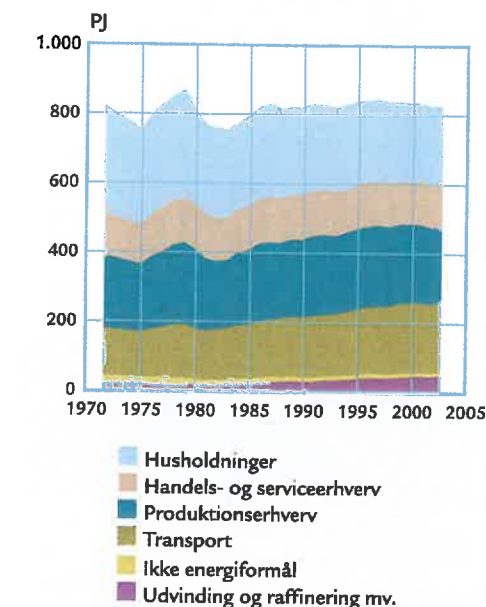


Effekten af oliekriserne i 1973 og 1979, med hhv. firedobling og fordobling af priserne, blev et fald i olieforbruget, hvor olien blev erstattet af kul. Men med den voksende kritik af svovludslippet fra kulaftbrændingen i kraftværkerne, som var hovedårsagen til dannelsen af syreregn, blev en stadigt stigende del af kulforbruget erstattet af olie og naturgas. De stigende priser gjorde udvindingen af olie og gas rentabel fra mere omkostningskrævende havområder. Andelen af vedvarende energi er vokset langsomt, således at den i 2004 udgjorde knap 12 % af den anvendte energi. I Danmarks tilfælde er vedvarende energi indtil videre næsten udelukkende vindenergi, men andre energiformer er under udvikling.

Begrænsede energikilder

Det meste af den energi, der produceres på globalt niveau, stammer fra fossile brændstoffer. Planterne vokser ved at sammenbygge luftens kulstof og ilt (samt en række andre stoffer) ved hjælp af Solens energi. Planter, som dør og kommer under de rette geologiske forhold (tryk og temperatur), omdannes efterhånden til kul. Mikroskopiske organismer i havet udnytter ligeledes solenergien, og når de dør og daler ned på havbunden, kan de også under de rette geologiske omstændigheder (tryk og temperatur) i tilstrækkelig lang tid omdannes til olie og naturgas. Både med hensyn til omdannelsen til kul og til olie er det interessante for os i denne sammenhæng, at kulstofindholdet pr. rumfang øges under processen.

Ved den kemiske proces i afbrændingen brydes de lange kæder i de organiske molekyler op, og kulstoffet reagerer med luftens ilt og danner CO_2 under frigivelse af energi, varme (omk. 400 kJ pr. mol rent C, 12 g). Det er denne varmeenergi, vi udnytter på utallige opfindsomme måder. I den simpleste form blot ved at sætte gang i forbrændingsprocessen og holde et stykke kød ind over ilden med et stort spild til følge. Senere lærte vi at styre forbrændingen bedre ved at benytte komfurer og også ved at omsætte den til andre energiformer, som fx damp. Den termiske energi omsættes til mekanisk energi i dampmaskiner, så toget kører og skibet sejler. Det udnytter vi også i bilmotorer, og den mekaniske energi kan igen omsættes til fx elektrisk energi via

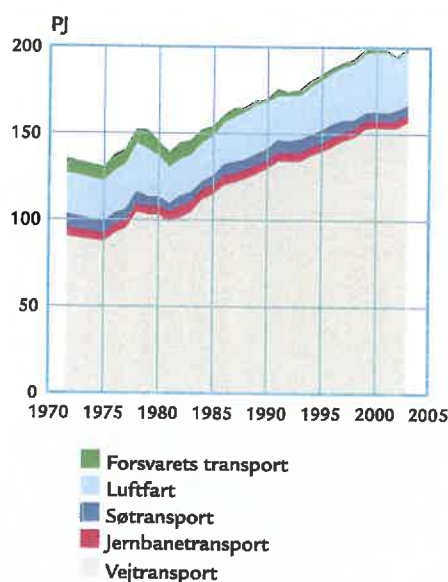


9.5 Danmarks bruttoenergiforbrug fordelt på anvendelse

Kilde: Energistyrelsen, 2005.

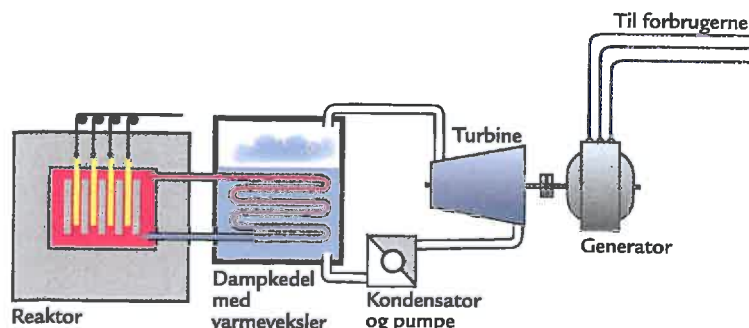
turbiner og generatorer. Den elektriske energi er lettere at transportere rundt og omsætte til andre energiformer.

Når vi én gang har brændt kulstoffet, kan vi ikke gøre det igen. Energien er godt nok konstant, men under forbrændingen og omdannelsen af energi til andre former, som vi ikke kan genanvende. Det er derfor en éngangsforbrug: de fossile brændstoffer er en *ikke-fornybar ressource*. Med tiden vil kulstoffet indgå i kredsløbet igen, men det varer adskillige millioner år, før det under de rette betingelser er blevet til fossilt brændstof af en acceptabel kvalitet.



9.6 Danmarks bruttoenergiforbrug fordelt på transportformer

Kilde: Energistyrelsen, 2005.



9.7 Kernekraftværk, skematisk fremstilling

Træ er nok den regionalt set mest udbredte energikilde, idet den er hovedenergikilden i langt de fleste fattige lande. Men det er på flere måder også en af de mest problematiske. Det skyldes især den måde, træet normalt anvendes på, nemlig som brænde i et bål eller i et meget primitivt komfur med en meget lav udnyttelsesgrad. Med en voksende befolkning, med samme eller stigende forbrug, skabes et stort økologisk pres på omgivelserne med voldsomme afskovninger og deraf øget risiko for naturkatastrofer.

Kerneenergi

Fissionsenergi kaldes i daglig tale A-kraft eller kernekraft og er den eneste af de to kerneenergikilder, der i dag er i kommerciel udnyttelse. Fission betyder også spaltning og bygger på, at en del af de store atomkerner let bliver ustabile og går i stykker. Denne spaltningsproces kan

fræmskyndes ved at beskyde kernerne med neutroner, hvor efter de deles under udsendelse af flere neutroner. Disse kan så igen sætte gang i nye spaltninger. Dette kendes som en kædereaktion. Hvis de nye neutroner ikke bremses, kan hele processen løbe løbsk, som man lader den gøre i en atombombe. Men hvis neutronerne bremses, kan man sørge for, at der ikke sker flere spaltninger, end der er man har styr på processen. Noget af energien fra neutronerne kan fx opsuges ved at lade spaltningsprocessen foregå i vand.

Teknisk set og kort fortalt virker et kernekraftværk på næsten samme måde som et konventionelt kul- eller oliefyret kraftværk. De hurtige neutroner fra kernereaktionerne opvarmer vand i et lukket kredsløb, da det bliver radioaktivt. Dette varme vand bruges igen til at producere damp i endnu et lukket kredsløb. Dampen driver el-generatorer via dampturbiner.

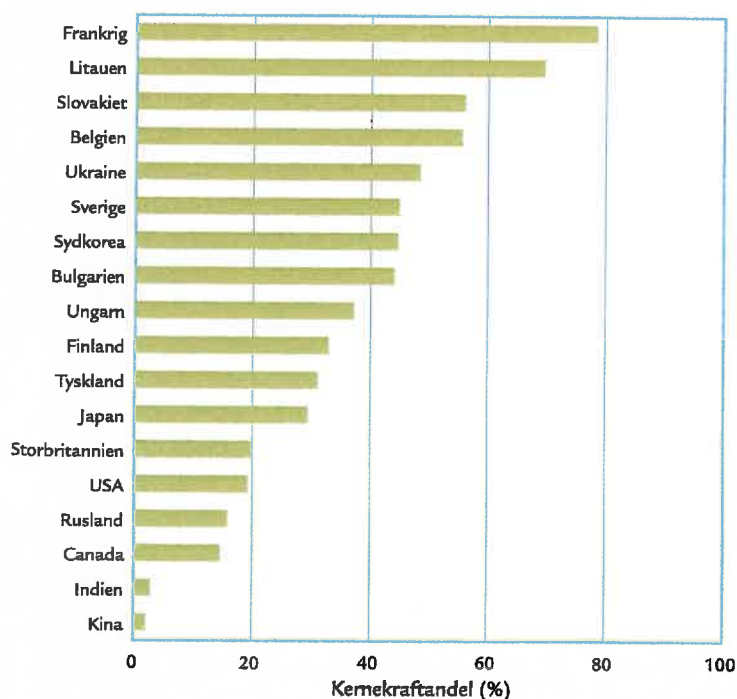
Kernekraftenergien bidrager således ikke til CO₂-produktionen, og uranreserverne synes at være ret store. Produktionen af den berigede uran med et større indhold af ²³⁵U skaber store mængder affald, som er mere eller mindre radioaktivt. Desuden er berigelsesanlæggene meget dyre at opføre, hvorfor kontrollen over disse bliver en stor magtfaktor på få hænder. Teknikken i kraftværkerne er langt fra sikker endnu. På trods af meget store sikkerheds- og kontrolforanstaltninger opleves gang på gang problemer og udslip. Der findes stadig i Østeuropa usikre reaktortyper, og der har været alvorlige reaktoruheld på Tremileøen (Three Mile Island, USA, 1979) og i Tjernobyl (Sovjetunionen/Ukraine, 1986). Endvidere er affaldet fra energiproduktionen stadig radioaktivt i op til en halv mio. år afhængigt af, om det drejer sig om brændsels-elementerne eller mere sekundære affaldsprodukter. Hvordan man skaffer sig sikkert af med disse, er et stadigt omdiskuteret emne, som det bl.a. ses af de gentagne store demonstrationer i Tyskland, når der er transport af affald til de forladte saltminer nær Gorleben, hvor man deponerer det radioaktive affald.

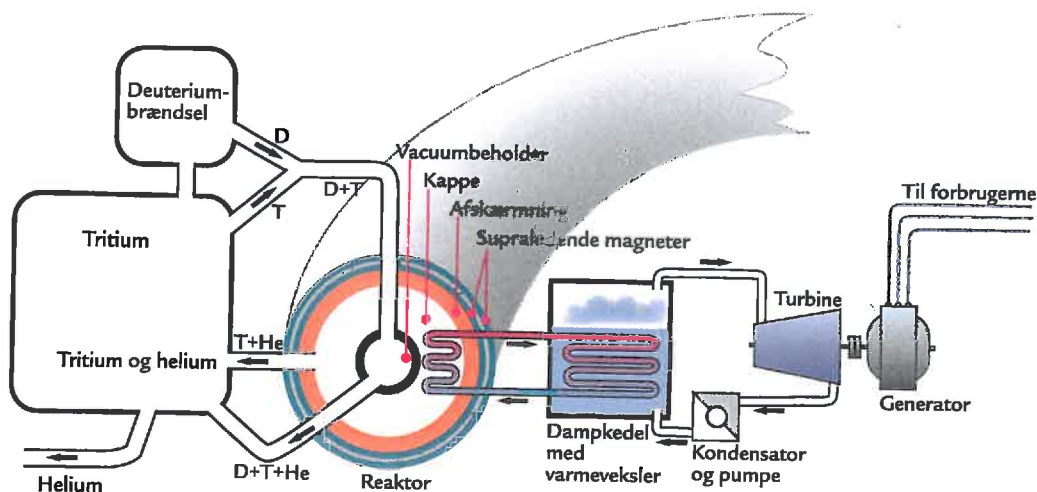
Fusionsenergi udnytter, at bindingsenergien i små atomkerner vokser, når kernerne bliver større. Kan man således få små atomkerner til at smelte sammen frigives der energi. Den udvundne energi pr. reaktion er ganske lille, men til gengæld er brændstoffet stort set uudtømmeligt, idet der typisk benyttes en sammen-

9.8 Kernekraftens andel af elproduktionen i udvalgte lande, 2005

Kina og Indien forbedrer sig på, at kerneenergi skal bidrage til en større andel af den fremtidige elproduktion.

Kilde: World Energy Outlook, IEA, 2006.





9.9 Fusionsenergi-kraftværk, skematisk fremstilling

smeltning af deuterium (tung brint, med en ekstra neutron i kernen) og tritium (tung brint med to ekstra neutroner i kernen). Deuterium findes i store mængder i naturen, og tritium kan let fremstilles i reaktoren.



1 MeV (mega elektronvolt) = $1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

(1 Joule svarer til at løfte 100 g 1 m).

n = neutroner og p = protoner.

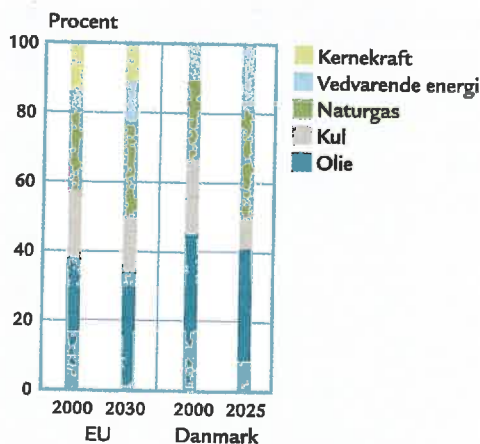
det samme. Til gengæld har der også været en årrække, hvor tempoet har været lidt lavere, fordi Japan, Rusland, EU og USA har været uenige om, hvor den næste forskningsinstitution skulle bygges. Det er nu blevet besluttet, at det skal være i EU, i Frankrig, og det forventes, at ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), som maskinen kaldes, kan være klar til at producere strøm på forsøgsbasis ca. i år 2015 efter en forventet investering på 35 mia. kr. Man regner med, at det om 50 år vil være muligt at producere strøm på kommerciel basis vha. fusionsenergi.

Processen er grundlæggende den samme som foregår i Solen, og dermed er vi også inde ved de problemer, der er ved at udnytte denne energikilde kommercielt. For at kernerne kan indgå i fusionsprocesserne, skal deres bevægelsesenergi være tilstrækkelig stor. Det betyder, at temperaturen skal være i nærheden af 100 mio. grader. Ved disse temperaturer er det meget svært at styre materialet, plasmaet, som holdes indeslættet i et kraftigt magnetfelt. I selve plasmamaterialet vil der være en del radioaktiv stråling (de løse neutroner), men i meget mindre mængder end i fissionsreaktorer, og det er langt lettere at skærme mod denne stråling. Samtidigt kan fusionsreaktoren ikke løbe løbsk, idet de nødvendige temperaturer ikke kan opretholdes uden for afskærmningerne.

Der forskes meget intenst i udviklingen af fusionsenergi, men det er en uhyre kostbar forskning. Derfor er det også et af de få forskningsområder, hvor man fra begyndelsen har ført en åben linje, idet alle resultater lægges frem med

Vedvarende energikilder

De såkaldte alternative eller vedvarende energikilder udgør en lille, men voksende del af den globale energiforsyning, dog med meget forskellige vækstmønstre og store regionale forskelle.



9.10 Energiforbrug fordelt efter brændsler i EU og Danmark

Kilde: EU-kommissionen og Energistyrelsen, 2003.

At disse energikilder kaldes "alternative" er egentlig forkert, idet flere af dem er langt ældre end de "rigtige", og nogle af dem er ældre end mennesket og en enkelt så gammel som vores solsystem, nemlig Solen selv. Da flere af dem har været i brug som menneskelige energikilder længe før udnyttelsen af fossile brændsler, siger sprogbrugen egentlig mest om det moderne samfunds store afhængighed af de ikke-fornybare energikilder. Derimod er udtrykket "vedvarende" betydelig mere velanbragt, idet netop disse energikilder kan vare ved langt ud over vores tidshorizont. De udgør en energiproduktion, som udnytter fornybare ressourcer, og dermed er de langt mere bæredygtige end de fossile brændstoffer.

Vandkraft

Ved vandkraft udnyttes tyngdekraften fx ved at opstemme vand bag en dæmning, hvorved vandstanden bag dæmningen stiger og dermed øger vandets potentielle energi. Ved at sende vandet gennem rør til turbiner forbundet med generatorer omdannes den potentielle energi til kinetisk energi og endelig til elektrisk energi. Energiforbruget afhænger således af faldhøjde og vandmængde, der igen bestemmes af terræn og klima. Derfor varierer brugen af vandkraft også meget fra land til land afhængig af flodernes vandføring samt af de landskabelige muligheder for i praksis at opstemme dem.

Verdens hidtil største vandkraftværk, Itaipú i Sydamerika, producerer årligt 79 TWh. Til sammenligning producerer Gudenaacentralen 11 mio. kWh. Den er Danmarks største, fungerende vandkraftværk, også kendt som Tangevær-

	2002		2030	
	El-produktion TWh	Andel af fornybare energikilder (%)	El-produktion TWh	Andel af fornybare energikilder (%)
Vandkraft	2.610	89	4.248	69
Bioenergi	207	7	627	10
Vindenergi	52	2	929	15
Geotermisk energi	57	2	167	3
Solenergi	1	<1	119	2
Tidevand/bølgeenergi	1	<1	35	1

9.11 Elproduktion fra vedvarende energikilder, 2002, og prognose for 2030

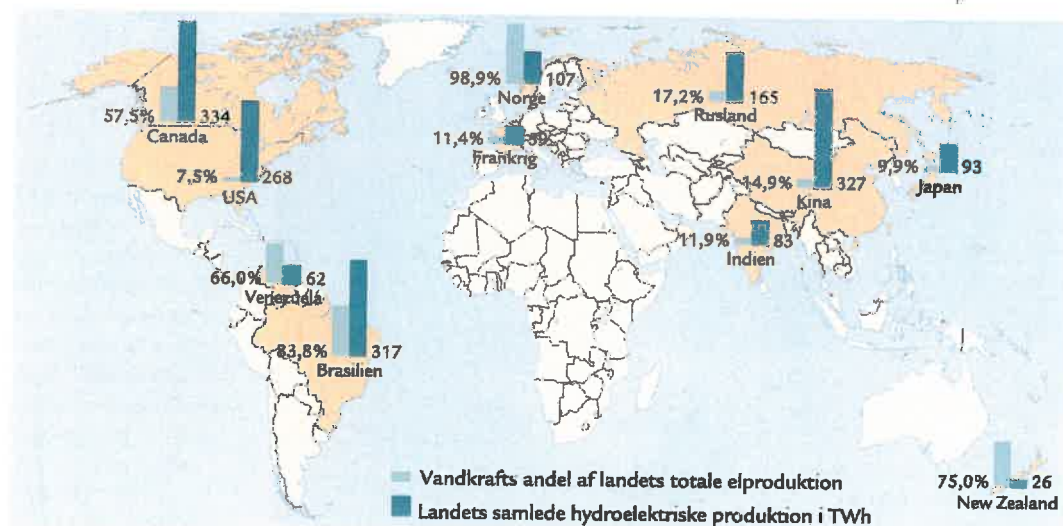
Kilde: World Energy Outlook, IEA, 2004.



9.12 Tangeværket ved Gudenåen og Tange Sø

Ved opførelsen af kraftværket blev Gudenåen opdæmmet til vandreservoaret Tange Sø. Det var nødvendigt for at regulere vandtilførslen, så der kunne produceres el hele året rundt. Søen blev anlagt mellem Kongensbro og Tange, og 625 ha blev oversvømmet. Seks gårde og 20 huse er revet ned for at give plads til søen, og i alt 192 lodsejere blev berørt af ekspropriationer. En 800 meter lang dæmning holder vandet tilbage i ådalen, og en 300 m lang kanal fører vandet fra søen til kraftværket. Ved kraftværket falder vandet 8-10 m gennem de tre turbiner.

Kilde: Elmuseet.



9.13 Lande med størst elproduktion fra vandkraft, 2005

Kilde: IEA, 2003 og 2004.



9.14 Itaipú

Verdens hidtil største vandkraftværk Itaipú (stenen, der synger) fra 1983 ligger mellem Brasilien og Paraguay. Det producerer 25% af Brasiliens og 85% af Paraguays elforbrug. Produktionen er omkring 79 TWh årligt = 20-25 gange Danmarks forbrug.

ket, nær Bjerringbro. Her har man fremstillet elektricitet siden 1921, og kraftværket dækkede i 1920'erne en fjerdedel af hele Jyllands elforbrug, men i 1997 svarede det kun til ca. 3.000 danske familiers årlige elforbrug, eller ca. $\frac{1}{2}$ promille af Danmarks samlede elforbrug. Da vandkraft er vedvarende energi, sparer Tangeværket hvert år atmosfæren for store mængder CO_2 . Tangeværket hører så afgjort til i småtingsafdelingen blandt vandkraftværker.

Et af de senere års mest omtalte projekter er "De Tre Slugters Dæmning", et stort system af dæmninger over Yangtze-floden i Kina. Den er

verdens tredjelængste flod på 6.331 km og er voldsomt uregerlig med regelmæssige oversvømmelser af store lavtliggende områder, og den har gennem tiden kostet mange kinesere livet. Det har derfor været mange kinesiske leders drøm at kontrollere Yangtze-floden.

Projektet har været længe undervejs, og den endelige vedtagelse af projektet kom i 1992. Ved at bygge en dæmning lige efter den sidste af "De Tre Slugter" håber man at kunne styre og regulere floden og dermed sikre et af de store og meget frugtbare landbrugsområder i Kina.

Dæmningen er 1.983 m lang og 185 m høj (og dermed verdens størstel) og vil i 2009 skabe en 670 km lang, kunstig sø, og den beregnes til fra år 2009 at kunne generere 18,2 GW, hvilket svarer til 10% af Kinas energibehov. Dermed



9.15 Yangtze-floden, løber fra oven i billedet frem til "De Tre Slugters Dæmning"

Kilde: Offentligt foto.

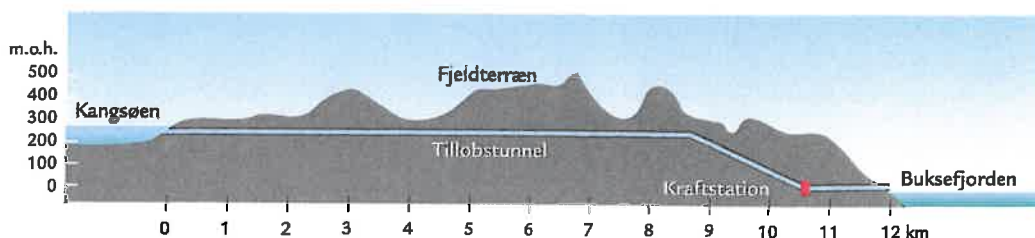


9.16 Vandkraftværket "De Tre Slugters Dæmning" menes at få en årlig produktion på ca. 85 TWh

Foto: Scanpix.

9.17 Vandkraftværket ved Nuuk i Grønland

Kilde: Geologi, GEUS, Nr. 5, 1996.



håber den kinesiske regering at kunne skabe et økonomisk opsving i det centrale Kina. Men opdæmningen medfører, at store arealer og mange byer bliver oversvømmet, og mange millioner mennesker må flyttes.

Samtidigt er det en stående diskussion, hvor længe dæmningen vil være i stand til at regulere strømmen og sikre områderne længere nede ad floden mod oversvømmelse. Som det allerede er kendt fra en anden stor dæmning, Aswandæmningen, som opdæmmer Nilen i det sydlige Egypten, bliver reservoir-søen i tidens løb fyldt op med de sedimenter, floden fører med sig fra sit øvre løb. Når floden løber ud i søen nedsættes strømningshastigheden, evnen til at transportere sedimenter reduceres, og de synker til bunds. Det betyder, at søens lagerkapacitet til stadighed formindskes og i takt hermed mulighederne for at kontrollere oversvømmelserne længere nede ad flodløbet.

I Grønland blev der i 1993 sat et vandkraftværk i drift drevet af smeltevand fra indlandsisen. Værket ligger ved Buksefjorden omkring 50 km sydøst for Nuuk og udnytter højdeforskellen på 261 m mellem den opdæmmede reservoir-sø Kangsøen og Buksefjorden. Værkets opland for smeltevand er 813 km² stort. Vandet føres gennem en 10,5 km lang tunnel til kraft-

stationen, der ligger i en hule dybt inde i fjeldet. Fra kraftstationen føres vandet via en 1,3 km lang afgangstunnel ud til Buksefjorden. I kraftstationen er der to turbiner med generatorer, der hver yder 15 MW, og der er plads til yderligere en turbine med en generator på 15 MW. Beregninger viser, at der i gennemsnit kan tages 311 mio. m³ vand om året fra søen, uden at vandstanden ændrer sig. Det giver en forventet årlig elproduktion på 185 GWh.

Vindenergi

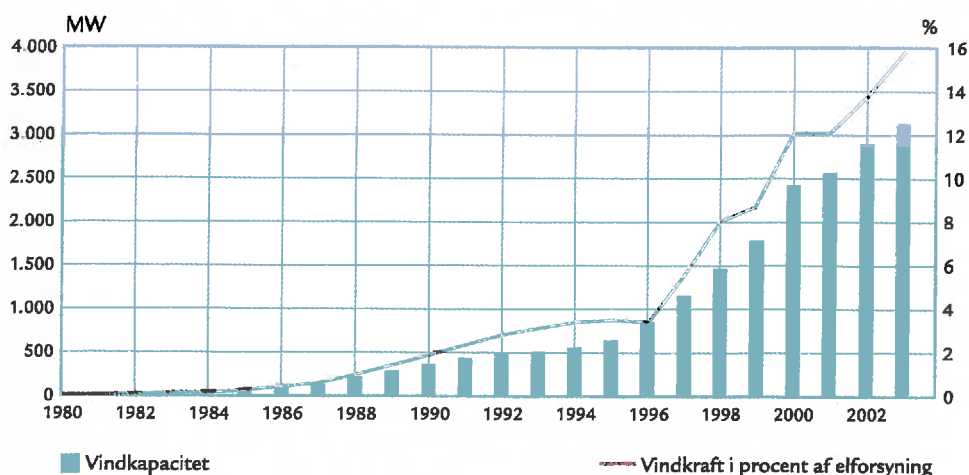
I vindkraftanlæg omsættes kinetisk energi til elektrisk energi. Den forskelligartede globale indstråling skaber strømninger i Jordens atmosfære, og denne soldrevne kinetiske energi udnytter vi i vindmøllerne. Det har mennesker gjort længe. Det vides, at perserne har udnyttet vindkraft i møller for mere end 2.200 år siden, og for ca. 1.000 år siden kendes møller i Europa med stort set det samme udseende, som vi kender i dag fra gammeldags vindmøller.

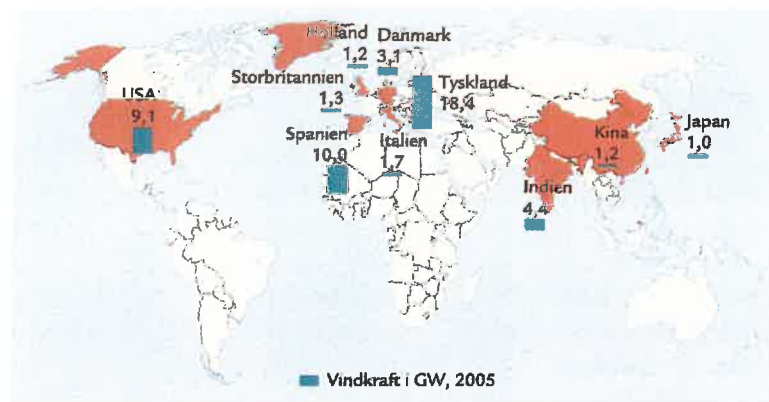
Gennem første halvdel af 1900-tallet blev vindmøllerne, der fandtes på tagene af talrige danske gårde, fortrængt af elektriciteten. Der var gjort sporadiske forsøg på at fremstille elproducerende møller, men ingen var rigtigt vellykkede. Efter oliekrisen i 1973 kom der igen fokus på

9.18 Vindkraft i Danmark

Efter oliekrisen i 1973 steg interessen for alternative energikilder. Produktion af stadigt mere effektive vindmøller betød en stærk stigning i den danske vindkraftproduktion i årene efter 1990.

Kilde: Miljøministeriet, 2005.





vindkraft, som her i landet blev kraftigt understøttet af statslige tilskud til etablering. Mange mølletyper og detaljer har været afprøvet, men nu er stort set alle vindmøller den kendte model med tre vinger.

Statsstøtten betød et vigtigt skub til udviklingen af en helt ny industri i Danmark, og resulterede i, at vi i 1990 passerede en årlig vindbaseret elproduktion på 1 GW fordelt på omkring 1.000 møller. Elproduktionen voksede til 1,2 GW i 1997 svarende til ca. 10% af det danske elforbrug. I 2006 er den samlede installerede kapacitet omkring 3,1 GW, hvoraf ca. 1/8 stammer fra havmøller. De traditionelle mølleparker forventes at have udviklingsmuligheder til at kunne producere op til 22 PJ/år, og med beslutningen om opførelse af yderligere to off-shore vindmølleparker á 200 MW i henholdsvis 2008 og 2009, bringes den samlede danske vindkraft-effekt op på godt 3,7 GW.

I de senere år er tendensen gået i retning af udvikling og etablering af store parker af store (op til 2 MW) havbaserede møller. Det skyldes, at mange møller kan have en skæmmende effekt på landskabet og give anledning til støjgener i nabolaget. Afgørende er dog, at produktionen er en funktion af vindhastigheden i tredje potens. Landskabets ruhed, dvs. gnidningsmodstand, nedsætter vindhastigheden betydeligt, hvorfor de store energimæssige fordele ved at placere møllerne ude på det glatte hav opvejer de store anlægsudgifter.

Brintenergi/brændselsceller

Der er to væsentlige udgangspunkter for den nutidige diskussion om vores energiforbrug. Det ene handler om, at vi nu bruger løs af ikke-fornybare ressourcer, og det andet er disse fossile brændstoffers indvirkning på den globale

9.19 Elproduktion fra vindkraft

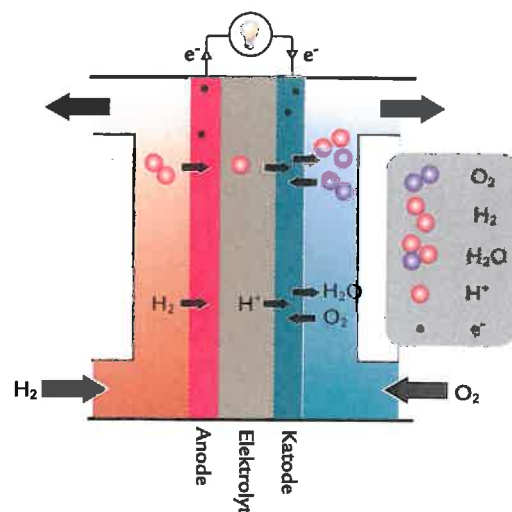
Kilde: IEA, 2005.

opvarmning via den øgede drivhuseffekt. Vandkraft er en meget stedbundet ressource, og det er derfor oplagt at søge at udvikle en energikilde, der er lige så fleksibel som olie og benzin men ikke har disse negative effekter med produktion af CO_2 og anden forurening til følge. Her er afbrænding af brint (hydrogen) et oplagt alternativ, fordi forbrændingsproduktet er rent vand, og i princippet kan brinten brændes af i eksisterende bilmotorer. Men som bekendt er brint særdeles brændbart og i den rette blanding med atmosfærisk luft eksplosivt og selvantændeligt. Man forsøger derfor at udnytte, at brint og ilt i brændselsceller kan danne vand under produktion af elektricitet og undertiden varme.

En brændselscelle er i sit grundprincip en opfindelse, som stammer helt tilbage fra 1839, men er først blevet videnskabeligt udviklet i forbindelse med rumfarten fra begyndelsen af 1960'erne, hvor den blev anvendt både som energikilde og til vandproduktion til astronauterne.

Der findes en række forskellige typer af brændselsceller, men i princippet er deres opbygning og funktionsmåde helt ens. Forskellene ligger i det brændstof, de kan anvende, og i den arbejdstemperatur, de kan (og skal) fungere ved.

Den brændselscelle, der for tiden sættes mest på, er *PEM-cellen* ("Proton Exchange Membrane Fuel Cell"), der har en protonledende polymer som elektrolyt. Ofte bruges materialet Nafion® fra firmaet DuPont. Det ligner en gennemsigtig plasticfilm med en tykkelse på 50-200 μm . Anode og katode består af grafit med en platinkatalysator. Kun protoner (brintkerner) kan trænge gennem membranen, og derfor fraskilles brin-



9.20 Brændselscelle, skematisk fremstilling

Kilde: Forskningscenter Risø.

9.21 Bærbar computer med brændselscelle
Med sin 20 cm³ energicelle kan systemet levere 20 W i ca. 8 timer.

Foto: Toshiba.



tens elektron ved anoden. Protonerne går gennem membranen og kan sammen med ilt fra atmosfærisk luft danne vand ved katoden på den anden side af membranen. Der skal dog tilføres nogle elektroner, men disse kan netop komme fra anoden gennem en ydre forbindelse. Dermed har man et kredsløb, hvis elektriske energi kan udnyttes. For at fungere skal membranen være mættet med vand, hvilket (for denne type) begrænser det anvendelige temperaturområde til omkring 80 °C (ellers begynder vandet at koge). Ved den relativt lave temperatur forgiftes platinkatalysatoren i anoden af fremmede stoffer, hvorfor brinten må skaffes ved elektrolyse af vand (den omvendte proces)! Men fordelen er selvfølgelig, at man får en transportabel og fleksibel energikilde.

Som antydnet ovenfor er der en række problemer ved PEM-cellen, som skal løses, før den bliver rigtig kommercielt anvendelig. For det første er spændingen pr. celle ikke særlig høj, men det problem er stort set klaret, efter at man har udviklet meget tynde celler, som kan stakkes til

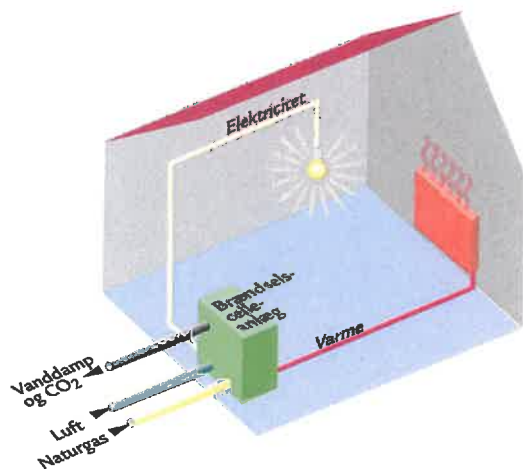
højere spændinger og større effekt. Problemet med forgiftning af anoden er også væsentlig mindsket, men der forskes stadig intenst i udviklingen af nye katalysatorer, som ikke forgiftes så let (fx med CO). Her er udviklingen i nanoteknologi et stort fremskridt. Endelig er det et økonomisk problem, at det umiddelbart mest anvendelige membranmateriale, Nafion®, er et patenteret materiale, som er ekstremt kostbart. Der foregår alligevel et stort udviklingsarbejde med PEM, da det umiddelbart er denne type, der er mest velegnet til installation i biler.

Et af de store praktiske problemer ved udnyttelsen af brændselsceller og brintenergi, især til transport, er opbevaringen af brændstoffet brint. Ud over at være eksplosivt, er det også vanskeligt at opnå en tilstrækkelig stor energitæthed i forhold til rumfang og vægt, (dvs., hvor meget brint, der kan opbevares i et givet rumfang). Derfor skal brinten opbevares under højt tryk, hvilket gør den praktisk uhåndterlig og højeksplosiv. Det er naturligvis muligt, men ret besværligt, så forskellige metoder til at binde brinten til andre stoffer har været efterforsket gennem et års tid, så den ikke skal være på gasform. Denne lagringsmetode synes nu at have båret frugt, idet det er lykkedes et dansk forskerhold at binde brinten til kvælstofsalte med en høj energitæthed og med en forsvindende lille mængde affaldsstoffer, som endog er genanvendelige.

Det er også lykkedes at udvikle metanolbase-rede celler i miniformat, som ved simpel påfyldning af alkohol kan levere elektricitet langt mere stabilt end konventionelle batterier, og som fx kan bruges i mobiltelefoner.

På trods af alle disse problemer er fordelen ved brændselscellen, at man har fået en forureningsfri, transportabel energikilde. Og da brinten fx kan produceres ved vindmøllestrøm eller vandkraft, når der ikke er så stort behov for elektricitet, har man samtidigt udviklet et effektivt lagringssystem for elektrisk energi.

Højtemperaturcellerne vil kunne benyttes i stationære anlæg, hvor man også vil kunne udnytte, at de skal fungere ved høje temperaturer (600-800 °C). Ved de temperaturer kan de fx bruge naturgas som drivmiddel og dermed kobles på det eksisterende naturgasnet. Cellen vil så kunne producere strøm til boligen, og den højere driftstemperatur vil kunne udnyttes i boligens varmforsyning.



9.22 Skematisk fremstilling af et højtemperatur-anlæg i en bolig

Kilde: Forskningscenter Risø.

Bioenergi

Udnyttelse af biomasse i energiproduktionen foregår i hovedsagen på tre forskellige måder, men selve grundteknikken i produktionen er konventionel. Ved produktion af *biogas* anbringes organisk husholdningsaffald eller gylle og mæg fra landbrugsproduktionen i forrådnelsestanke, hvorefter den udviklede biogas (metangas) herfra afbrændes og herigennem producerer varme og elektricitet. Biogasanlæg af forskellige størrelser er i drift landet over, men der er problemer med at få en tilstrækkeligt lugtfri produktion.

Olieholdige planter kan anvendes til produktion af *biodiesel*, der kan bruges som brændstof til biler. Her er der først og fremmest tale om rapsolie, men også andre olieholdige planter kan anvendes. Størstedelen af den biodiesel, der bliver produceret i Europa, fremstilles af raps, primært fordi olieplanten allerede dyrkes i stor stil. Ulempen ved raps er, at den kræver et højt tilskud af gødning. Det er dog svært at vurdere fordele over for ulemper, fordi både økonomiske og miljømæssige forhold spiller ind. Biodiesel er CO₂-neutralt, og kan bidrage til at formindske partikelforureningen, fordi den skaber større og dermed mindre skadelige partikler. I Danmark har man besluttet, at biodiesel skal underlægges de samme afgifter som fossil diesel, hvorfor den ikke bliver konkurrencedygtig på prisen.

Den tredje metode til energiproduktion fra biomasse baserer sig på gæring af forskellige planter. Det er en forfinet udgave af de processer, vi kender fra ølbrygning, som anvender korn, kartofler, hirse eller ris. Ved destillering af gæ-

	1980	1990	1995	2000	2001	2002
Biobrændsel						
Halm	7,1	14,2	13,1	12,2	13,7	15,7
Skovflis	0,2	1,9	2,3	3,0	3,5	4,1
Træaffald	3,8	6,2	5,7	6,9	8,6	10,4
Træpiller	0,1	1,7	2,4	5,1	6,5	7,0
Biogas	0,2	0,7	1,7	2,9	3,0	3,4
Brænde	7,6	8,8	11,5	11,7	11,9	11,3
Affald	10,6	15,2	21,6	30,5	32,4	33,5
Biomasse i alt	29,6	48,8	58,2	72,4	79,7	85,4
Heraf anvendelse i						
El- og varmeproduktion	13,3	25,2	33,5	45,9	49,9	53,9
Øvrige erhverv	5,9	9,6	8,9	9,5	11,6	13,8
Boliger	10,4	14	15,8	17	18,2	17,7

Anm: Omkring 80% af affaldet er egentlig biomasse.

Fritureolien fra grillbarer og restauranter kan omdannes til biodiesel

"I Østerg indsamler man fritureolie fra 135 McDonald's restauranter, hvilket giver 1.100 tons genbrugsolie, som derefter bliver lavet om til fedtsyre-methyl-ester (FAME) af standardkvalitet. Bybusserne i den østrigske by Graz kører på biodiesel, der er produceret på genbrugsolie."

Kilde: Forskningscenter Risø.

9.23 Bioenergi-produktion fra forskellige typer biomasse i Danmark

Tallene er opgivet i PJ.
Kilde: Energistyrelsen, 2002.

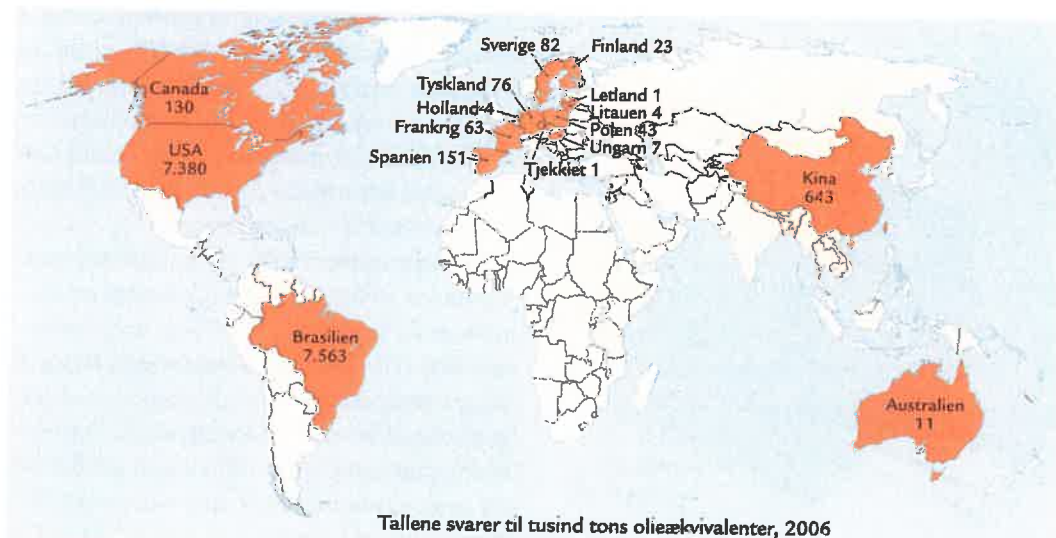
9.24 Biodiesel

Råvarer til produktion af biodiesel i Danmark

Raps	84%
Solsikke	13%
Soja	1%
Palmer	1%
Andre	1%

Kilde: Forskningscenter Risø.

ringsproduktet fremstilles *bioethanol*. Brasilien er længst fremme med den kommercielle udvikling og har i 1975 igangsat et forsøg, PROALCOOL, hvor man bruger sukkerrør til fremstilling af ethanol til brændstof til biler. I 1999 producerede Brasilien 13 mia. liter ethanol, og omkostningerne lå på et niveau, som svarede til en oliepris



9.25 Biomassens bidrag til energiforbruget

Kilde: BP, 2006.

på 30 US\$ pr. tønde. Olien kostede dengang ca. 20 US\$ pr. tønde. Reelt betyder det, at Brasilien gennem årene har sat penge til. Men det skal holdes op mod, at projektet har sænket landets olieimportudgifter med 20-30 mia. US\$, skabt omkring en million job, nedsat luftforureningen i byområderne og reduceret CO₂-emissionen med 15-20%. Man har også en veludviklet bioethanol-industri i USA, men dér baseret på majs.

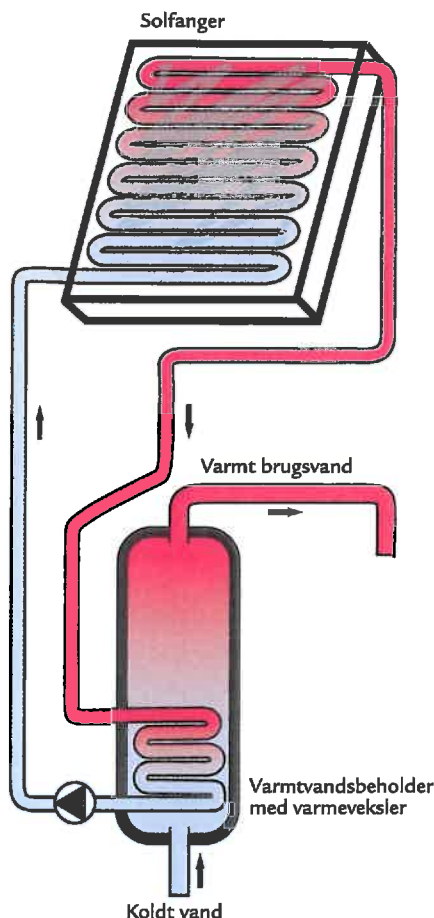
Den moderne bioethanolfremstilling er som nævnt et stort forskningsområde, og her er Danmark med i front. Målet er at få udnyttelsesprocenten i vejret forstået som forholdet mellem mængden af ethanol i forhold til mængden af råmateriale, og dertil benyttes enzymer. I længden vil det heller ikke være økologisk holdbart at bruge store gødningsmængder på at fremdrive almindelige afgrøder som sukkerrør og majs og derefter konvertere dem til energiråstoffer. Hvis det skal være bæredygtigt, må man gå over til i højere grad at kunne omsætte nogle af de mere fiberholdige plantedeile, som kan dyrkes mere miljøvenligt, og som ofte findes som restprodukt ved spise- eller foderafgrøder.

I Danmark har vi på grund af den store kornproduktion store overskudsmængder af halm, og det er derfor dette restprodukt, vi benytter som grundlag for ethanolfremstillingen. Nedbrydningen af fibre er dog meget krævende, men her har Landbohøjskolen (KVL) og Forskningscenter Risø, sammen med Novo Nordisk, ydet en stor indsats – ikke kun ved udvikling af den mekaniske side af fremstillingsprocessen, men også af den biologiske ved brug af genmodificerede gærstammer med særlige egenskaber. Så nu ser det ud til, at det bliver rentabelt at udnytte ikke alene de stærkt celluloseholdige plantedeile, men også husholdningsaffald til fremstilling af bioethanol. Rentabiliteten kan yderligere forbedres ved at udnytte varmen ved gæringsprocesserne til fjernvarmefremstilling, ligesom det ser ud til, at ethanolen kan erstatte det meget miljøgiftige stof MTBE, Methyl-Tertiær-Butyl-ether (CH₃-O-C(CH₃)₃), der er en farveløs væske, der erstatter bly i benzinen.

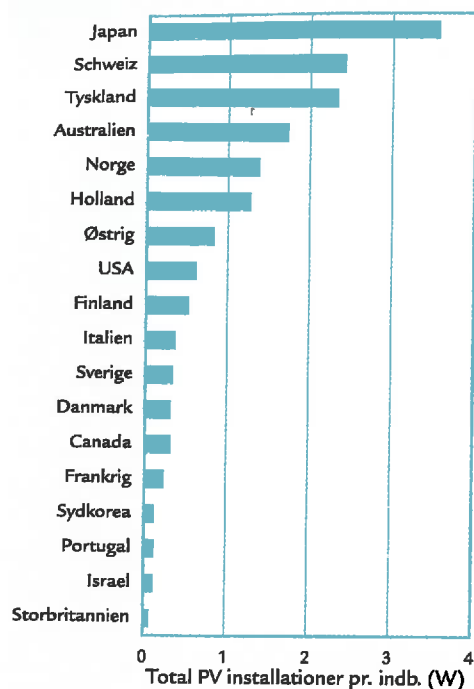
Solenergi

Solfangere udnytter energien i Solens stråling, og princippet kendes forenklet fra problemerne ved at gå på varm, sort asfalt en solrig sommerdag. Den elektromagnetiske energi bliver omsat til termisk energi.

9.26 Princippet i et solfangeranlæg, skematisk fremstilling



I solfangere bruger man en isoleret kasse, der er malet sort indvendig og forsynet med en reflekterende og isolerende glasrude. Inde i kassen ligger en vandfyldt slange. Solens energi trænger ind gennem glasset og opvarmer bagpladen og kassen og dermed vandslangen. Det varme vand i slangen leverer varmt brugsvand via en varmeveksler. Efter relativt høje omkostninger til anskaffelsen er driftsomkostningerne lave. Da energiproduktionen er afhængig af Solen, er det normalt nødvendigt at have et varmtvandsreservoir, der yderligere forøger omkostningerne. Generelt er anvendeligheden også afhængig af klimaet, så i Danmark er det absolut nødvendigt med supplerende energikilder. Herhjemme benyttes typisk tre typer anlæg: 1) et helt lokalt villaanlæg med en solflade på 4-5 m², der typisk dækker 50-60% af en husstands varmtvandsforbrug, der betyder, at det supplerende olie- eller gasfyr kan slukkes i ca. 5 måneder, 2) mellemstore anlæg på et par hundrede m², som forsyner et lokalområde med varmt forbrugsvand og 3) store anlæg på op til 20.000 m² tilknyttet fjern-



9.27 Solcelleinstallationer i udvalgte lande

Solenergi kan omdannes til elektricitet vha. solceller, som også kaldes photovoltaic (PV).

Kilde: IEA, 2003.

varmecentraler. I Danmark findes en række sådanne anlæg, fx verdens største solvarmeanlæg på 19.000 m² tilknyttet Marstal Fjernvarme. Anlægget omfatter også sæsonlagring af solvarmen i et jordlager.

Solceller bygger på en opdagelse fra 1839 af, at Solens stråling (fotonerne) kan løsrive elektroner fra et stof, men effekten (den fotoelektriske effekt) blev først forklaret af Einstein i 1905. Der gik yderligere 50 år før de første elementer blev bygget, og det var mest af alt "for sjov", da de var alt for dyre til kommerciel udnyttelse. Først, da den gryende rumfart havde brug for energikilder, gik en mere systematisk forskning i gang.

Elektronerne i stoffer er mere eller mindre bundne til atomkernerne i et energibånd, og der skal bruges en vis mængde energi til at rive dem løs. Hvis en sådan elektron rammes af en foton med en passende stor energi, vil den kunne løsri- ves. Og de fleste elektroner bliver ikke ramt. Men ved at vælge materialet med passende omhu, kan man opnå, at energien i almindeligt sollys er tilstrækkelig stor til at løsri- ve elektronerne fra deres energibånd. Ved en snedig kombination af materialer, hvoraf det ene gerne vil afgive elektroner, og det andet gerne vil optage dem,



9.28 Solpanelproduktion i lille skala
Foto: Scanpix.

kan man lede de løsrevne elektroner gennem et ydre kredsløb, hvormed man vha. sollys har fået dannet en strøm. Den spænding, en sådan celle normalt kan producere, er dog under en Volt, men de kan nemt kombineres serielt, så man kan opnå en vilkårlig stor spænding og strøm. Det kræver dog meget store arealer, og sammen med den indbyggede variation i drivkilden, sollyset, og de indtil videre store produktionsomkostninger, har det hidtil modvirket en større udbredelse af solceller i den almindelige energiforsyning.

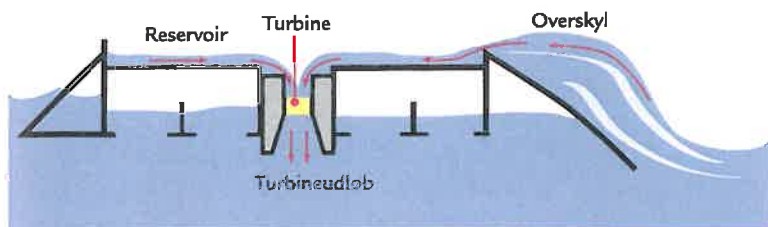
Allerede nu er solcellerne dog udbredt som energikilde i enkeltstående forbrugssteder som vejskilte, togsignaler o.l., hvor det er for beko- steligt at føre almindelig energi frem, og hvor energiforbruget ikke er for stort. Men produktionsteknikken udvikles stadig, og priserne

9.29 Solcelleproduktion i stor skala

En gruppe solpaneler i Kleinulkow, en lille landsby med 200 indbyggere i den østlige del af Tyskland, 2003. De første 13 enheder, hver med 45 m² solpaneler, producerer omkring 8.000 kW pr. enhed. De producerer tilstrækkelig energi til at dække 45 private husstandes behov.

Foto: Scanpix/Peter Foerster.





9.30 Bølgeenergi-anlæg

Kilde: Wavedragon, 2006.

er drastisk på vej ned. Samtidig er man ved at udvikle solceller på basis af helt nye materialer, som har en højere effektivitet bl.a. ved at kombinere materialer, som "fanger" forskellige frekvenser af lyset og dermed giver en højere udnyttelsesgrad pr. m². Men mange af de nyudviklede produkter har andre spændende elementer som fx at være lavet på fleksible materialer (plastic), så cellerne kan sys ind i tekstiler, og batterierne til MP3-afspilleren og mobiltelefonen kan sidde på jakkeærmet.

Bølgeenergi

Der findes flere forskellige teknikker til at udnytte den kinetiske energi i vandets stadige bevægelse. Teknikkerne er alle på forsøgsstadiet, om end nogle af dem har fungeret i en årrække.

I de såkaldte OWC-anlæg (Oscillating Water Column) omsættes bølgenes energi til en svingende vandsøjle indesluttet i et rør. Vandsøjlen driver en luftstrøm, som omsættes til el via en luftturbine. Denne anlægstype er typisk kystnær eller bygget direkte ind i kysten. Man arbejder dog på at udvikle havbaserede anlæg væk fra kysten. Bølgerne skyller ind i et stort kammer, hvorved luften komprimeres og derefter presses ud gennem turbinen. Når vandstanden i kammeret falder igen, vil undertrykket suge luft ind gennem turbinen. Da denne kører samme vej rundt uanset hvilken vej, luftstrømmen løber, kan både den indgående og udgående luftstrøm udnyttes til at drive en el-generator. I England og Portugal arbejder to kystanlæg efter dette princip.

En anden type er opskylningsanlæg, hvor bølgerne skyller ind over en rampe til et reservoir, hvis overflade er beliggende over havets overflade. Her udnyttes så niveauforskellen, og vandet ledes gennem en el-producerende vandturbine tilbage til havet. Denne anlægstype kan være sprængt ind i klippekyster eller have form af store forankrede konstruktioner på havet, således som det danske projekt, Wavedragon.

Endelig findes der typer, som direkte udnytter bølgenes op-ned-gående bevægelse med

nogle flydere, som bevæges af bølgerne og som aktiverer pumper, der driver turbiner, som genererer elektricitet. Denne anlægstype er beregnet til dybere vand, og et samlet bølgekraftanlæg vil typisk bestå af et større antal forbundne enkeltanlæg, kaldet klynger.

I Danmark koncentrerer udviklingsarbejdet sig om at udvikle anlægskoncepter og om at afprøve lovende principper i større skala på havet. Endvidere arbejdes der på at klarlægge de mulige synergieffekter med off-shore vindmølleparkerne. Bølgerne fortsætter, efter at vinden har lagt sig, og lagrer dermed vindenergien i en vis tid, hvilket taler for et godt systemsamspil mellem de to teknologier.

Tidevandsenergi

I tidevandskraftværker udnyttes høj- og lavvande i forbindelse med tidevand. På steder, hvor forskellen er særligt stor, kan man direkte udnytte den kinetiske energi i den kraftige vandstrøm ved flod og ebbe. Dette sker ved at montere turbiner med vendbare propeller på steder, hvor der sker en naturlig forstærkning af strømningerne, dvs. i flodmundinger o.l. Energiudnyttelsen kan forbedres ved at lave en afspærringsdæmning, så man kan få en mere jævn elproduktion og samtidig udnytte noget af den potentielle energi, svarende til traditionelle vandkraftværker.

Tidevandsværkerne har dog store indvirkninger på lokalmiljøet, og indtil videre er kun to værker sat i drift: ved La Range i Bretagne (240 MW) i 1966 og ved Fundy Bay i Nova Scotia (20 MW) i 1984.

Geotermisk energi

Geotermisk energi udnytter Jordens indre varme. I de fleste områder i verden kan man i omkring 2,5 km's dybde finde vand med en temperatur på 70-80 °C, idet temperaturen typisk stiger med 3 grader for hver 100 m. Mulighederne for udnyttelse afhænger derfor af de geologiske strukturer, fordi lagene skal give mulighed for, at nyt vand kan strømme til, når vandet pumpes op for at blive udnyttet. Gennemstrømningen gennem lagene skal være passende stor, så fx sandstenslag med en grov struktur er derfor velegnede. Bliver kornene for små, kan vandet ikke strømme tilstrækkeligt let.

Det er også lettere at udnytte den geotermiske energi, hvis "varmeapparatet" ligger tæt på overfladen, og derfor er vulkansk aktive områder



9.31 Det geotermiske kraftværk i Nesjavellir i Island

Foto: Karsten Duus.

særligt attraktive i denne sammenhæng. Det mest nærliggende eksempel er udnyttelsen i Island, der ligger på en konstruktiv pladerand, hvor den varme magma fra kappen vælder op. Næsten alle boliger i Reykjavik er opvarmet med fjernvarme fra geotermisk energi, som også bruges til at opvarme drivhuse, og som udnyttes i varme bade mm.

Italien har ligeledes adskillige geotermiske anlæg, men også i Danmark har vi et par geotermiske anlæg. I Thisted har man siden 1984 drevet et anlæg i forbindelse med fjernvarmeforsyningen, og i 2004 blev et nyt demonstrationsanlæg indviet i forbindelse med Amagerværket. Anlægget producerer 1 % af Københavns samlede varmekonsum, svarende til 5.000 husstande. I alt 12 større byer i Danmark menes at ligge over brugbare reservoirer (sandstenslag).

Jordvarme

Jordvarme skaffes fra varmepumper, og princippet kender vi fra køleskabet, hvor varme fra varmerne i det indre af køleskabet flyttes til panelet på bagsiden vha. en elektrisk drevet kompressor. Jordvarmeanlæg udnytter de lave varmegrader i jorden, fx i haven eller i en nærliggende sø. Energien med lav temperatur fra rørsystemet, som er nedlagt i jorden/vandet, kan så via kompressor-systemet bringes op på brugbare temperaturer. Spidseffektiviteten i systemerne er dog ikke så høj, og det er relativt kostbart at nå op på højere temperaturer, så normalt benyttes anlæggene til gulvvarme eller varmluftsystemer. Systemet leverer dog ca. fire gange så meget energi, som der bruges i form af elektricitet i kompressor- og pumpesystemer.