrets afløser?



Anders Smith Søren Linderoth

**Dansk forskning er i front med direkte anvendelse af naturgas i brændselsceller, bl.a. til brug i mikrokraftvarmeanlæg**

AF ANDERS SMITH OG SØREN LINDEROTH,  
AFDELINGEN FOR MATERIALEFORSKNING,  
FORSKNINGSCENTER RISØ

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

Dette er ét af perspektiverne for brændselscelleteknologien, der i disse år nærmer sig et kommercielt gennembrud. Danmark er med helt fremme i denne udvikling, bl.a. med et omfattende forsknings- og udviklingsprogram inden for keramiske brændselsceller (fastoxidbrændselsceller eller Solid Oxide Fuel Cells, SOFC). Udviklingen sker i et tæt samarbejde mellem Forskningscenter Risø og virksomheden Topsoe Fuel Cell (datterselskab af Haldor Topsøe A/S).

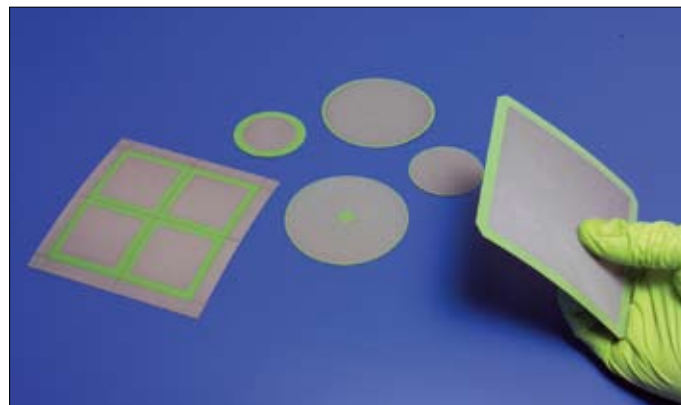
## Hvad er en brændselscelle?

Brændselsceller er en effektiv og miljøvenlig måde at fremstille elektricitet på. I cellen omsættes et brændsel og luftens ilt til elektricitet og varme.

Hvis man bare afbrænder brændslet, dvs. lader det reagere frit med ilt, udvikles kun varme.

Men sætter man en brændselscelle ned mellem brændslet og ilt, får man også elektricitet. Det skyldes, at den sædvanlige forbrændingsproces bliver erstattet af en elektrokemisk omsætning af brændslet og ilt.

Der findes flere forskellige brændselscelletyper, og SOFC kan i modsætning til flere af



**Figur 1.** Fastoxidbrændselsceller fremstillet på Risø. Cellerne kan fremstilles i en række forskellige størrelser og geometrier. Den kvadratiske celle th. måler 12x12 cm<sup>2</sup>; tykkelsen er under 1 mm.

de andre typer udnytte naturgas direkte som brændsel.

## Hvordan virker brændselsceller?

En brændselscelle kan omforme den kemisk 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.

I en SOFC kan elvirkningsgraden være helt op til 50-60%; resten bliver til varme.

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

I modsætning til et batteri forbruges elektroderne 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 af hvilket brændsel, der anvendes. På **figur 2** vises reaktionerne i en fastoxidbrændselscelle med brint som brændsel.

Hver brændselscelle giver en spænding på ca. 1 volt, så for at få praktisk brugbare spændinger forbindes cellerne i serie i en såkaldt stak. Hvis elektriciteten skal bruges i det sædvanlige elnet, skal der desuden anvendes en vekselretter, der omdanner jævnstrømmen fra stakken til vekselstrøm.

## Fordelene ved brændselsceller

Som nævnt kan brændselsceller opnå en væsentlig højere effektivitet, fordi brændslet omsættes direkte. Og i

modsatning til konventionelle motorer og generatorer, hvis effektivitet kun er høj tæt på fuld belastning, har brændselsceller også en høj effektivitet ved delvis belastning. Da fx en bilmotor eller et kraftværk kun meget sjældent er tæt på fuld belastning, er dette en betydelig fordel.

Til disse effektivitetsfordele skal føjes en række miljøfordele: Der udledes ingen NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> eller partikler, og mindre CO<sub>2</sub> (intet CO<sub>2</sub>, hvis brændslet er ren brint). Og da der ingen bevægelige dele er i en brændselscelle, er de mere støjsvage end fx turbiner og forbrændingsmotorer. Endelig er brændselscellesystemer karakteriseret af en betydelig skalerbarhed 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.

## Dansk forskning og udvikling

I Danmark er brændselscelleindsatsen fokuseret på typerne SOFC og PEMFC (fastpolymerbrændselsceller, der bl.a. kan anvendes i biler eller som batterierstatning), og der er udarbejdet en national strategi for forskningen og udviklingen inden for disse typer.

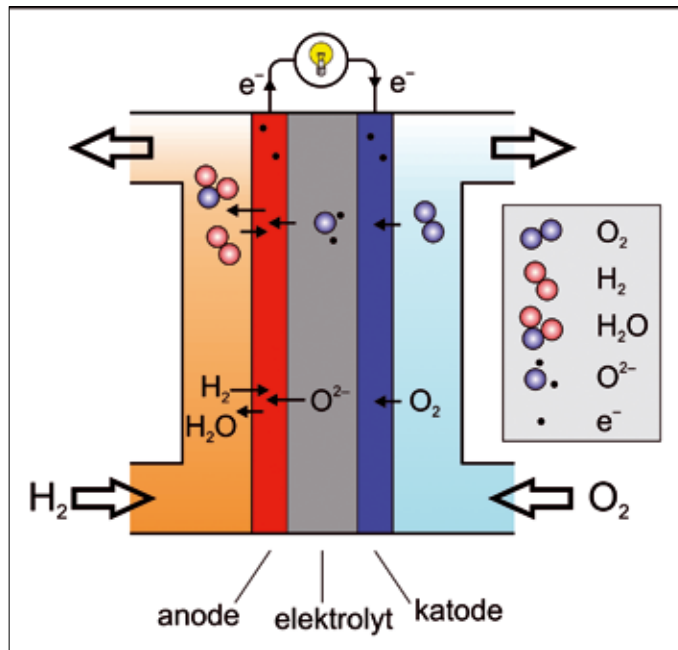
Risø har sammen med Topsoe Fuel Cell valgt at koncentrere sig om fastoxidbrændselscellen, SOFC. Denne type celle består af tynde lag af keramik (faststofoxider) og evt.

metal. Den har en forholdsvis høj driftstemperatur, hvilket gør det muligt også at udnytte spildvarmen, enten til fjernvarme eller til at drive en gasturbine. I sidstnævnte tilfælde kan elvirkningsgraden blive helt op til 75%.

Det danske SOFC-program blev grundlagt i slutningen af 1980'erne. Et målrettet udviklingsarbejde førte i slutningen af 1990'erne til en forbedret celle, der havde en forholdsvis lav indre modstand ved en driftstemperatur på ca. 800 °C (mod før 1000 °C). Der var nu udsigt til industriel udnyttelse, og i 2001 indgik Risø og Haldor Topsøe A/S (nu Topsoe Fuel Cell) en femårig samarbejdsaftale.

Et af de første resultater af aftalen var bygningen af et præpilotproduktionsanlæg på Risø. På dette anlæg fremstilles tusindvis af celler om året, hvilket giver en enestående mulighed for dels at gennemføre systematiske studier af cellernes egenskaber, dels at optimere produktionsprocesserne på en næsten industriel skala. I øjeblikket er meget af udviklingsarbejdet fokuseret på en helt ny celleopbygning, der vil blive billigere og mere robust og have en driftstemperatur på ca. 600 °C. Sideløbende hermed udvikles stak- og systemteknologien på Topsoe Fuel Cell. De første kommercielle produkter forventes introduceret inden for få år.

Der stilles store krav til de materialer, der indgår i et brændselscellesystem. Fx skal elektroderne have en høj katalytisk aktivitet og være så porøse, at reaktionsgasserne kan



**Figur 2.** Principskitse, der viser de elektrokemiske reaktioner i en fastoxidbrændselscelles indre. Brændslet er i dette tilfælde brint.

trænge ind i dem og reagere. Og alle materialerne skal være stabile og korrosionsbestandige over lang tid i meget kemisk aggressive omgivelser.

Udviklingsarbejdet er således fyldt med udfordringer og kræver en lang række forskellige kompetencer, bl.a. inden for elektrokemi, faststoffysik, proces teknologi og modellering. På Risø arbejder ca. 60 personer med SOFC.

**Mikrokraftvarme**

Kraftvarme – samtidig fremstilling af elektricitet og varme – foregår i dag på centrale eller decentrale kraftværker. De centrale kraftværker kan have en størrelse på 500-1000 MW elektrisk effekt (og sammenlignelig eller større varmeeffekt), mens decentrale kraftværker kan have en kapacitet på fx 5-10 MW elektrisk effekt. Størrelserne afspejler bl.a., at de turbiner, der anvendes til at generere elektriciteten, skal være meget store for at have en tilfredsstillende effektivitet.

Brændselsceller kan derimod indpasses i både store og meget små systemer, hvilket åbner mulighed for såkaldt mikrokraftvarme, dvs. anlæg til forsyning af et enkelt enfamiliehus.

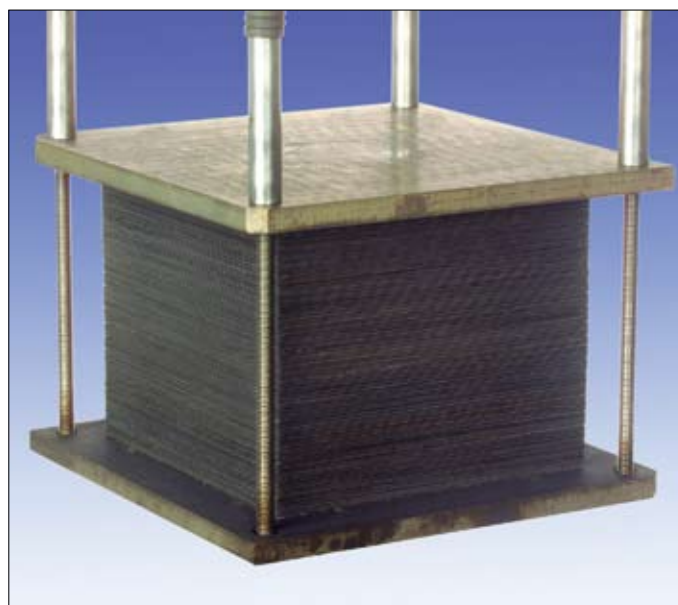
I sammenligning med konventionel kraftvarme er anlæg til mikrokraftvarme virkelig små: Man regner med en typisk størrelse på ca. 1 kW elektrisk effekt (og måske fem gange så stor varmeeffekt),

dvs. under 1/1000 af størrelsen af et decentralt kraftværk.

Tanken er ikke, at hver enkelt husstand skal være selvforsynende med el: For at anlægget skal være mest rentabelt i brug, skal driften styres af varme forbruget. Når elforbruget så overstiger den aktuelle produktion, vil man bruge strøm fra det sædvanlige elnet. Omvendt, når man producerer mere el, end man bruger, kan den eksporteres via nettet med en indtægt til følge. På denne måde vil man opnå en højere virkningsgrad end den traditionelle naturgaskedel i kombination med el, produceret på et kraftværk.

I dag kan man faktisk købe sådanne anlæg, hvor strømmen produceres af en generator i kombination med en forbrændingsmotor. Ud over den ringere effektivitet giver dette store problemer med støj og emissioner, hvis anlægget placeres i et privat hjem. Disse problemer undgår man med brændselsceller.

Flere steder i Europa og Japan er der demonstrationsprogrammer i gang, hvor brændselscelleanlæg installeres i boliger. Fx har Tokyo Gas i 2005 installeret 16 anlæg på 1 kW elektrisk effekt, baseret på PEM-celler; disse celler kan imidlertid kun udnytte meget ren brint som brændsel, hvorfor naturgassen først skal



**Figur 3.** 75-celle-stak fra Topsoe Fuel Cell A/S. Den består af Risø-fremstillede brændselsceller med et areal på 12x12 cm<sup>2</sup>. Stakken kan levere 1,1 kW. Foto: Topsoe Fuel Cell A/S.

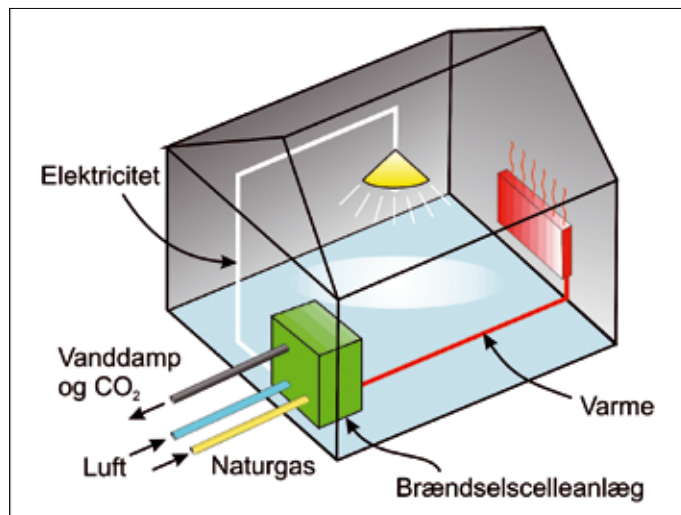
gennemgå en omdannelse (re-formering). Dette komplicerer og fordyrer alt andet lige det samlede anlæg.

I Danmark har otte danske firmaer med Danfoss i spidsen (og med deltagelse af Topsoe Fuel Cell) netop søgt offentlig medfinansiering til et ambitiøst demonstrationsprojekt, hvor man vil installere op mod 100 anlæg hos forbrugere i Sønderjylland. Med sit veludbyggede naturgasnet er Danmark også et meget interessant introduktionsmarked for en egentlig kommercialisering af teknologien.

**Andre anvendelser**

Brændselsceller vil til en begyndelse slå igennem i forskellige nicheanvendelser. Det kan fx dreje sig om nødstrømsanlæg på hospitaler eller hoteller. Et andet lovende område er supplerende strømforsyninger til lastbiler og skibe. Der kan brændselsceller erstatte de forurenende og ineffektive dieselgeneratorer, der i dag bruges til at generere strøm, når hovedmotoren ikke er i gang. Også biler har efterhånden så mange ekstra elektriske apparater, at det vil være relevant med en supplerende strømforsyning, som meget vel kan være et SOFC-anlæg.

Et egentligt gennembrud i bilsektoren, hvor forbrændingsmotoren i stor stil erstattes af elektriske motorer i kombination med brændselsceller, ligger noget længere ude i fremtiden. En realistisk tidshorizont er måske 15-20 år. Derimod vil stationære anvendelser på mindre kraftværker eller kraftvarmeværker være en realitet allerede om



**Figur 4.** Et SOFC-anlæg, der kan forsyne et enkelt parcelhus med både elektricitet og varme. Med naturgas som brændsel kan det eksisterende forsyningsnet uden videre anvendes.

5-10 år. Mikrokræfter vil også få sin kommercielle introduktion inden for en lignende tidshorizont.

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. Brændselsceller kan have en op til 10 gange højere energitæthed end et batteri, hvilket kan øge anvendelsestiden betragteligt. Og man skal ikke vente på at genoplade dem: Når brændslet (fx metanol) er brugt, udskiftes beholderen på et øjeblik.

**Fremtidsperspektiver**

En af de fremtidsvisioner, der omtales meget i øjeblikket, brintsamfundet: Et samfund, hvor kul og olie er erstattet af brint, der omsættes i brændselsceller med vand som eneste biprodukt.

Det er vigtigt at gøre sig klart, at brint ikke er en naturresурс som olie, men en

energibærer ligesom elektricitet. Tanken er at anvende overskydende elektricitet fra fx vindmøller til at fremstille brint vha. elektrolyse af vand. Brinten kan oplagres og senere omdannes i en brændselscelle, enten for at fremstille elektricitet igen eller til at drive en bil. Men brint er besværlig at have med at gøre. Den er uhyre flygtig, og hvis den skal lagres på gasform med en rimelig energitæthed kræves en kraftig og energikrævende komprimering.

Man forsker i alternative oplagingsmetoder, men der er stadig mange udestående problemer med dem. Desuden vil en udbredt konvertering fra benzin til brint kræve, at hele forsyningsinfrastrukturen skal udskiftes. Foreløbige økonomiske studier har vist, at sådanne investeringer vil have en meget lang tilbagebetalingstid.

Der er dog ingen grund til at begrænse sig til ren brint i brintsamfundet. Hvis elektriciteten kan oplagres i brintrige kemiske forbindelser kan de sagtens anvendes i brænd-

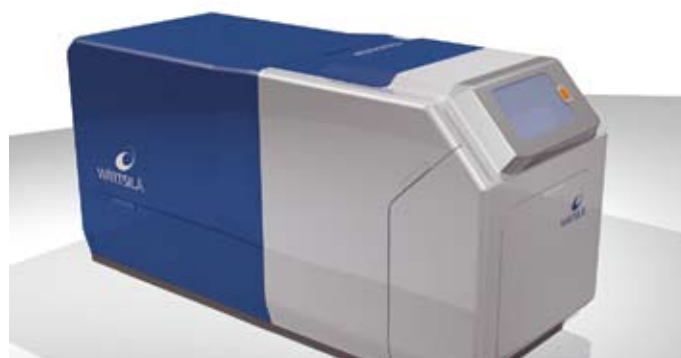
selsceller, enten direkte eller ved en forudgående reformering. Således kan man fremstille metan (CH<sub>4</sub>, 'syntetisk naturgas'), hvor naturgasnettet kan bruges til distribution, eller ammoniak (NH<sub>3</sub>), som let kan transporteres på flydende form.

**Transportformål**

Til transportformål vil flydende brændsler som etanol, methanol eller syntetisk diesel være meget attraktive. Mange af disse forbindelser kan let fremstilles ved elektrolyse eller ved standard syntesemetoder. Elsam har lanceret en VEnzin-vision, hvor bl.a. vindmøllestrøm sammen med CO<sub>2</sub> fra et kraftværk omdannes til methanol som erstatning for benzin.

Før brintsamfundet bliver en realitet, vil der optræde en række overgangsteknologier, hvor også fossile brændsler vil spille en rolle. Her er SOFC og den danske indsats godt placeret, da fastoxidbrændselscellerne fungerer direkte på naturgas. Vi er således godt på vej til at se mikrokræfter gøre sit indtog i de danske hjem i de kommende år.

Man kan læse mere om brændselsceller og det danske SOFC-program på hjemmesiden [www.sofc.dk](http://www.sofc.dk).



**Figur 5.** Konceptskitse af et SOFC-anlæg med en elektrisk effekt på 50 kW. Den finske virksomhed Wärtsilä, der samarbejder med Topsoe Fuel Cell A/S, vil anvende sådanne anlæg på op til 1 MW til bl.a. strømforsyning på større skibe. Anlægget passer i størrelse med en standardcontainer. Foto: Wärtsilä.