

# ENERGI- OG MILJØTEKNOLOGI

Baggrundsmateriale til  
Vækstforums tænketank – 2007





# Forord

Vækstforum i Region Midtjylland besluttede i juni 2006 at nedsætte en tænketank for energi- og miljøteknologi.

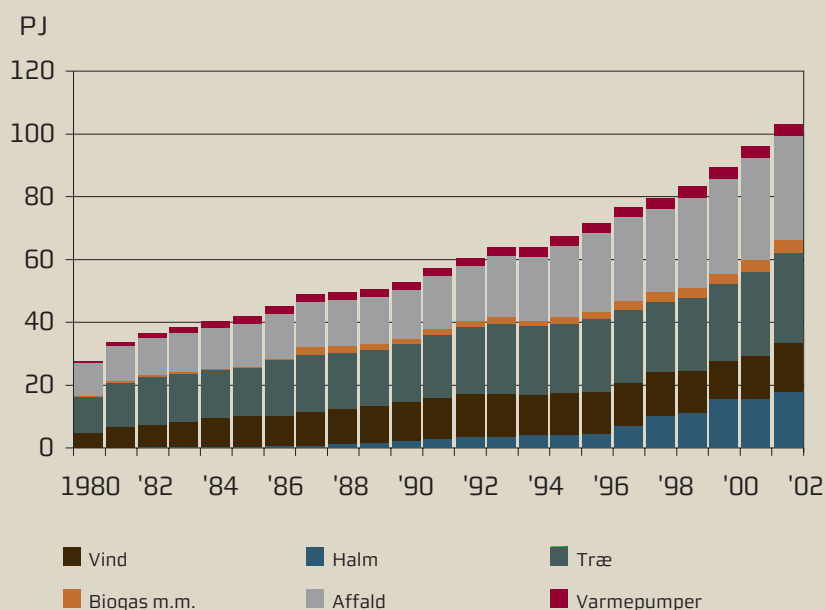
Målet med dette publikation er at skabe et solidt fagligt baggrundsmateriale for tænketankens arbejde, og for den efterfølgende politiske proces.

Med særlig fokus på udviklingspotentialer i den midtjyske region beskriver publikationen relevante energi- og miljøteknologier og deres erhvervs- og samfundsmæssige udviklingspotentialer, samt giver oversigt over regionale aktører og igangværende aktiviteter.

Materialet er begrænset til at omfatte energiteknologier og afledte miljøeffekter.

|   |    |
|---|----|
| Forord .....  | 3  |
| Baggrund og perspektivering                             |    |
| Globalt pres på ressourcer .....                        | 6  |
| Produktion af vedvarende energi .....                   | 6  |
| Potentialer i Region Midtjylland .....                  | 6  |
| Sektor under opbygning .....                            | 8  |
| Energi fra biomasse                                     |    |
| Særlige regionale perspektiver .....                    | 10 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....       | 12 |
| Potentielt energibidrag .....                           | 12 |
| Miljøeffekter .....                                     | 15 |
| Virksomheder .....                                      | 15 |
| Vidensinstitutioner .....                               | 15 |
| Organisationer .....                                    | 16 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter .....   | 16 |
| Biomasse-teknologier                                    |    |
| Direkte afbrænding til varme og kraftvarme .....        | 18 |
| Affaldsforbrænding .....                                | 21 |
| Termisk forgasning .....                                | 24 |
| Omsætning af biomasse til brint .....                   | 26 |
| Biogas .....  | 28 |
| Biomass to Liquid (BTL) .....                           | 31 |
| Ethanol ud fra sukker og stivelse (1. generation) ..... | 33 |
| Ethanol ud fra celluloseholdige råvarer (2. gen.) ..... | 35 |
| Rå planteolie .....                                     | 37 |
| Biodiesel .....   | 40 |
| Energi fra vind, sol og bølger samt brintteknologi      |    |
| Særlige regionale perspektiver .....                    | 42 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....       | 44 |
| Potentielt energibidrag .....                           | 44 |
| Miljøeffekter .....                                     | 45 |
| Vindenergi  |    |
| Kort beskrivelse af principper i teknologien .....      | 46 |
| Råvaregrundlag .....                                    | 46 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....       | 47 |
| Potentielt energibidrag .....                           | 48 |
| Miljøeffekter .....                                     | 48 |
| Fordele og ulemper .....                                | 49 |
| Virksomheder .....                                      | 50 |
| Vidensinstitutioner .....                               | 50 |
| Organisationer .....                                    | 50 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter .....   | 50 |
| Særlige regionale perspektiver .....                    | 51 |
| Solenergi/Solvarmeanlæg                                 |    |
| Kort beskrivelse af principper i teknologien .....      | 52 |
| Råvaregrundlag .....                                    | 52 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....       | 53 |
| Potentielt energibidrag .....                           | 53 |
| Miljøeffekter .....                                     | 54 |
| Fordele og ulemper .....                                | 54 |
| Virksomheder .....                                      | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Vidensinstitutioner.....                              | 54 |
| Organisationer.....                                   | 54 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter ..... | 54 |
| Særlige regionale perspektiver .....                  | 54 |
| <br>  |    |
| Solceller   |    |
| Kort beskrivelse af principper i teknologien .....    | 55 |
| Råvaregrundlag .....                                  | 56 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....     | 56 |
| Potentielt energibidrag.....                          | 56 |
| Miljøeffekter .....                                   | 56 |
| Fordele og ulemper.....                               | 56 |
| Virksomheder .....                                    | 57 |
| Vidensinstitutioner.....                              | 57 |
| Organisationer .....                                  | 57 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter ..... | 57 |
| Særlige regionale perspektiver .....                  | 57 |
| <br>  |    |
| Bølgeenergi   |    |
| Kort beskrivelse af principper i teknologien .....    | 58 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....     | 62 |
| Potentielt energibidrag.....                          | 62 |
| Miljøeffekter .....                                   | 62 |
| Fordele og ulemper.....                               | 62 |
| Virksomheder .....                                    | 62 |
| Vidensinstitutioner.....                              | 63 |
| Organisationer .....                                  | 63 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter ..... | 63 |
| Særlige regionale perspektiver .....                  | 63 |
| <br>  |    |
| Varmepumper   |    |
| Kort beskrivelse af principper i teknologien .....    | 64 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....     | 65 |
| Potentielt energibidrag.....                          | 65 |
| Miljøeffekter .....                                   | 66 |
| Fordele og ulemper.....                               | 66 |
| Virksomheder .....                                    | 67 |
| Vidensinstitutioner.....                              | 67 |
| Organisationer .....                                  | 67 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter ..... | 67 |
| Særlige regionale perspektiver .....                  | 67 |
| <br>  |    |
| Brint og brændselsceller                              |    |
| Kort beskrivelse af principper i teknologien .....    | 68 |
| Råvaregrundlag .....                                  | 70 |
| Kommercielt niveau og udviklingspotentialer .....     | 70 |
| Potentielt energibidrag.....                          | 71 |
| Miljøeffekter .....                                   | 71 |
| Fordele og ulemper.....                               | 72 |
| Virksomheder .....                                    | 72 |
| Vidensinstitutioner.....                              | 72 |
| Organisationer .....                                  | 72 |
| Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter ..... | 72 |
| Særlige regionale perspektiver .....                  | 73 |
| <br>  |    |
| Energienheder m.m.....                                | 74 |



## Baggrund og perspektivering

### Globalt pres på ressourcer

Den politiske uro i Mellemøsten har, sammen med en stigende efterspørgsel på energi fra blandt andet Kina og Indien, resulteret i stærkt stigende oliepriser. Ikke mindst i den vestlige verden, som er meget afhængig af importeret energi, har det sat et stærkt politisk fokus på at øge produktionen af vedvarende energi.

### Produktion af vedvarende energi (VE)

Produktionen af VE har i Danmark været i vækst i en årrække og udgør i dag 14% af det samlede energiforbrug. Biomasse udgjorde 39%, affald 31% og vind 20% af VE i Danmark. VE bruges i dag primært til el og varme, mens det kun en ubetydelig del der bruges i transportsektoren.

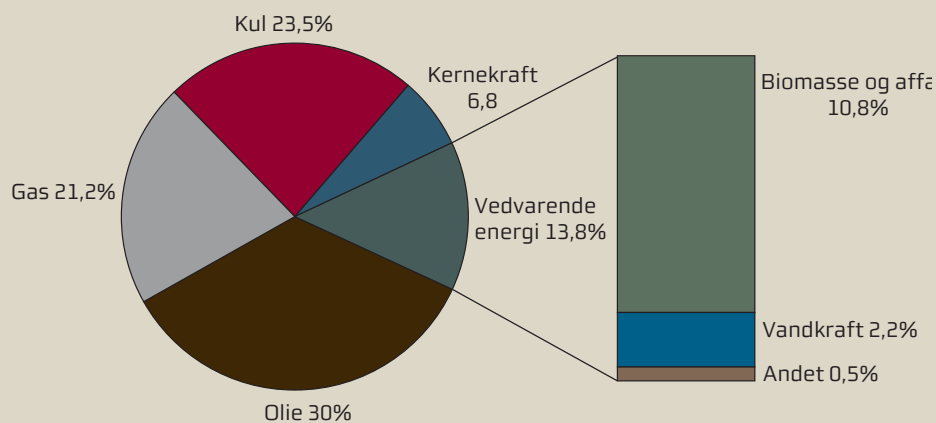
På verdensplan udgør VE ca. 13, 5% af det samlede energiforbrug.

### Potentialer i Region Midtjylland

Udvikling af fremtidens VE-teknologier rummer væsentlige perspektiver for samfundet som helhed, men i særdeleshed for den midtjyske region.

Det hænger blandt andet sammen med, at erhvervsstrukturen i Region Midtjylland er kendetegnet ved en forholdsvis stor fremstillingsindustri med mange små- og mellemstore virksomheder og ca. 125.000 beskæftigede. Tilsvarende har regionen med 1/3 af land-brugsarealet og landbrugsbedrifterne i Danmark en forholdsvis stor landbrugssektor med 25.000 beskæftigede. Dertil kommer at ca. 35.000 er beskæftigede i handels- og serviceerhverv direkte tilknyttet fremstilling og landbrug.

## Fordeling af verdens energiforbrug på energikilder



## Samfundsmæssige og regionale perspektiver ved udvikling af energi- og miljøteknologi

### Samfundsmæssige perspektiver

- Reduceret afhængighed af fossile brændsler
- Jobskabelse og nye eksportmuligheder
- Reduceret emission af drivhusgasser og andre skadelige stoffer
- Andre miljøforbedringer f.eks. via forbedret udnyttelse af husdyrgødning

### Perspektiver for den midtjyske region

- Udviklingsmuligheder for regionens mange fremstillingsvirksomheder
- Udviklingsmuligheder for regionens forholdsvis store landbrugssektor
- Udviklingsmuligheder i servicesektoren f.eks. rådgivning og forskning
- Udnytte et vækstpotentiale udenfor hovedstadsområdet
- Udnytte regional styrkeposition på erhvervs- og virksomhedssiden og i forhold til forskning og udvikling
- Fastholdelse og udvikling af arbejdspladser i landdistrikterne

Region Midtjylland har i modsætning til f.eks. hovedstadsregionen en stærk specialisering inden for de mere traditionelle erhverv som møbler og beklædning og til dels fødevarer ressourceområder, hvor væksten i beskæftigelsen har været vigende. Den midtjyske region skiller sig imidlertid også ud ved en stærk specialisering inden for netop energi- og miljøteknologi. Det skyldes dels store virksomheder som Vestas og Grundfos, men også at mange små- og mellemstore virksomheder i regionen har specialiseret sig på området. Enten med egne produkter eller som underleverandører.

Dertil kommer at Region Midtjylland også har stærke vidensmiljøer på energi- og miljøområdet.

Næst efter medico/sundhed, hvor væksten primært er koncentreret i hovedstadsregionen, er energi og miljø det ressourceområde, hvor der gennem de seneste år har været den største vækst i beskæftigelse. Energi og miljø er ligeledes det ressourceområde, der har haft den største vækst i omsætning og eksport. Eksempelvis er eksporten af energiteknologi for 2004 opgjort til godt 32 mia. kr. og udgjorde godt 7% af den danske eksport. Vindmøller og vindmølleteknologi udgjorde 70% af eksporten. Dertil kommer eksporten af miljøteknologi.

### Sektor under opbygning

Perspektiverne for Region Midtjylland er således at udnytte et oplagt vækstpotentiale indenfor energi- og miljøteknologi ved blandt andet at udnytte erfaringerne fra vindmølleindustrien til at skabe vækst i andre VE-områder. Eksempelvis at danske fremstillings- og serviceerhverv, som i dag leverer udstyr og viden til fødevarer-sektoren, i fremtiden også leverer udstyr og viden til energi- og miljøsektoren, f.eks. dyrkning, høst, forarbejdning og konvertering af biomasse til fremtidens energiformer.

Vindmølleindustrien er i dag koncentreret om få store virksomheder med Vestas og Siemens og en række underleverandørvirksomheder i spidsen. Men det danske vindmølleeventyr blev grundlagt, og har fortsat forankring i, en række små virksomheder. Vidensdeling og brugerdreven innovation vurderes sammen med stabile politiske og økonomiske rammer, at have været væsentlige forudsætninger for udvikling af vindmølleindustrien. Tilsvarende har flere undersøgt samstemmende peget på, at miljøteknologiske innovationer ofte ikke skyldes store radikale gennembrud, men derimod fremkommer ved kombinationen af mere eller mindre kendte teknologier og en systematisk fremme af udnyttelsen af disse.

Væsentlige forudsætninger for udviklingen af nye grene af VE-sektoren er, at rammebetingelserne er til stede. Eksempelvis i form af:

- Kritisk masse af virksomheder
- Marked for teknologien
- Forskning, udvikling, demonstration og uddannelse
- Infrastruktur
- Kapital

#### Kilder:

- *Energistyrelsen 2006. Energistatistik 2004.*
- *Teknologirådet 2006. Høring om Miljøteknologi.*
- *Teknologirådet 2006. Høring om Dansk energiproduktion i fremtiden.*
- *Mandag Morgen Nr. 2 2005. De nye Videnstrategier.*
- *Handelshøjskolen i Århus 2005. Sektoranalyse for husdyrgødning og bio-masseteknologi.*

Indeks for beskæftigelsesmæssig specialisering (100 = gns.) indenfor ressourceområder i 2004

|                            | Region Hovedstaden | Region Sjælland | Region Nordjylland | Region Syddanmark | Region Midtjylland |
|----------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Fødevarer</b>           | 49                 | 126             | 141                | 128               | 112                |
| <b>Møbler / Beklædning</b> | 67                 | 77              | 102                | 102               | 155                |
| <b>Turisme</b>             | 102                | 101             | 118                | 104               | 87                 |
| <b>Bygge / Bolig</b>       | 89                 | 114             | 118                | 105               | 101                |
| <b>IKT</b>                 | 152                | 65              | 77                 | 61                | 96                 |
| <b>Transport</b>           | 81                 | 100             | 98                 | 120               | 97                 |
| <b>Energi / Miljø</b>      | 53                 | 89              | 112                | 123               | 144                |
| <b>Medico/ Sundhed</b>     | 147                | 134             | 79                 | 63                | 65                 |
| <b>Øvrige erhverv</b>      | 128                | 86              | 80                 | 90                | 89                 |

Vækst i Danmark i perioden 1999-2003 fordelt på ressourceområder

|                            | Omsætning | Eksport | Fuldtidsansatte |
|----------------------------|-----------|---------|-----------------|
| <b>Fødevarer</b>           | 13%       | 17%     | -4%             |
| <b>Møbler / beklædning</b> | 9%        | 17%     | -6%             |
| <b>Turisme</b>             | -4%       | i.b.    | 0%              |
| <b>Bygge / bolig</b>       | 12%       | 13%     | -1%             |
| <b>IKT</b>                 | 3%        | 5%      | -5%             |
| <b>Transport</b>           | 21%       | 51%     | -4%             |
| <b>Energi / Miljø</b>      | 36%       | 97%     | 8%              |
| <b>Medico / Sundhed</b>    | 32%       | 37%     | 11%             |
| <b>Øvrige erhverv</b>      | 23%       | 27%     | 6%              |
| <b>I alt</b>               | 16%       | 30%     | -1%             |

# Energi fra biomasse

Biomasse er en fælles betegnelse for organiske produkter fra skovbruget og restprodukter fra den træforarbejdende industri (brænde, flis, træpiller, spåner o. lign.), landbruget (afgrøder, halm, husdyrgødning o. lign.) og restprodukter fra eksempelvis fødevarerindustrien (fiskeolie, animalsk fedt o. lign). Affald (husholdningsaffald, brændbart byggeaffald o. lign) defineres ligeledes ofte som biomasse, men er det ikke i lovteknisk forstand.

Biomasse er en primær energikilde der har været anvendt gennem årtusinder primært til varme. I dag kan biomasse bruges som input i mange forskellige teknologier med forskellige slutprodukter. Biomasse kan således anvendes til produktion af varme, el, gas, brint samt flydende motorbrændstoffer, der kan bruges som erstatning for benzin og dieselolie.

## Særlige regionale perspektiver

Region Midtjylland er en meget stor landbrugsregion med ca. 1/3 af Danmarks landbrugsareal og landbrugsbedrifter og en endnu højere andel af kvæg og svinebedrifter. For den midtjyske region er der stort

udnyttet potentiale i dels at udnytte husdyrgødning til energiformål, og dels at dyrke deciderede energiafgrøder. Ved korrekt valg af råvarer og dyrkningssystem kan opnås en række indirekte miljøfordele, f.eks. reduceret udvaskning af næringsstoffer. Da Region Midtjylland tillige har stærke vidensmiljøer på landbrugs- og miljøområdet, er det et område, hvor regionen har særlige muligheder for at blive en central aktør, også i international sammenhæng.

Som en følge af stærkt stigende konkurrence fra blandt andet Østeuropa er landbrugserhvervet i Danmark under pres. Energiproduktion og miljøbeskyttelse kan derfor blive et udviklingsområde, som kan bidrage til at fastholde beskæftigelse i de primære erhverv i landdistrikterne.

Den midtjyske region har en relativ stor andel af små og mellemstore virksomheder i fremstillingssektoren. Regionens virksomheder har i forvejen en styrkeposition inden for eksempelvis forbrændingsteknologier til træ, halm og affald, spildevandsrensning og miljøteknologi til landbruget. Produkter, hvoraf en stor del i dag sælges til eksport.

I forhold til den regionale erhvervsudvikling ligger der et stort potentiale i at sikre, at det bliver regionens fremstillings- og servicevirksomheder, der bliver leverandører af den viden og det udstyr og teknologi, som skal bruges til f.eks. dyrkning, høst, forarbejdning og konvertering af biomasse til fremtidens energiformer.

Biomasse i form af træprodukter, halm og affald er allerede i dag den mest betydende kilde til vedvarende energi i Danmark.

Biomasse anvendes imidlertid helt overvejende til produktion af varme og el ved afbrænding, hvor der på de fleste områder er tale om modne og fuldt kommercialiserede teknologier.

De områder, der vurderes at have de største udviklingsperspektiver for regionen, er derfor

- Landskabs- og miljømæssig bæredygtig produktion af energiafgrøder
- Konvertering af energi fra biomasse til transportsektoren
- Udnyttelse af husdyrgødning til energiformål.

Se endvidere beskrivelse af særlige regionale perspektiver under de enkelte teknologier.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

|                            | Teknologisk udviklingsniveau | Råvaregrundlag | Afledte miljøgevister | Energiudbytte | Centrale (C)/decentrale (D) anlæg |
|----------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------|
| Direkte afbrænding         | ***                          | ***            | *                     | ***           | C/D                               |
| Affalds-forbrænding        | ***                          | ***            | **                    | -             | C                                 |
| Termisk forgasning         | **                           | ***            | **                    | ***           | C                                 |
| Omsætning til brint        | *                            | ***            | **                    | ?             | ?                                 |
| Biogas                     | ***                          | ***            | ***                   | **            | D/C                               |
| Biomass to liquid          | *                            | ***            | **                    | **            | C                                 |
| Rå planteolie              | ***                          | *              | **                    | *             | D/C                               |
| Biodiesel                  | ***                          | *              | *                     | *             | C                                 |
| Ethanol fra stivelse       | ***                          | **             | **                    | *             | C                                 |
| Ethanol fra lignocellulose | *                            | ***            | **                    | **            | C                                 |

\* = lavt niveau    \*\* = mellemniveau    \*\*\* = højt niveau

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Overstående tabel sammenfatter kommercielt niveau og udviklingspotentialer. Se en mere detaljeret beskrivelse under de enkelte teknologier.

## Potentielt energibidrag

Både på verdensplan og i Danmark er biomasse langt den største kilde til vedvarende energi. I Danmark udgjorde produktionen af vedvarende energi i 2004 godt 14% af det samlede energiforbrug. Biomassens andel af den vedvarende energi var 39%, mens affald udgjorde 31% og vind 20%.

Affald, halm og træ udgør de største kilder til biomasseenergi i Danmark. Ressourcerne af træ og affald udnyttes næsten fuldt ud til energi, mens der ligger et stort uudnyttet biomassepotentiale i halm og ikke

mindst i husdyrgødning, hvoraf i dag under 10% udnyttes til energi. Dertil kommer muligheden for dyrkning af biomasse til energi, som i dag kun sker i meget begrænset omfang (årligt 10-20.000 ha. non-food raps og ca. 1.000 ha. energipil). Biomasse handles i stigende grad internationalt. Al den danskproducerede biodiesel eksporteres således, og der importeres i 2004 træpiller og -flis med et samlet energiindhold på 10 PJ. Øget energiproduktion fra biomasse kan ske via øget udnyttelse af halm og husdyrgødning, ved at udnytte noget af den nuværende landbrugsproduktion til energi (f.eks. græs, korn, raps eller sukkerroer til produktion af biodrivmidler), eller ved at dyrke dedikerede energiafgrøder på noget af den landbrugsjord, som i dag bruges til at producere korn til eksport. Endelig er det også en potentiel mulighed at udnytte akvatisk biomasse (havalger o.l.) eller at importere biomasse. Der er således ingen absolutte grænser for hvor stor en del af det danske energiforbrug, der kan dækkes ud fra biomasse. Et scenarium for, hvor meget biomasseenergi dansk landbrug kan levere uden at gå på

Dansk produktion af biomasse til vedvarende energi i 2004, samt et scenarium for øget leverance af biomasseenergi fra dansk landbrug i fremtiden udarbejdet af forskere ved Danmarks JordbrugsForskning (Jørgensen et al. 2004)

|                                   | 2004         | 2020          |
|-----------------------------------|--------------|---------------|
| Affald                            | 37 PJ        | 37 PJ         |
| Brænde                            | 12 PJ        | 12 PJ         |
| Skovflis                          | 7 PJ         | 7 PJ          |
| Træaffald                         | 6 PJ         | 6 PJ          |
| Træpiller                         | 3 PJ         | 3 PJ          |
| Fiskeolie                         | 1 PJ         | 1 PJ          |
| Biodiesel                         | 2 PJ         | 2 PJ          |
| Halm                              | 18 PJ        | 22 PJ         |
| Husdyrgødning o.l.                | 4 PJ         | 30 PJ         |
| Dyrkning af græs                  | -            | 18 PJ         |
| Høst af græs på engarealer        | -            | 4 PJ          |
| Dyrkning af decid. energiafgrøder | -            | 25 PJ         |
| Skovrejsning                      | -            | 2 PJ          |
| <b>I alt</b>                      | <b>90 PJ</b> | <b>169 PJ</b> |

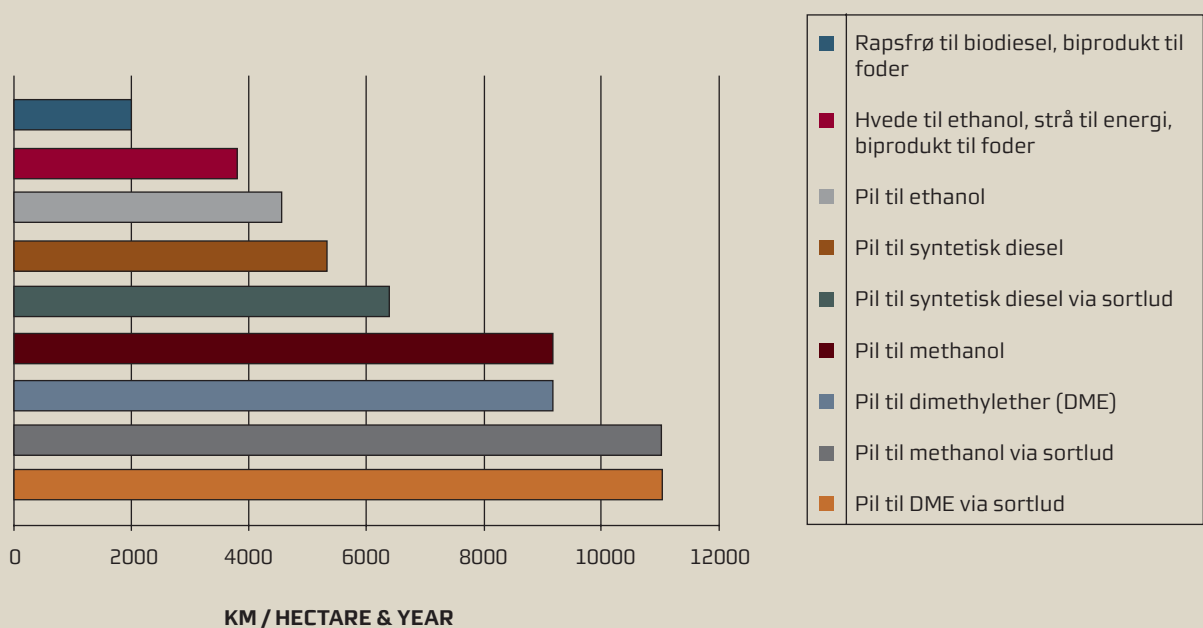
(Til sammenligning producerede danske vindmøller 24 PJ i 2004)

Nettoenergiudbyttet ved dyrkning af biomasse afhænger meget af hvilke afgrøder man dyrker, og hvilket biomasseprodukt man opfatter som slutproduktet. Som et groft overslag kan følgende energiudbytter forventes ved produktion af:

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| ■ pileflis eller helsædsbatter | 150 GJ/ha |
| ■ biogas ud fra kløvergræs     | 65 GJ/ha  |
| ■ ethanol fra helsæd           | 45 GJ/ha  |
| ■ rapsolie eller biodiesel     | 15 GJ/ha  |

Det er tydeligt, at ved fremstilling af forædlede biomasseprodukter til transportsektoren opnås, med den nuværende teknologi, et betydeligt mindre energiudbytte pr. ha. end ved produktion af råvarer til kraftvarmesektoren. Det er således en stor udfordring for teknologiudviklingen at øge effektiviteten i omsætningen til biobrændstoffer til erstatning for alm. olie.

## Transportafstand med tungt køretøj ved forskellig teknologi



Beregning af mulig transportafstand pr. hektar med tungt køretøj ved benyttelse af forskellige afgrøder og konverteringsteknologier. Sortlud er et biprodukt fra papirfremstilling.  
Figur fra præsentation af Volvo Technology Corporation, P. Klintbom, 2005.

Ovenstående tabel er et eksempel på beregninger, der viser hvor mange km., der kan køres pr. år pr. hektar ved kombination af forskellige dyrkningssystemer og energiteknologier.

## Miljøeffekter

Biomasse er CO<sub>2</sub>-neutrale energikilder. Den samlede miljøgevinst afhænger dog af mange andre faktorer.

Sammenfattende kan det konkluderes, at afledte miljøgevinster og maksimalt energiudbytte afhænger ikke kun af valg af konverteringsteknologi, men i mindst lige så høj grad af valget af råvare eller dyrkningssystem til produktion af råvaren. F.eks. vil udnyttelse af græs fra vedvarende engarealer i biogasanlæg kunne fjerne næringsstoffer fra ådalene og dermed bidrage til et renere vandmiljø.

Et andet eksempel på effekt af dyrkningssystem er, at ved at dyrke flerårige energiafgrøder (f.eks. pil og elefantgræs) frem for energikorn, vil den samlede drivhusgasfortrængning ved produktion af samme energimængde øges, samtidig med at nitratudvaskningen mindskes.

Endelig bør landskabsmæssige påvirkninger tages i betragtning.

## Virksomheder

### Primær sektor

Landbrug: Region Midtjylland har 1/3 af landbrugsarealet og godt en 1/3 af landbrugsbedrifterne i Danmark. Landbruget er potentiel leverandør af afgrøder og husdyrgødning til energiformål. Nogle landmænd driver endvidere biogasanlæg.

### Sekundær sektor

Regionen har et forholdsvis stort antal små og mellemstore virksomheder, der udvikler og producerer procesudstyr og kedelanlæg til biomasse og affald. Der er ligeledes et antal små og mellemstore virksomheder, der leverer procesudstyr og hele anlæg til biogas. Men også store virksomheder som Grundfos (biodiesel, bigas og gyllebehandling) og DONG Energy (afbrænding, ethanol) har betydelige aktiviteter på området. Der er i regionen et meget stort antal virksomheder, der producerer udstyr og maskiner til landbrugs- og fødevarersektoren. En del af disse vil forholdsvis let kunne omstilles til at producere udstyr til dyrkning, høst, forarbejdning og konvertering af biomasser til fremtidens energiformer.

## Vidensinstitutioner

Der er udført dansk forskning og udvikling inden for biomasseområdet i en årrække, og Danmark har

vidensmiljøer på højt internationalt niveau. Danmarks JordbrugsForskning, DTU, Teknologisk Institut, Danmarks Miljøundersøgelser, Risø og Landbohøjskolen er blandt de væsentligste aktører på området.

I regionen har følgende institutioner betydelige aktiviteter på området:

### Danmarks JordbrugsForskning (DJF) i Foulum og Horsens ([www.agrsci.dk](http://www.agrsci.dk))

Forskning og udvikling med særlige kompetencer vedr. energiafgrøder, husdyrgødning, biogas, næringsstofkredsløb, livscyklusanalyser og miljøpå-virkning.

### Teknologisk Institut, Århus ([www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk))

Forskning, udvikling og rådgivning samt prøvning og certificering med særlige kompetencer vedrørende forbrændings- og forgasningsteknologier til biomasse og biodiesel.

### Danmark Miljøundersøgelser, Silkeborg ([www.dmu.dk](http://www.dmu.dk))

Forskning. Afdeling for Terrestrisk Økologi har særlige kompetencer vedr. miljø- og klimapåvirkninger ved dyrkning af forskellige former for biomasse.

### Aarhus Universitet ([www.au.dk](http://www.au.dk))

Forskning og uddannelse. Biologisk Institut har særlige kompetencer vedr. mikrobiel omsætning og biosensorer i relation til forgasning og forgæring af biomasser.

### Videnscenter for husdyrgødnings- og biomasseteknologi ([www.manure.dk](http://www.manure.dk))

Et forskningsbaseret videnscenter, hvor en bred kreds af forskere, institutioner, virksomheder og organisationer fra hele landet samarbejder om forskningsprojekter, teknologiudvikling og formidlingsopgaver. Centeret har sekretariat på Danmarks JordbrugsForskning i Foulum

### Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation - CBMI i Foulum ([www.cbmi.dk](http://www.cbmi.dk))

Virksomhedsrettet teknologicenter med fokus på udvikling, uddannelse og certificering indenfor bioenergi og miljøteknologi.

### **Agro Business Park (ABP) i Foulum ([www.agropark.dk](http://www.agropark.dk))**

Forskerpark etableret i tilknytning til Danmarks JordbrugsForskning. Huser en række virksomheder med særlig fokus på energi- og miljøteknologi.

### **Ingeniørhøjskolen i Århus ([ww.iha.dk](http://www.iha.dk))**

Udannelse af diplomingeniører inden for maskiner og bioproceteknologi samt civilingeniører indenfor procesteknologi. Begge niveauer med særlig fokus på blandt andet biobrændsler, affald, spildevand og gylle.

### **Maskinmesterskolen skolen i Århus ([www.amms.dk](http://www.amms.dk))**

Uddannelse af maskinmestre blandt andet med særlig fokus på drift og vedligehold af større energianlæg.

## **Organisationer**

### **Danbio – Dansk Biomasse Forening ([www.danbio.info](http://www.danbio.info))**

Interesseorganisation der har til formål at fremme anvendelsen af biomasse i energiforsyningen og til industrielle formål på et bæredygtigt grundlag.

### **Brancheforeningen for Biogas ([www.biogasbranchen.dk](http://www.biogasbranchen.dk))**

Brancheforening der repræsenterer alle aktører med interesse i biogas.

### **DAKOFA - Dansk Komité for Affald ([www.dakofa.dk](http://www.dakofa.dk))**

Medlemsorganisation for centrale og lokale myndigheder, private organisationer, forskningsinstitutioner, kommunale affaldsselskaber, affaldsproducenter, affaldsbehandlere, vognmænd, rådgivere og leverandører inden for affaldsområdet.

### **RenoSam ([www.renosam.dk](http://www.renosam.dk))**

Sammenslutningen af 35 fælleskommunale affaldsselskaber og kommuner i Danmark og på Færøerne. Varetager blandt andet medlemmernes interesser vedr. affaldsforbrænding.

### **Affald Danmark ([www.affald danmark.dk](http://www.affald danmark.dk))**

Interesseorganisation for affaldsbehandlingsvirksomheder

## **Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter i Region Midtjylland**

### **IBUS-projektet m.m**

DONG Energy har i samarbejde med blandt andre Landbohøjskolen og Risø etableret verdens største procesdemonstrationsanlæg til produktion af ethanol ud fra halm. DONG Energy har fået miljø-tilladelse til at etablere et bioethanol anlæg i forbindelse med Studstrupværket. Anlægget skal i første omgang drives på grundlag af korn, men det er intentionen af anlægget på længere sigt skal drives på halm og andre restprodukter.

### **Animalsk biodiesel**

DAKA Bioindustries i Løsning har etableret et testanlæg, som viser at det er teknisk muligt at producere biodiesel på grundlag af animalske restprodukter (slagteriaffald o. lign). DAKA's bestyrelse har besluttet at etablere et fuldskalaanlæg til produktion af 50.000 ton biodiesel årligt.

### **Demonstration af biodiesel**

Teknologisk Institut har i samarbejde med DAKA, Emmelev Mølle, OK og Statoil iværksat et udviklings- og demonstrationsprojekt om anvendelse af biodiesel.

### **Måbjerg Bioenergy ([www.maabjerg-bioenergy.dk](http://www.maabjerg-bioenergy.dk))**

Et konsortium bestående af blandt andre landmænd, Norvestforsyning, Nomi og Elsam er i færd med at etablere verdens største biogasanlæg i tilknytning til Måbjerg Værket i Holstebro. Det er intentionen, at fiberfraktionen fra gyllen skal afbrændes på Måbjerg Værket. Der planlægges endvidere etableret en brint-tankstation i forbindelse med anlægget.

### **Forsøgs- og testfaciliteter til biogas og gylleseparation**

Danmarks JordbrugsForskning er i Foulum i færd med at etablere forsøgs- og testfaciliteter til biogas og gylleseparation i stor skala.

### **Produktion af biomasse til energiproduktion**

Udviklingsprojekt og demonstrationsprojekt om dyrkning og forarbejdning af afgrøder til energiproduktion med deltagelse af blandt andre Danmarks JordbrugsForskning, DTU, Dansk Landbrugsrådgivning og virksomheder

---

### **Test, certificering og deklarering**

Udviklingsprojekt om udvikling af metoder til certificering, deklarering og test af råvarer og produkter indenfor biomasse og husdyrgødning med deltagelse af blandt andre Teknologisk Institut, Danmarks JordbrugsForskning, Syddansk Universitet og Dansk Landbrugsrådgivning.

# Biomasse-teknologier

## Direkte afbrænding til varme og kraftvarme

### Brændeovne og -fyr

Afbrænding af biomasse for at opnå varme er den ældste og mest velkendte udnyttelsesmetode. Simpel teknologi er stadig meget udbredt i form af brændeovne og brændekedler. Der er sket et stort udviklingsarbejde i de seneste år for at forbedre energiudnyttelsen og minimere emissionerne fra disse mindre fyringsanlæg. Virkningsgraden for brændekedler er således steget fra under 50 % for godt 10 år siden til i dag ca. 90 % for de mest effektive kedler.

### Træpillefyr

Træpillefyr er en anden decentral teknologi til varme- og kraftvarmeproduktion, som har gennemgået en kraftig teknisk udvikling og opnået en stor markedsandel i de seneste år. De nyeste træpillefyr kan drives med næsten så lidt pasning som olie og giver for den enkelte forbruger en betydelig besparelse i forhold til fyring med olie. Der er et vist energiforbrug til pillepresning, men det udgør få procent af træets energiindhold, og træpiller er nemmere at transportere og opbevare end træflis og brænde.

### Decentral kraftvarme

Decentral kraftvarmeproduktion er vanskelig at opnå økonomi i ved traditionel damp teknologi, og der arbejdes derfor med at udvikle forgasningsteknologier hertil. Helt små, decentrale kraftvarmeanlæg (gårdanlæg, landsbyvarme) har hidtil ikke været aktuelt, fordi kraftproduktionen kræver mere styring og pasning. Der er dog udviklet enkelte decentrale anlæg baseret på den såkaldte Stirlingteknologi, der er meget robust og ikke kræver megen pasning. Selvom elvirkningsgraden af Stirling-motorer er noget mindre end for centrale kraftvarmeanlæg, har det værdi at kunne omsætte en del af energien ved decentral varmeproduktion til elektricitet.

### Central kraftvarme

På større centrale fjernvarmeanlæg og ikke mindst på kraftvarmeanlæg er ligeledes sket en kraftig teknologiudvikling, som har bidraget til at øge virkningsgraden og reducere omkostningerne. Danmark har været det land i verden, som har fokuseret mest på at udnytte halm til kraftvarme, hvilket er vanskeligt, fordi

der ved forbrænding af halm dannes saltsyre som kan forårsage kraftig korrosion af kedlerne. Det er lykkedes at udvikle fuldskala halmfyrede kraftvarmeanlæg, der fungerer tilfredsstillende, og som kan bidrage til teknologiekspert. Disse anlæg er dog forholdsvis dyre, og forskellige firmaer undersøger derfor fortløbende andre muligheder for at udnytte halmens energi så kosteffektivt som muligt.

### **Råvaregrundlag**

Til direkte biomasseafbrænding anvendes faste og forholdsvis tørre brændsler, såsom træ, træpiller og halm. Træflis kan dog af-brændes med op til 45-55% vand i fjernvarmeanlæg, og hvis der er installeret røggaskondensering, genvindes energitabet fra fordampning af det høje vandindhold. De lokalt tilgængelige ressourcer af træ og halm kan suppleres med import (hvilket i høj grad er tilfældet med flis og træpiller) eller med dyrkning af dedierede energiafgrøder. Fiberfraktionen fra husdyrgødning (eller evt. hele gødningen) er en potentiel råvare til afbrænding,

som er kommet i fokus i forbindelse med planerne om bygning af et stort biogasanlæg ved Måbjerg.

### **Kommercielt niveau og udviklingspotentialer**

Varmer- og kraftvarmeteknologier er fuldt kommercielt udviklede og tilgængelige i mange forskellige størrelser og tekniske niveauer. Samtidigt foregår naturligvis en kontinuert udvikling og optimering, der dog ikke indebærer væsentlige teknologispring. En undtagelse er arbejdet med at udnytte den såkaldte Stirlingmotor til decentral kraftvarmeproduktion helt ned til gårdanlægsstørrelse. Firmaet Stirling Danmark har netop modtaget midler fra en række fonde for at etablere verdens første kommercielle produktion af biomassefyrede Stirlingmotorer. Produktionen formodes at blive placeret omkring Herning.

Afbrænding af biomasse til energiproduktion er fritaget for energi- og CO<sub>2</sub>-afgift, hvilket betyder at biomasse er betydeligt billigere end fossilt brændsel ikke mindst for private forbrugere.

## Fordele og ulemper ved direkte afbrænding

### Fordele

- Kommercielt tilgængelig teknologi
- Privatøkonomisk konkurrencedygtig
- Højt nettoenergiudbytte

### Ulemper

- Kan ikke udnyttes i transportsektoren (elbiler dog en mulighed)
- Ofte høje emissioner fra små anlæg (brændeovne)
- Reduktion af jordens kulstofindhold
- Deponi af aske
- Højt vandindhold i brændslet giver øget transport

Der er til gengæld også større anlægs- og pasningsomkostninger forbundet med at udnytte biomasse. For brændeovne og små kedelanlæg bliver en stor udfordring i fremtiden ligeledes at reducere partikel-emissionen.

### Miljøeffekter

Nettoenergiudbytte og CO<sub>2</sub>-fortrængning er forholdsvis højt ved udnyttelse af overskudsbiomasse eller afbrænding af hele afgrøder. Det hænger også sammen med, at forbruget af procesenergi ved fremstilling af varme og el er lavt. Størrelsen af CO<sub>2</sub>-fortrængningen afhænger dog af, om der fortrænges kul, olie eller naturgas.

Afbrænding af biomasse fra jordbruget vil påvirke kulstofbalancen i jorden. Således vil afbrænding af halm frem for nedmuldning på marken reducere jordens kulstofindhold. Dette bør indregnes i en samlet drivhusgasbalance for hele kæden, fra jordbrugsproduktion til energiudnyttelse, såvel som emissionen af andre drivhusgasser i jordbruget. Dyrkning af flerårige energiafgrøder, hvor jorden ikke iltes årligt i forbindelse med jordbehandling, giver ikke anledning til reduktion i jordens indhold af kulstof. Det er tvært imod muligt, at dyrkningen kan bidrage til en opbygning af kulstof i jorden.

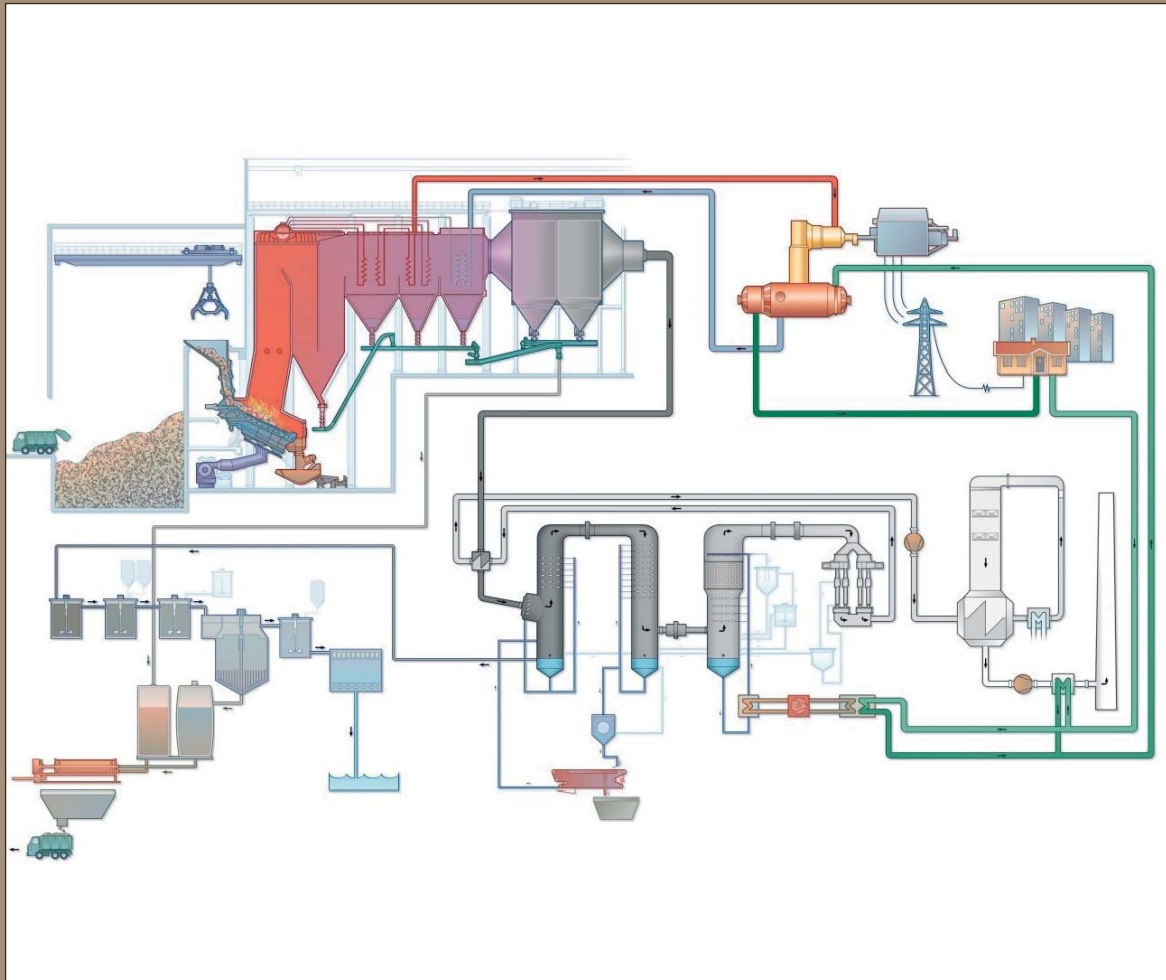
Partikelemission ved afbrænding af biomasse i anlæg uden avanceret styring og uden røgrænsning kan være et alvorligt problem, således som det er påvist med brændeovne. På større biomasse-fyrede anlæg er der

installeret avanceret røgrænsning til opfangning af partikler og til bl.a. NO<sub>x</sub>-reduktion.

Asken fra forbrændingen indeholder dels næringsstoffer, som det vil være værdifuldt at returnere til jordbruget. Men asken indeholder også tungmetaller, til tider i en mængde som overskrider grænseværdierne i »bioaskebekendtgørelsen«, således at det er nødvendigt at deponere asken. Tungmetalkoncentrationerne er højest i flyveaske og mindst i bundaske, som derfor oftest kan udsprede i jordbruget.

### Særlige regionale perspektiver

Region Midtjylland har mange virksomheder og en del vidensinstitutioner der beskæftiger sig med afbrændingsteknologier. På langt de fleste områder er der imidlertid tale om fuldt udviklede og kommercialiserede teknologier. Udvikling af afbrændingsteknologier er derfor ikke et oplagt udviklingspotentiale for regionen.



Princippet i et affalds-forbrændingsanlæg.

## Affaldsforbrænding

Affald er ikke blot et miljøproblem, men ofte også en energiresource, som det gælder om at udnytte på en effektiv måde.

Et affaldsforbrændingsanlæg består af følgende hovedkomponenter: et modtage- og indfyringsanlæg, en eller flere ovne med tilhørende slaggeanlæg, kedler, røggasrensingsanlæg og skorsten(e).

Affaldet indvejes på en brovægt. Ved modtagelsen kontrolleres oprindelse og transportør, f.eks. via ind

læsning af magnetkode. Desuden kontrolleres om affaldet er korrekt anvist m.m. Det affald, der ikke indfyres straks, lægges i siloen som bufferlager.

Traditionelt anses forbrændingsristen for at være den centrale del i et affaldsforbrændingsanlæg. Ristens opgaver er at bære, transportere, blande og belufte brændselslaget, så en optimal forbrænding og udbrænding kan finde sted. Affaldet skubbes ind på den ene ende af risten. På vejen hen over risten mod slaggefaldet tørres, afgasses, antændes, forbrændes,

## Fordele og ulemper ved affaldsforbrænding

### Fordele

- Udviklet og kommerciel tilgængelig teknologi
- Reduceret deponering af affald
- Reduceret drivhusgasemission

### Ulemper

- Affaldsprodukter i form af flyveaske, slagge og spildevand
- Overskud af varme især i sommerperioden
- Konstant råvaretilførsel som ikke kan tilpasses behov for el og varme

udbrændes og forslagges affaldet. Varmen fra forbrændingen omsættes til damp som driver en el-generator. Restvarmen anvendes til fjernvarme. Røggassen indeholder faste og gasformige forbrændingspunkter. På vej gennem kedlen afkastes eller afsættes grovere askepartikler svarende til ca. 5 g/kg affald. Disse forureninger kan reduceres ved filtrering, absorption, adsorption og/eller katalytisk under tilsætning af vand og kemikalier.

På danske forbrændingsanlæg anvendes to forskellige røggrensningmetoder. Tendensen har været, at mindre anlæg er udstyret med tørre eller semitørre metoder, mens større anlæg anvender våde. Der findes dog også nogle hybrider, dikteret af ombygning og tilpasning til eksisterende udstyr. Helt nye linier med stor forbrændingskapacitet, der er i drift eller under bygning i Danmark, udstyres med våde systemer kombineret med adsorption af dioxin og tungmetaller.

Affaldscenter Århus Nord er eksempel på et affaldsforbrændingsanlæg. Anlægget har tilladelse til forbrænding af 200.000 tons affald om året, hvilket giver ca. 430.000 MWh fjernvarme og 120.000 MWh el til de offentlige net.

### Råvaregrundlag

Danskerne producerer ca. 13 mio. tons affald hvert år, svarende til 2,4 tons affald per indbygger. Husholdningsaffald udgør ca. 1/4 af affaldet og er den primære

kilde, men også noget bygge- og industriaffald er forbrændingsegnet. For Region Midtjyllands vedkommende udgør den forbrændingsegnede mængde affald ca. 660.000 tons/år.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Affaldsforbrænding er i dag en fuldt udviklet og moden teknologi. Der vil dog fortsat kunne ske effektivitetsforbedringer via den løbende udvikling.

De danske affaldsforbrændingsanlæg har derudover et uudnyttet energipotential som i dag udledes som vanddamp med røggassen. Denne energimængde vil i fremtiden kunne udnyttes via etablering af røggaskondensering. Teknologien anvendes allerede i Sverige.

Stort set alt brændbart affald bliver i dag udnyttet.

### Miljøeffekter

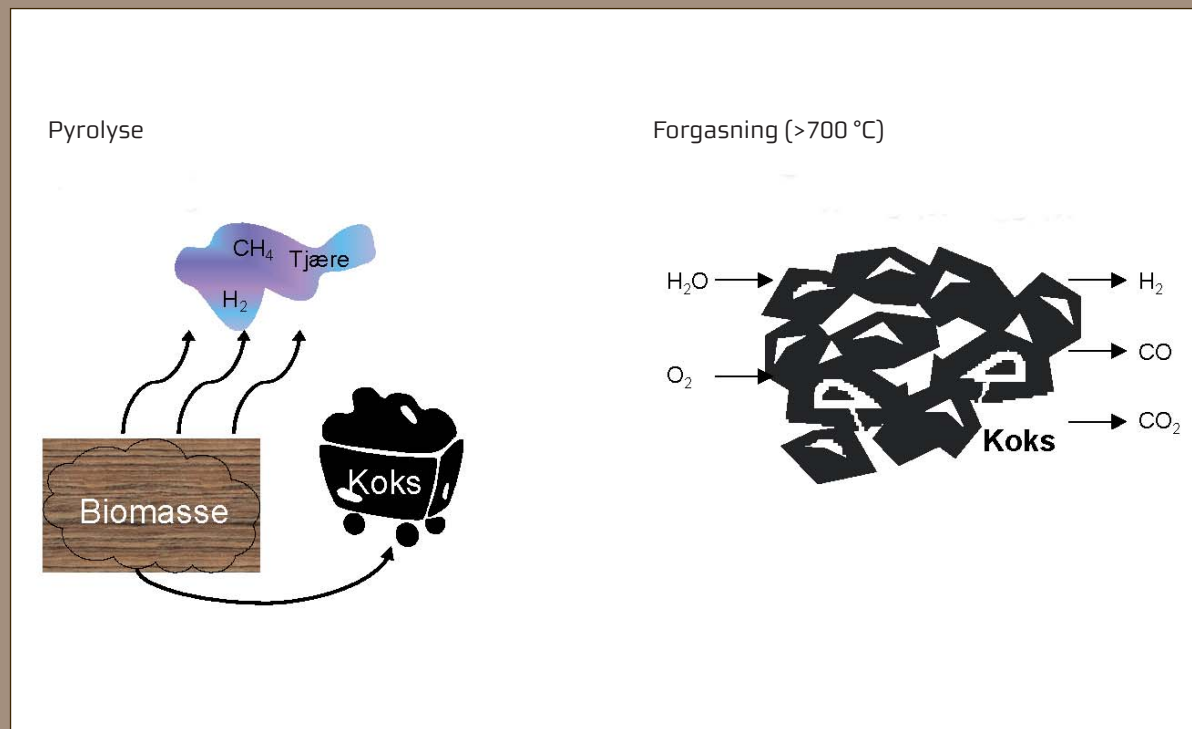
Affald indeholder en række miljøfarlige stoffer f.eks. tungmetaller og PVC, som genfindes enten i slaggen eller i skorstensafkastet. Luftforureningen består helt overvejende af den udsendte røggas. Gassen indeholder støv (flyveaske), sure gasser, NOx, tungmetaller og dioxiner. Røggrensning har i væsentlig grad bidraget til reducere luftforureningen. Slaggen deponeres på grund af det høje indhold af tungmetaller.

Selv om affaldsforbrændingsanlæggene giver anledning til forurening i form af luft- og vandforurening

samt genererer affald, forebygger de samtidig anden form for forurening: Methandannelse ved deponering af husholdningsaffald. Methan er en gas der har en 21 gange højere drivhuseffekt end CO<sub>2</sub>. Forbrænding af affald fortrænger ligeledes afbrænding af fossile brændsler til produktion af varme og el.

### **Særlige regionale perspektiver**

Region Midtjylland har en del virksomheder og enkelte vidensinstitutioner, der beskæftiger sig med affaldsforbrændning. På langt de fleste områder er der imidlertid tale om fuldt udviklede og kommercialiserede teknologier. Udvikling af afbrændingsteknologier til affald vurderes derfor ikke som et oplagt udviklingspotentiale for regionen.



Princip ved pyrolyse (iltfri opvarmning) og efterfølgende termisk forgasning af biomasse

## Termisk forgasning

Termisk forgasning er en gammelkendt termisk proces (f.eks. gengasgeneratorer på biler under 2. verdenskrig), hvor den flygtige gasformige del af et fast brændsel adskilles fra en fast kulholdig koksdel. I første del af processen, der også kaldes også for pyrolyse (se figur), opvarmes organisk materiale uden tilstedeværelse af ilt. Ved den efterfølgende termiske forgasning opvarmes den dannede tjære og koks yderligere til høj temperatur (700-2000°C). Derved omdannes organisk materiale til en brændbar gas, der primært består af brint, kulmonoxid, metan og kuldioxid samt tjære.

Gassen kan efterfølgende anvendes i motor/generatoranlæg, der producerer elektricitet og varme. I større anlæg kan gassen endvidere anvendes i gasturbine, hvor der kan opnås en relativ høj el-virkningsgrad. Ved rensning og forædling af gassen vil den kunne anvendes til motorkøretøjer.

Målet med at forgasse biomasse er bl.a. at kunne opnå en højere elvirkningsgrad og at fjerne nogle af de uønskede stoffer i biomassen inden forbrændingen.

På Danmarks Tekniske Universitet (DTU) er der udviklet en to-trinsforgasser, der sigter på decentral kraftvarme. Sammenlignet med de fleste andre forgasningsprocesser, har tottrinsprocessen de fordele, at den producerer en praktisk talt tjærefri gas og har høj energieffektivitet

### Råvaregrundlag

Til termisk forgasning kan anvendes et bredt spektrum af faste biomasser som træ/træflis, halm og fast husdyrgødning. Forgasning har hidtil mest været anvendt til træ og halm, men processen har også vist sig velegnet til behandling af husdyrgødning. Det kræver dog at husdyrgødningen tørres før forgasningen.

## Fordele og ulemper ved termisk forgasning

### Fordele

- Næsten alle former for fast biomasse kan udnyttes til forgasning.
- Der er mindre problemer med kedeltæring end ved traditionel forbrænding.
- Den dannede koks har et lavt indhold af tjære og PAH og næringsstofferne kan relativt let genanvendes som gødning

### Ulemper

- Metoden er stadig relativt dyr

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Forgasning er stadig en teknologi på demonstrations- og udviklingsstadiet, og der findes kun få kommercielle anlæg i Danmark. Teknikken er stadig relativt dyr, især i lille skala. Teknikken har dog et potentiale for at blive rentabel, i det elvirkningsgraden kan øges og problemer med kedeltæring, der ofte er et problem ved anvendelse af biomasse til traditionel forbrænding, kan reduceres. Forgasning kan i fremtiden blive grundlag for produktion af brint til brændselsceller.

Termisk forgasning har potentiale til behandling af husdyrgødning, og kan give mulighed for lettere eksport af næringsstoffer fra husdyrtætte områder. I asken findes næringsstofferne i koncentreret form, og er dermed billigere at transportere. Firmaet Samson Biomatech i Bjerringbro arbejder eksempelvis med at udvikle en teknik til varmeproduktion ved termisk forgasning af fiberfraktion fra separeret gylle.

I Skive er man i foråret 2006 i gang med at opføre Europas største forgasningsanlæg til el og varmeproduktion i forbindelse med et fjernvarmeanlæg. Anlægget er på 24MW af fluidbed typen og skal fødes med træpiller.

### Miljøeffekter

Nettoenergiudbytte og CO<sub>2</sub>-fortrængning er forholdsvis højt ved udnyttelse af overskudsbiomasse eller afbrænding af hele afgrøder. Det hænger også sammen med, at forbruget af procesenergi ved fremstilling af varme og el er lavt.

Emissionen af partikler, PAH og tjære fra forgasningsanlæg er lav. Der kan være problemer med høj NOx- og CO-emission, men det kan løses med brug af passende forbrændingsteknik og evt. anvendelse af katalysatorteknik.

### Særlige regionale perspektiver

Forgasningsteknologien er endnu på udviklingsstadiet. Teknologien er interessant fordi den ud over traditionelle biomasser som træ, halm og afgrøder også kan anvendes til fiberfraktionen fra husdyrgødning. En styrke ved teknologien er endvidere at gassen har flere forskellige anvendelsesmuligheder. Den kan afbrændes direkte til varme og el, raffineres til gas til motorkøretøjer eller som grundlag for produktion af brintbærende stoffer til brændselsceller.

Region Midtjylland har et meget stort biomassepotentiale (afgrøder og husdyrgødning), og der er mange virksomheder i regionen, der beskæftiger sig med området. Den meget specifikke forskningskompetence i Danmark inden for forgasningsteknologi er primært koncentreret på DTU i Lyngby. Regionen Midtjylland har imidlertid forskning på højt internationalt niveau hvad angår eksempelvis miljørigtig produktion og forbehandling af biomasser. Regionens virksomheder og vidensinstitutioner vil derfor specielt på råvaresiden være interessante samarbejdspartnere på både nationalt og internationalt niveau. Samlet set vurderes teknologien at rumme et interessant udviklingspotentiale for regionen.

## Omsætning af biomasse til brint

Brint forventes at blive en vigtig fremtidig energibærer, der effektivt kan omsættes til el og varme i brændselsceller i biler, huse, mobiltelefoner osv. Brint kan produceres ud fra strøm fra f.eks. vindmøller, når der er overskudsproduktion, men der er også muligheder for at producere brint eller brintbærende stoffer (f.eks. methanol eller methan) ud fra biomasse. Der arbejdes med en række forskellige procesveje dels biologiske, dels termokemiske.

Brint kan produceres biologisk ved omsætning af biomasse med bakterier og/eller alger med eller uden lys som energikilde til processen eller ved en forgasning, hvorfra brinten kan oprenses.

Brintbærende stoffer som methan, methanol eller dimethylether (DME) kan produceres ved bioforgasning eller ved termisk forgasning af biomasse og efterfølgende katalytisk syntese. Brintbærende stoffer kan i visse brændselsceller anvendes som et alternativ til brint.

Brintproduktion kan foregå på centrale eller decentrale anlæg.

### Råvaregrundlag

Da brint kan produceres både i en våd proces ved mikrobiologisk omsætning og ved termisk forgasning, kan i princippet alle typer biomasse omsættes til brint. Afgørende for råvarevalget bliver hvilke processer, der kan udvikles mest effektivt set i relation til pris, tilgængelighed og miljøprofil for råvaren.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Brintteknologien som sådan er endnu ikke kommercielt tilgængelig i større omfang. Men der satses i udlandet meget store forsknings- og udviklingsmidler på

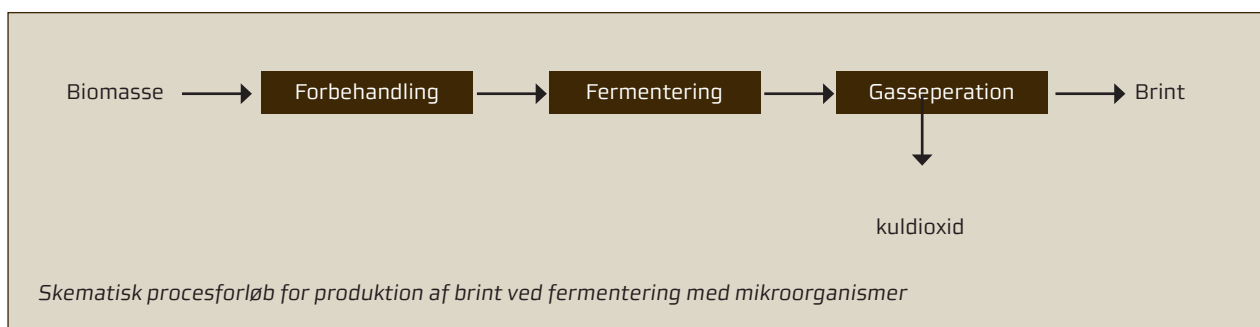
at opnå de landvindinger, som kan indfri teknologiens potentiale. Et stort ønske er at kunne inddrage vedvarende energi som råvare til brintfremstilling på en effektiv måde. Omsætning af biomasse til brint vil bidrage til at opgradere biomassens anvendelsesmuligheder bl.a. til transportsektoren.

Dette er dog stadig på forsknings- og udviklingsstadiet, hvor effektiviteten i omsætningen forsøges øget.

Et par eksempler på den igangværende dansk forskning er: DTU og COWI deltager i et EU-projekt, hvor sammenbygning af forgasningsanlæg og SOFC-brintceller har til formål at øge elvirkningsgraden til omkring 50% ([www.biocellus.de](http://www.biocellus.de)). DTU og Novozymes arbejder på at udvikle et biokatalytisk raffinaderikoncept. I konceptet omdannes biomasse såsom halm, husdyrgødning og energiafgrøder til brint, ethanol og metan ved biologiske fermenteringsprocesser. Ethanol og metan kan herefter omdannes til brint i katalytiske processer. Ved at kombinere bioteknologiske og kemiske processer ønskes opnået en mere effektiv omdannelse af biomasse til brint, end der kan opnås ved de enkelte processer alene.

### Miljøeffekter

Omsætningen af brint til energi er i sig selv miljøneutral, idet der kun udledes vand fra processen. En miljøvurdering af brintproduktionen vil dels afhænge af hvor effektivt processerne kan udvikles, hvilke affaldsprodukter der genereres, og miljøprofilen for de råvarer som udnyttes til brintfremstillingen. Når de første fuldskalaanlæg til brintproduktion planlægges er det vigtigt at gennemføre en miljøvurdering af forskellige kombinationer af råvarer og processer.



## Fordele og ulemper ved omsætning af biomasse til brint

### Fordele

- Brint fremstillet ud fra biomasse bidrager til at inddrage vedvarende energi i »brintsamfundet«
- Brint har mange forskellige anvendelsesmuligheder.
- Bredt råvaregrundlag
- Reduceret drivhusgasemission i forhold til brint produceret på basis af f.eks. naturgas

### Ulemper

- Processerne er stadig på forsknings- og udviklingsstadiet
- Uvist om processerne kan udvikles tilstrækkeligt økonomisk konkurrencedygtige

### Særlige regionale perspektiver

Teknologier til omsætning af brint er endnu på udviklingsstadiet. Teknologien er interessant, fordi den ud over traditionelle biomasser som træ, halm og afgrøder også kan anvendes til f.eks. fiberfraktionen fra husdyrgødning.

Slutproduktet er brint. Teknologien giver derfor én interessant kobling til brændselscelleteknologien. Det er dog endnu uvist hvornår og i hvilket omfang brintteknologien får sit kommercielle gennembrud. Det er derfor også uvist hvornår og i hvilket omfang der er afsætning for brint.

Region Midtjylland har et meget stort biomassepotentiale (afgrøder og husdyrgødning), og der er mange virksomheder i regionen, der beskæftiger sig med området. Den meget specifikke forskningskompetence vedrørende teknologien til omsætning af biomasse til brint er primært koncentreret på DTU i Lyngby.

Regionen Midtjylland har imidlertid forskning på højt internationalt niveau hvad angår eksempelvis miljørigtig produktion og forbehandling af biomasser, og desuden i produktion af biogas, der som brintbærer kan benyttes i brændselsceller. Regionens virksomheder og vidensinstitutioner vil derfor specielt på råvaresiden være interessante samarbejdspartnere både på nationalt og internationalt niveau.

Samlet set vurderes teknologien at rumme et interessant udviklingspotentiale for regionen.

## Biogas

Ved lagring af husdyrgødning og andet organisk materiale under iltfrie (anaerobe) forhold dannes bl.a. gasserne metan og kuldioxid. Denne blanding af gasser kaldes samlet for biogas.

Metangasudviklingen sker under medvirken af forskellige typer mikroorganismer. Først sker en nedbrydning af organisk materiale til mere simple forbindelser, der derefter kan udnyttes af specialiserede metan-producerende bakterier.

Det er nemmest at håndtere flydende materiale ved biogasproduktion, da det kan omrøres og pumpes, og gylle og spildvandsslam udgør som regel grundsubstansen ved biogasproduktion i Danmark.

Biogassen anvendes som regel til varmeproduktion eller kombineret el- og varmeproduktion. El-produktion kan ske med store gasdrevne motorer, der driver en generator. Der vil altid være en vis varmeproduktion, da motor og generator skal køles. En del af varmeproduktionen anvendes til opvarmning af reaktoren. Den bedste energiudnyttelse fås, hvor overskudsvarmen kan udnyttes året rundt, f.eks. i fjernvarmeanlæg. Det er også muligt at bruge biogas til køretøjer efter en rensning og komprimering af gassen. Det kræver dog et ekstra energiforbrug at komprimere gassen, og det er forholdsvis dyrt. I Sverige er det muligt på en række tankstationer at købe biogas. Biogas kan desuden udnyttes i almindelige forbrændingsmotorer eller i brændselsceller.

Der skelnes mellem biogas-gårdanlæg og fællesanlæg. Fællesanlæg får leveret husdyrgødning fra flere landbrugsbedrifter og er normalt større anlæg

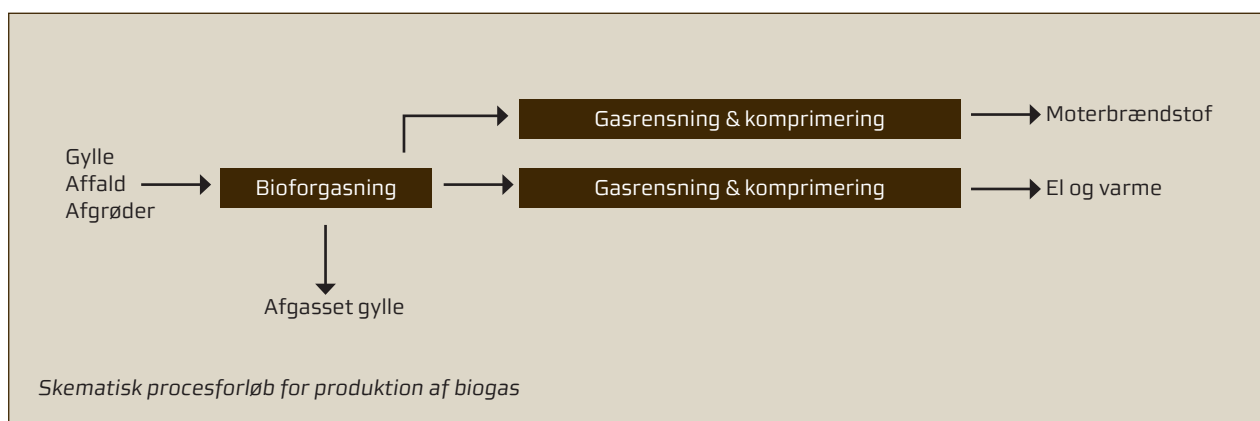
### Råvaregrundlag

I Danmark er spildevand og gylle normalt det vigtigste udgangsmateriale ved biogasproduktion, men for at få økonomien i biogasanlæg til at hænge sammen, er det nødvendigt at tilføje andet organisk materiale til gyllen. Nogle af de affaldstyper, der tilføres til biogasanlæg, er affald fra fødevarerindustri, fiskeaffald, mave-tarmindhold fra slagterier samt fedt og slam fra rensningsanlæg. En anden mulighed kan være at tilføje plantemateriale, fx kløvergræs eller ensilage. Denne mulighed anvendes i dag kun i meget begrænset omfang i Danmark, mens i Tyskland anvendes bl.a. majs og majsensilage som råvare i biogasanlæg.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

I 2005 fandtes omkring 50 gårdanlæg i Danmark og 20 biogas-fællesanlæg. Derudover findes ca 100 biogasanlæg i forbindelse med rensesanlæg og ca. 10 industriogasanlæg.

Kun ca. 5% af husdyrgødningen udnyttes i dag til biogas. Derimod er eksisterende anlæg i dag i stand til at aftage hovedparten af den mængde organisk affald der er tilgængeligt i Danmark, og som det er hensigtsmæssigt at bruge i biogasanlæg. Da det organiske affald er vigtigt for at få økonomien til at hænge sammen i dagens biogasanlæg, vil det ved fremtidig udvidelse af kapaciteten være nødvendigt at finde alternative råvarer eller at udvikle metoder, der kan give en højere gasudvikling fra husdyrgødningen alene. Hvis der skal opnås højere energiudbytte af husdyrgødningen er det nødvendigt at opnå større nedbrydning af fiberresten i gødningen, f.eks. ved fysisk og kemisk behandling før afgangning.



## Fordele og ulemper ved biogas

### Fordele

- Udnyttelse af energi i organisk materiale, som det ellers er vanskeligt at udnytte (f.eks. med højt vandindhold)
- Næringsstoffer i gødning kan udnyttes bedre
- Reduceret drivhusgasemission
- Reduceret risiko for spredning af smitte og ukrudtsfrø (specielt fra termofile anlæg)
- Reduceret gyllelugt ved udbringning

### Ulemper

- Energiudbyttet ikke så stort som ved afbrænding
- Relativt store transportomkostninger ved produktion af biogas på store fællesanlæg
- Lugt omkring anlæggene kan være et problem

Det vurderes, at i alt 42 biogasfællesanlæg vil kunne behandle 50% af Danmarks husdyrgødningsproduktion, hvis der tages udgangspunkt i en transportafstand for gyllen på maksimalt 18 km fra landbrugsbedrift til anlæg.

Biogasanlæg opført før udgangen af 2007 får et tilskud ved at der sikres en fast afsætningspris for el. Derudover modtages indirekte støtte, idet varme fra biomasse er fritaget for energiafgift. På trods af tilskuddet vurderes økonomien i biogasproduktion på fællesanlæggene ved udgangen af 2005 ikke særligt positivt for flertallet af de eksisterende anlæg. På flere anlæg er der tendens til faldende indtægt, bl.a. på grund af øgede omkostninger til vedligeholdelse og indkøb af affald. En analyse af biogasfællesanlæg viste, at det er muligt at bygge og drive samfundsmæssigt rentable biogasanlæg, hvis der suppleres med organisk industriaffald. Anlæg, der ikke suppleres med organisk affald, var derimod ikke samfundsmæssigt rentable. Et alternativ til affald kan være at supplere gyllen med energiafgrøder

Den store reduktion i drivhusgasemission, der opnås ved biogas-behandling af gylle, hvor metan afbrændes i stedet for at frigives til atmosfæren, værdisættes i dag ikke til det enkelte biogasanlæg.

### Miljøeffekter

Anvendelse af biogas fortrænger normalt afbrænding af fossilt brændstof. Den  $\text{CO}_2$ , der dannes ved afbrænding af biogas, ville under alle omstændigheder være dannet ved den efterfølgende omsætning af gødningen under lagring og i jorden. Det betyder samlet set, at emissionen af  $\text{CO}_2$  reduceres ved biogasproduktion. En anden vigtig drivhusgas er methan, der har en 21 gange højere drivhuseffekt end  $\text{CO}_2$ . Ved afgang af gylle i et biogasanlæg kan methanemissionen fra gyllebeholdere reduceres med 90%.

Ved udbringning af husdyrgødning dannes endvidere drivhusgassen lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) fra jorden (310 gange højere drivhuseffekt end  $\text{CO}_2$ ). Biogasbehandling af gylle reducerer denne emission med 20-40%.

Den nuværende biogasproduktion er beregnet til at reducere den samlede danske drivhusgas udledning med 0,15%, men hvis al gylle i Danmark afgasses vurderes det, at udledningen reduceres med 3%

Ved afgang af gylle reduceres indholdet af organisk bundet kvælstof i gødningen og mindre kvælstof bindes på organisk form i jorden efter tilførsel. Det betyder, at en større andel af gyllens kvælstof kan udnyttes af den afgrøde der gødes, og at mindre organisk bundet kvælstof efterlades i jorden. Det organisk bundne kvælstof frigives løbende fra jorden, også i efterårs- og vinterperioden med overskudsnedbør.

Nitratudvaskningen reduceres således ved anvendelse af afgasset gylle i forhold til ubehandlet gylle.

Ved afgangning af gylle nedbrydes en del af de ildelugtende forbindelser i gyllen, bl.a. organiske syrer som propansyre og smørsyre.

Afgasset gylle har således en anden lugt, som vurderes som værende mindre ubehagelig. Afgasset gylle trænger endvidere lettere ned i jorden, hvilket også reducerer lugten umiddelbart efter udbringning.

På trods af den lugtreducerende effekt af afgangning, har det været vanskeligt at finde velegnet placering til nye biogasanlæg gennem de senere år, bl.a. fordi kommende naboer er nervøse for lugtgener fra anlægget. Det er også klart, at det kræver en indsats at undgå lugtgener fra den store koncentration af husdyrgødning og organisk affald, der håndteres på et anlæg.

### **Særlige regionale perspektiver**

Biogasteknologien er særdeles interessant for Region Midtjylland, fordi der i regionen er et meget stort råvarepotentiale i form af gylle og andre biomasser. Kun ca. 5% af husdyrgødningen omsættes i dag i biogasanlæg. Samtidig har regionen mange virksomheder og vidensinstitutioner der beskæftiger sig med området på højt internationalt niveau. Fra et miljømæssigt perspektiv er teknologien endvidere særdeles interessant, især hvis den kombineres med f.eks. separations- og afbrændings- eller forgasningsteknologier.

En styrke ved teknologien er endvidere, at gassen har mange forskellige anvendelsesmuligheder. Den kan afbrændes til varme og el, raffineres til gas til motor-køretøjer eller som input til brændselsceller.

Biogasteknologien er på nogle områder en moden og kommercialiseret teknologi. Erfaringer fra praksis har dog vist, at gylle i sig selv er for energifattig til, at anlæggene er økonomisk rentable. Energirigt organisk industriaffald anvendes derfor i dag som supplement til processen, men er på grund af stigende efterspørgsel blevet en begrænset råvare. Dyrkning og forbehandling af energiafgrøder, så de kan anvendes som et alternativ til organisk industriaffald, er derfor et oplagt udviklingsområde for Region Midtjylland. Samtidig vil der ved målrettet dyrkning af energiafgrøder kunne opnås betydelige effekter f.eks. i form f.eks. reduceret udvaskning af næringsstoffer til vandmiljøet fra landbrugsjord. En anden væsentlig udfordring er at reducere lugtgener fra biogasanlæggene.

Samlet set vurderes teknologien at rumme et stort udviklingspotentiale for regionen.

## »Biomass To Liquid« (BTL)

Muligheden for at fremstille flydende brændstof ud fra lignocelluloseholdig biomasse bygger på længe kendt teknologi til at fremstille flydende brændstof ud fra naturgas eller ud fra syntesegas fra kul ved hjælp af den såkaldte Fischer-Tropsch proces. BTL fremstilles nemlig ved først at forgasse biomassen og efter en rensning at syntetisere et flydende brændstof.

Der er mange mulige procesveje og slutproduktet kan f.eks. være methanol eller dimethylether (DME). Processen er derfor meget fleksibel med hensyn til at kunne udnyttes til andre fremtidige anvendelser. F.eks. vil både methanol og DME kunne fungere som brændstof til brændselsceller. I Danmark arbejdes mest med at udvikle DME, fordi Haldor Topsøe igennem en årrække har opnået stor ekspertise i at fremstille og udnytte DME ud fra naturgas. DME kan benyttes som dieselbrændstof, men det kræver dog en vis motor-tilpasning. BTL-produktionen er en højteknologisk proces, hvor økonomien vil være meget afhængig af størrelsen og produktionsanlæg for BTL må således forventes at blive store centrale anlæg.

Produktion af DME (eller andre syntetiske brændstoffer) via termisk forgasning af biomasse er teknologier, der potentielt kan levere biobrændstoffer med et højt energiudbytte. På EU-plan afsættes derfor store forsknings- og udviklingsmidler for at løfte disse teknologier til et kommercielt niveau.

### Råvaregrundlag

Faste biomasser som træ, halm og fast husdyrgødning er egnede til termisk forgasning, og BTL-processen giver således mulighed for at udnytte de store og forholdsvis billige ressourcer heraf til produktion af flydende brændstof. Det vil derfor i første omgang være den tekniske udvikling af processen samt procesøkonomien, der vil være begrænsende for dens udbredelse.

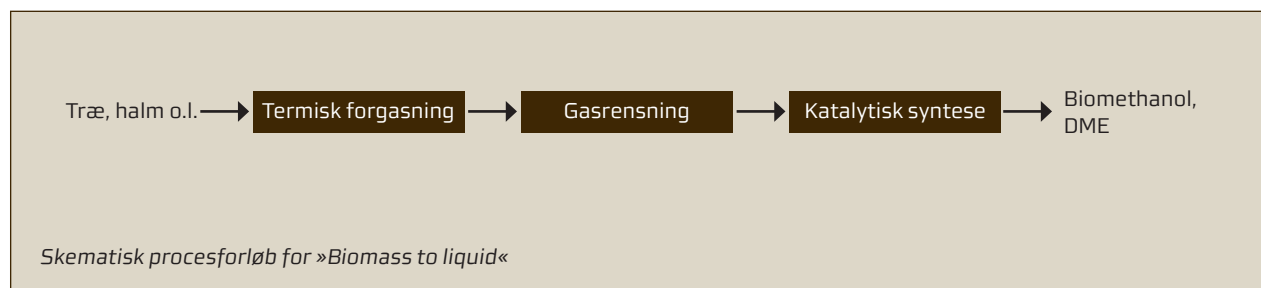
Halm er en vanskelig råvare at forgasse. Halm og andre »vanskelige« råvarer kan derfor forbehandles i en pyrolyseproces, hvorved opnås en pyrolyseolie, som kan forgasses. Ved pyrolyseprocessen mindskes volumen og vægt af råvaren, og det er derfor en mulighed at gennemføre pyrolysen decentralt, og transportere pyrolyseolien til centrale forgasnings- og synteseværker.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Den samlede proces, fra forgasning af biomassen til anvendelse af et flydende brændstof i køretøjer, er endnu ikke kommercielt udviklet. Dele af processen er dog udviklet til kommercielt niveau, fx forgasning af biomasse samt katalytisk syntese af naturgas til flydende brændsel. På grund af den høje kvalitet af BTL som brændstof og det brede råvaregrundlag til processen forventes den på EU-plan at komme til at stå for en væsentlig del af den fremtidige forsyning med flydende brændstoffer. Verdens første demonstrationsanlæg til produktion af 13.000 tons BTL-diesel årligt er planlagt færdiggjort i Tyskland i 2009. Produktion af BTL er på det nuværende teknologiske udviklingsniveau stadig dyr, men det forventes, at fortsat teknologisk udvikling vil kunne gøre produktionen konkurrencedygtig med de andre teknologier til produktion af flydende brændstoffer.

### Miljøeffekter

BTL kan potentielt opnå en høj miljøprofil sammenlignet med andre biodrivmidler pga. muligheden for brug af råvarer, som er miljøvenlige i produktionen samt pga. den rene forbrænding af det syntetiske brændstof. Hvor høj en miljøprofil der reelt kan opnås vil dog afhænge af, hvor godt den tekniske udvikling og optimering af processen vil forløbe.



## Fordele og ulemper ved BTL

### Fordele

- Flydende motorbrændstoffer der med en vis tilpasning kan anvendes i benzin og dieselmotorer.)
- Meget rene brændstoffer med lave emissioner

### Ulemper

- Teknologien kræver endnu en del udvikling før den kan tages i praktisk anvendelse
- Procesøkonomi og samlet miljøprofil stadig usikker
- Kræver store centrale produktionsanlæg

### Særlige regionale perspektiver

BTL-teknologien er endnu på udviklingsstadiet. Teknologien er imidlertid interessant fordi den giver mulighed for at omsætte biomasse til flydende brændstoffer. Brændstoffer som enten kan anvendes som iblanding i f.eks. dieselolie eller som input til brændselscelleteknologien.

Region Midtjylland har et meget stort biomasse-potentiale (afgrøder og husdyrgødning) og der er mange virksomheder i regionen der beskæftiger sig med området. Den meget specifikke forskningskompetence vedrørende BTL-teknologien findes primært uden for regionen. Region Midtjylland har imidlertid forskning på højt internationalt niveau hvad angår eksempelvis miljørigtig produktion og forbehandling af biomasser.

Regionens virksomheder og vidensinstitutioner vil derfor specielt på råvaresiden være interessante samarbejdspartnere, både på nationalt og internationalt niveau.

Samlet set vurderes teknologien at rumme et interessant udviklingspotentiale for regionen.

## Ethanol ud fra sukker og stivelse (1. generations anlæg)

I første procestrin formales kornet, og der tilsættes enzymer for at spalte stivelsen til forgærbart sukker, dvs. stivelsen »oplukkes«.

I næste trin tilsættes gær, der omsætter sukkeret til ethanol og kuldioxid. Resultatet er en opløsning med omkring 10 procent ethanol, som opkoncentreres ved destillation til typisk 96 volumenprocent ethanol og en destillationsrest, kaldet kornbærme, med et højt proteinindhold. Kornbærme vil ofte blive tørret og solgt som dyrefoder. Tørret kornbærme ud fra majs kaldes ofte for DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles).

Af hensyn til størrelsesøkonomien produceres brændstofethanol ud fra sukker og stivelse altid på store centrale anlæg.

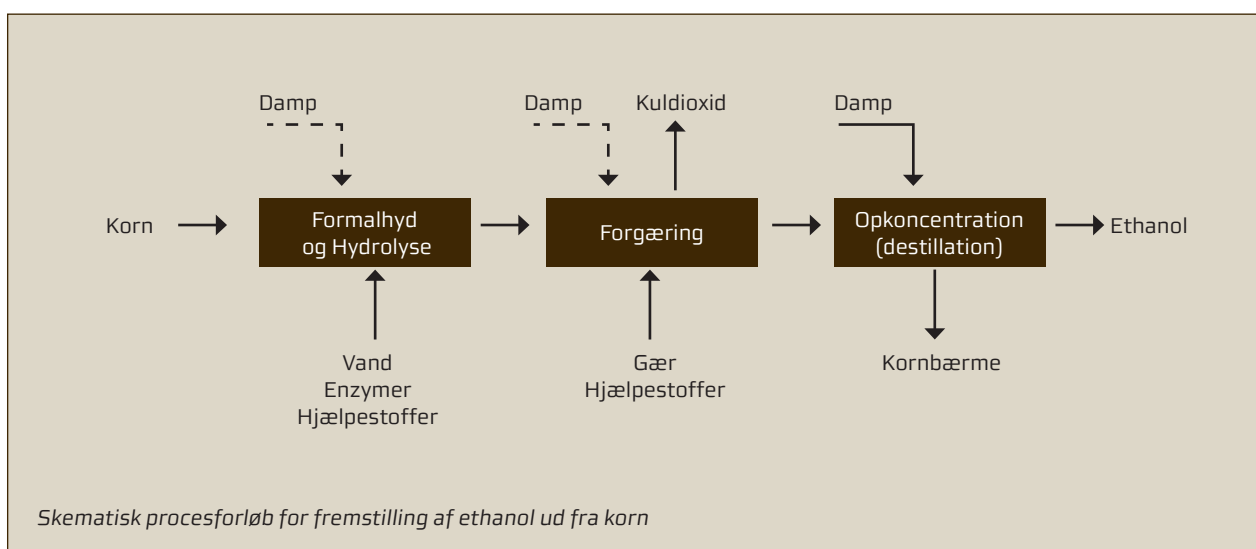
### Råvaregrundlag

Melasse (restprodukt ved sukkerfremstilling), sukkerroer, sukkerrør samt kartofler, korn og majs er de mest anvendte råvarer. Ethanol kan også fremstilles på grundlag af andre sukker- og stivelsesholdige biprodukter fra eksempelvis mejeri- og papirsindustrien.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Fremstilling af ethanol ud fra sukker, melasse og korn til anvendelse som motorbrændstof er fuldt kommercielt udviklet, og foregår overvejende på store, moderne og energieffektive anlæg. Der er en betydelig produktion af ethanol i Brasilien på grundlag af sukkerrør. I Sverige er der ligeledes etableret anlæg, men produktionen er betydelig mere omkostningsfuld end i Sydamerika.

I Danmark har DONG Energy søgt om tilladelse til at opføre en bioethanolfabrik ved siden af kraftvarmeværket i Studstrup. Råvaren skal være hvedekerner, men også andre kornarter kan komme på tale, afhængig af prisudvikling. Fabrikken skal årligt omsætte 470.000 tons hvede til 140.000 tons ethanol (ca. 175 mio. liter), 175.000 tons tørre kornbærme og 175.000 tons CO<sub>2</sub>. En placering ved siden af Studstrupværket bevirker, at damp fra kraftvarmeproduktionen kan udnyttes i ethanolproduktionen og derved forbedre den totale energieffektivitet på anlægget. Flere andre anlæg er i støbeskeen rundt omkring i landet.



## Fordele og ulemper ved ethanol ud fra sukker og stivelse

### Fordele

- Ethanol iblandet benzin under 10 procent kan uden videre anvendes i benzinmotorer
- Konverterede benzinmotorer kan køre på ren ethanol
- Det proteinholdige biprodukt kan erstatte importeret proteinfoder

### Ulemper

- Kræver højtverdige råvarer, der i mange tilfælde alternativt kan anvendes som fødevarer
- Stort energiforbrug i processen
- Kun svagt positiv energibalace

## Miljøeffekter

Opkoncentreringen af ethanol er langt det mest energikrævende trin i fremstillingsprocessen, idet der skal anvendes store mængder damp til destillationsprocessen. Miljøeffekter vil derfor afhænge meget af om der er overskudsvarme til rådighed. Det betyder, at ethanol fremstilling ideelt set skal integreres i den eksisterende energiproduktion, og placeres ved siden af store kraftværker med potentiel overskudsvarme. En anden vigtig faktor i vurdering af miljøeffekter, er hvilket brændstof ethanol erstatter.

Ethanol i sig selv har en øvre brændværdi på 22,8 MJ per liter, hvorimod benzins er 33,2 MJ per liter. Det betyder, at ved anvendelse af ethanol som brændstof uden iblanding af benzin, skal der cirka 1,5 liter ethanol til at erstatte en liter benzin. Men ved iblanding af mindre mængder ethanol i benzin, for eksempel 5%, bevirker ethanol, at forbrændingen i motorer forbedres (oktanforøgende egenskaber), hvorved en liter ethanol kan erstatte en tilsvarende mængde benzin.

Erstatningsfaktoren er særdeles vigtig ved opstilling af energibalancer og CO<sub>2</sub>-fortrængningsomkostninger.

## Særlige regionale perspektiver

Ethanol fremstilling på basis af sukker og stivelse er en fuldt udviklet og kommercialiseret teknologi. Samlet set er der derfor ikke et særligt stort udviklingspotentiale i teknologien for Region Midtjylland.

## Ethanol ud fra celluloseholdige råvarer (2. generationsanlæg)

Ethanolproduktion på grundlag af celluloseholdige materialer (træ, halm o.lign.) er principielt den samme som ved stivelse, blot væsentlig mere kompliceret. Dels kræves det en kraftigere oplukning af de svært tilgængelige råvarer, og dels vil den dannede ethanolopløsning være tyndere. Begge dele bidrager til at øge omkostningerne markant. Endvidere kan råvaren efter oplukning ikke omsættes af almindelig gær, hvilket betyder at der skal anvendes genmodificeret gær, eller bakterier. Anvendelse af bakterier fordyrer processerne, idet bakterier er vanskelige at håndtere.

Af hensyn til størrelsesøkonomien forventes produktion af brændstofethanol ud fra lignocellulose at finde sted på store centrale anlæg.

### Råvaregrundlag

Der er store mængde af celluloseholdige restprodukter på verdensplan. Råvarer kan f.eks. være bagasse (restprodukt fra sukkerfremstilling ud fra sukkerrør), træ og halm. I Danmark er halm umiddelbart den mest oplagte råvare. Men på grund af forholdsvis store håndteringsomkostninger ved bjærgning og transport i Danmark, er halm en dyr råvare sammenlignet med træaffald eller bagasse i andre lande, hvor råvarerne ofte vil være til stede i store mængder til lave priser.

Det betyder, at en produktion i Danmark skal være særdeles omkostnings- og energieffektiv for at kunne konkurrere. Måltrettet dyrkning af energiafgrøder og anvendelse af fiberfraktionen fra gylle er andre råvaremuligheder.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Ethanol fremstilling ud fra celluloseholdige råvarer er endnu ikke udviklet til et kommercielt niveau.

Der er så vidt vides ikke bygget fuldskalaanlæg endnu, men der er et par konkrete projekter i USA og Mellemamerika baseret på bagasse som råvare. Der foregår ihærdige forsknings- og udviklingsaktiviteter i adskillige lande. I USA er udvikling af biomassebaserede motorbrændstoffer højt prioriteret, og der tilføres særdeles store beløb til området. Eksempelvis har det amerikanske energiministerium finansieret Novozymes' udvikling af mere effektive og billige enzymer til at nedbryde cellulosedelen med ca. 15 mio. dollars. Der er planlagte anlæg i Canada og USA, men finansieringen er endnu ikke faldet på plads.

DONG Energy har i samarbejde med blandt andre Risø og Land-bohøjskolen etableret verdens største procesdemonstrationsanlæg til produktion af ethanol ud fra halm.

Det er endnu svært at vurdere økonomien i fremstilling af ethanol ud fra celluloseholdige råmaterialer, da det afhænger meget af kulhydratsammensætning i råvarerne, forbehandling, forsukring og forgæring, samt ikke mindst opkoncentrering.

Produktion af ethanol på basis af lignocellulose og produktion af dimetylether (eller andre syntetiske brændstoffer) via termisk forgasning af biomasse er teknologier, der potentielt kan levere biobrændstoffer med et højt energiudbytte. På EU-plan afsættes derfor store forsknings- og udviklingsmidler, for at løfte disse teknologier til et kommercielt niveau. Begge teknologier kræver dog store centrale anlæg med et deraf følgende stort investeringskrav.

### Miljøeffekter

Nettoenergiudbytte og CO<sub>2</sub>-fortrængning hænger sammen med forbruget af procesenergi, men forventes ved udnyttelse af overskudsbiomasse eller hele afgrøder at være forholdsvis høj.

Celluloseholdige afgrøder (f.eks. pil og græsser) kan dyrkes mere miljøvenligt end stivelsesafgrøder (korn), idet produktionen kræver færre input samtidig med at jorderosion og nitratudvaskning reduceres. Se endvidere beskrivelse af miljøeffekter ved opkoncentrering af ethanol i det foregående afsnit.

### Særlige regionale perspektiver

Teknologien til produktion af ethanol på basis af f.eks. halm og andre restprodukter er endnu på udviklingsstadiet. Teknologien er imidlertid interessant fordi den giver mulighed for at omsætte biomasse til flydende brændstoffer. Ethanol kan direkte anvendes som iblanding i f.eks. benzin. Ved katalyse kan ethanol ligeledes omsættes til brint og således også benyttes som input i brændselsceller.

Region Midtjylland har et meget stort biomassepotentiale (afgrøder og husdyrgødning), og der er mange virksomheder i regionen, der beskæftiger sig med området.

## Fordele og ulemper ethanol ud fra celluloseholdige råvarer

### Fordele

- Billige og miljøvenlige råvarer
- Ethanol iblandet benzin under 10% kan uden videre anvendes i benzinmotorer
- Konverterede benzinmotorer kan køre på ren ethanol
- Endnu ikke kommercielt færdigudviklet
- Stort energiforbrug i processen
- Kræver store anlæg og dermed store investeringer

De meget specifikke forskningskompetencer vedrørende fremstilling af ethanol på grundlag af celluloseholdige råvarer findes dog kun i begrænset omfang i regionen. Region Midtjylland har imidlertid forskning på højt internationalt niveau hvad angår eksempelvis miljørigtig produktion og forbehandling af biomasser. Regionens virksomheder og vidensinstitutioner vil derfor, specielt på råvaresiden, være interessante samarbejdspartnere både på nationalt og internationalt niveau.

Samlet set vurderes teknologien at rumme et interessant udviklingspotentiale for regionen.

## Rå planteolie

Udnyttelse af rå planteolie i dieselmotorer eller i oliefyr er i princippet meget enkel og kan foregå decentralt: Olieplantefrø (i Danmark oftest raps) presses til olie og pressekage. Olien filtreres og anvendes direkte i dieselmotor eller oliefyr. Der sker således ikke nogen kemisk konvertering af olien som ved biodieselproduktion, og olien kan i princippet stadig bruges som spiseolie.

Der er dog forskelle imellem de fysiske og kemiske egenskaber af dieselolie og rå planteolie, som betyder at anvendelsen af planteolie ikke er helt så enkel. Først og fremmest er den rå planteolie tyktflydende ved lave temperaturer, hvilket kan kræve forvarmning af olien. Dieselmotorer skal derfor konverteres til planteoliedrift og oliefyr kræver en særlig brænder samt evt. opvarmning i olietanken for at kunne anvende rå planteolie.

Oliepresser kan fås i mange størrelser fra helt små decentrale snekkepresser, der kan presse ca. 30 kg frø i timen, over større fællespresser til centrale anlæg med varmepresning og evt. kemisk eller enzymatisk ekstraktion af olien. De mindste presser kan presse ca. 30% olie ud af frøene, mens større presser kan udnytte op til 45% olie i frøene. Ved varmepresning ekstraheres frøenes fosforindhold i olien, der derfor skal raffineres før anvendelse i motorer. Energindholdet i rapsolie er 6-7% lavere end i dieselolie, men ofte opnås samme motorydelse ved de to brændsler p.g.a. en mere effektiv forbrænding af planteolie.

Presseresten af frøene (rapskage med et større eller mindre restindhold af olie) kan anvendes som proteinfoder til køer, svin eller fjerkræ.

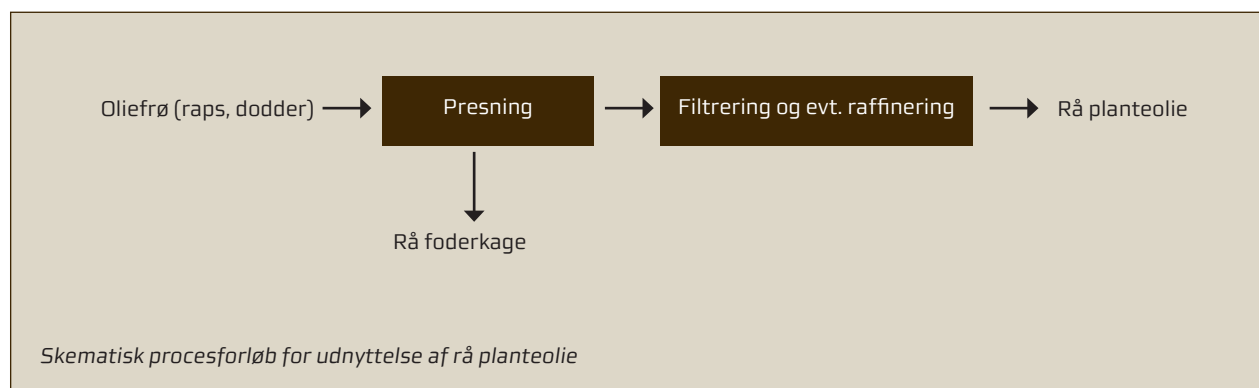
## Råvaregrundlag

På verdensplan findes mange forskellige olieplanter, som kan bidrage med olie til transport. I Danmark er det stort set kun raps, der har været udnyttet til olieproduktion. Rapsdyrkning er velkendt og veludviklet i Danmark. Flere andre beslægtede afgrøder i korsblomstfamilien kan dog også benyttes, f.eks. rybs, senep eller dodder. Dodder kan måske være interessant at udvikle, fordi den synes at kræve færre input i form af sprøjtemidler og gødning end raps. Der bør gå 4-5 år mellem rapsafgrøder på samme mark, men det vurderes, at der i Danmark kan dyrkes ca. dobbelt så meget raps som i dag uden at skabe sædskifteproblemer.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Teknisk set er anvendelsen af rå planteolie udviklet til kommercielt niveau og kan straks tages i anvendelse. Oliepresning foregår kommercielt på decentrale og centrale anlæg rundt omkring i landet og eksisterende dieselmotorer kan konverteres til planteolie. Der antages at være ca. 200 ombyggede dieselmotorer og enkelte traktorer i Danmark.

Planteoliebilerne udgør således stadig en meget lille andel, hvilket bl.a. hænger sammen med, at man ikke kan tanke planteolie på danske tankstationer, og at der opkræves samme energijaftgift på planteolie som på diesel. Endvidere skal man være meget omhyggelig med at få en god olie kvalitet, da man ellers kan ødelægge motoren. Samtidig har olieselskaberne meldt klart ud, at de ikke vil indføre rå planteolie på tankstationerne.



## Fordele og ulemper ved råplanteolie

### Fordele

- Ugiftigt brændstof med bedre energiudbytte end biodiesel
- Lavteknologisk produktion med mulighed for decentral udnyttelse
- Konkurrencedygtigt ved nuværende oliepris
- Mulighed for lavere partikelemmission i forhold til alm. diesel

### Ulemper

- Kun egnet til afgrænsede »flåder« af køretøjer
- Dyrkning af raps på brakarealer vil øge nitratudvaskningen
- Forholdsvis lavt nettoenergiudbytte

Når der ikke kan købes kvalitetssikret olie på almindelige tankstationer, kan man næppe forvente, at en større andel af bilisterne vil konvertere deres biler. Det vil være mere realistisk i første omgang at indføre planteoliedrift i afgrænsede »flåder«, som f.eks. offentlige busser og tog eller i landbrugets traktorer, hvor man ikke er afhængig af optankning rundt omkring i landet. På Samsø, der er dansk VEØ ([www.veo.dk](http://www.veo.dk)), har man derfor planlagt at omlægge hele busdriften og så vidt muligt også private dieselbiler og traktorer til at køre på rå planteolie. Ved bygning af Skive Kommunes nye rådhus er det planlagt at producere el og varme bl.a. med dieselmotorer, som skal køre på rapsolie, og der forventes et årligt forbrug på ca. 100.000 liter olie.

### Miljøeffekter

Anvendelse af planteolie fortrænger anvendelse af fossile brændsler som f.eks. dieselolie. Ifølge en analyse fra Nordisk Folkecenter for Vedvarende energi opnås knap tre gange så meget energi i rå rapsolie, som der benyttes ved produktionen af olien. Dertil kommer energiindholdet i halmen og værdien af rapskagen.

Ved anvendelse af den rå rapsolie opnås et større energiudbytte end ved biodieselproduktion, hvor glycerinindholdet fjernes, og der er et energiforbrug til konvertering af olien. Dermed opnås også en lidt større fortrængning af CO<sub>2</sub> og en bedre energibalance. Hvis brakarealer opdyrkes med f.eks. raps, vil der ske en øget produktion af lattergas i jorden.

Lattergas er en drivhusgas, med en ca. 310 gange større drivhuseffekt pr. kg end CO<sub>2</sub>.

Hvis den øgede lattergasemission ved rapsdyrkning indregnes i et samlet drivhusgasregnskab, reduceres CO<sub>2</sub>-fortrængningen opnået ved at fortrænge diesel med planteolie med ca. 20%.

Der findes kun få sammenligninger af emissioner fra motorer med forskellige olieprodukter, men generelt vurderes emissionen af miljøskadelige stoffer at være lavere ved brug af planteolie. De fleste planteolie er spiselige og ikke toksisk for planter eller vandorganismer og minimerer derfor risikoen for uheldig påvirkning af miljøet ved håndtering og spild af brændstof. Antændelsespunktet er desuden betydeligt højere end for diesel, og dermed er risikoen for brand mindre. Vinterraps er meget effektiv til at opfange nitrat fra den forudgående afgrøde i det efterår, hvor den sås. Til gengæld efterlades mere kvælstof på marken efter høst af raps end fra kornafgrøder, og derfor er udvaskningen efter rapsen ofte højere. Sammenlagt er der ikke meget forskel på udvaskningen fra korndyrkning og fra rapsdyrkning. Økologiske eller miljøvenlige dyrkningsmetoder for olieafgrøder kan dog udvikles, og hjælpes på vej ved at inddrage nye olieplantearter eller ved at forædle rapsen til større modstandsdygtighed og bedre næringsstofudnyttelse.

### Særlige regionale perspektiver

Anvendelse af rå planteolie er i dag en moden og fuldt kommerzialiseret teknologi.

---

Et forholdsvis lavt nettoenergiudbytte, i kombination med at rå planteolie ikke kan blandes med dieselolie og derfor kræver et selvstændigt distributionsystem gør, at teknologien formentlig kun får lokal udbredelse.

Rå planteolie kan imidlertid også anvendes som råvare til produktion af biodiesel, som umiddelbart kan bruges som erstatning for dieselolie (se næste afsnit).

Samlet set har teknologien kun et begrænset udviklingspotentiale for Region Midtjylland.

## Biodiesel

Biodiesel er betegnelsen for biologisk baserede olier, der ved en kemisk konvertering (forestring og udtræk af oliens glycerinindhold) er tilnærmet de funktionelle egenskaber for almindelig diesel. Derfor kan de fleste dieselmotorer umiddelbart køre på biodiesel. Biodiesel produceres normalt på middelstore procesanlæg.

### Råvaregrundlag

Biodiesel fremstilles oftest ud fra planteolie, og i Danmark er der tale om rapsolie. 16% af det danske rapsareal er i dag (gns. af 2003 og 2004) non-food-raps hovedsageligt til fremstilling af rapsolie til biodiesel (med samtidig produktion af rapskage og glycerin). Der bør gå 4-5 år mellem rapsafgrøder på samme mark, men det vurderes, at der kan dyrkes ca. dobbelt så meget raps som i dag i dansk landbrug uden at skabe sædskifteproblemer.

Biodiesel kan også fremstilles ud fra f.eks. animalsk fedt og spildevandsslam. DAKA har besluttet at opføre et produktionsanlæg til 50.000 tons biodiesel årligt.

### Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Biodiesel er fuldt kommercielt udviklet og har i en årrække været anvendt i bilparkerne i en række europæiske lande. Specielt Tyskland, Frankrig og Tjekkiet har megen erfaring med biodieselanvendelse i praksis. I Danmark har der ligeledes foregået en kommerciel produktion af biodiesel i en årrække bl.a. på Emmelev Mølle. Men da Danmark ikke har givet skattelettelse af betydning på biodiesel er hele den danske produktion blevet eksporteret til bl.a. Tyskland.

### Miljøeffekter

Anvendelse af biodiesel fortrænger anvendelse af fossile brændsler som f.eks. dieselolie.

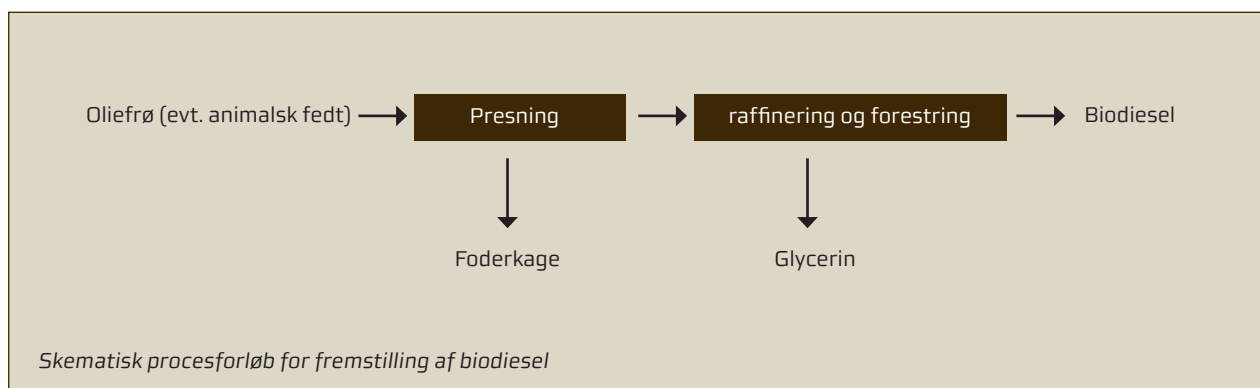
Ved anvendelse af den rå rapsolie opnås et større energiudbytte end ved biodieselproduktion, hvor glycerinindholdet fjernes, og der er et energiforbrug til konvertering af olien. Derfor er der også en lille forskel i fortrængning af CO<sub>2</sub> og i energibalancen for udnyttelse af biodiesel og rå planteolie. Ifølge en analyse af COWI opnås ca. 1,5 gange så meget energi i biodiesel, som der benyttes ved produktionen af olien. Dertil kommer energiindholdet i halmen samt værdien af glycerin og rapskage.

Biodiesel benyttet i traditionelle dieselmotorer reducerer emissionen af reaktive kulbrinter, kulilte og partikler, mens emissionen af NO<sub>x</sub> stiger.

### Særlige regionale perspektiver

Fremstilling af biodiesel på basis af planteolie er i dag en moden og fuldt kommercialiseret teknologi. Produktion af biodiesel på grundlag af animalske restprodukter er derimod endnu på udviklingsstadiet. Fordelen ved biodiesel er at den umiddelbart kan anvendes i det nuværende distributionssystem som et alternativ til dieselolie. Nettoenergiudbyttet ved produktion på grundlag af oliefrø er dog forholdsvist lavt.

Rapsolie er i dag den primære kilde til biodiesel. Hvis teknologien får væsentlig større udbredelse, vil der være behov for at anvende alternative olieplanter til raps. Udvikling af miljøvenlige dyrkningssystemer med et højt olieudbytte kan derfor være interessant udviklingsområde for Region Midtjylland, da regionen både har virksomheder og vidensinstitutioner med kompetencer på dette område. Tilsvarende kan der være et endnu uudnyttet potentiale i at udnytte animalske fedtstoffer og spildevandsslam til biodiesel.



## Fordele og ulemper ved biodiesel

| Fordele   | Ulemper  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>■ Biodiesel kan umiddelbart erstatte og blandes med fossilt baseret diesel</li><li>■ Teknologien til fremstilling af biodiesel er kommercielt tilgængelig</li><li>■ Mulighed for lavere partikelemission i forhold til alm. diesel</li><li>■ Rapskage og glycerin opnås som biprodukter</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>■ Kun svagt positiv energi- og drivhusgasbalance</li><li>■ Økonomien vanskelig uden afgiftsletelse</li><li>■ Begrænset råvaregrundlag</li><li>■ Muligt at traditionelle partikelfiltre ikke kan anvendes sammen med biodiesel på grund af askedannelse</li></ul> |

Samlet set vurderes der at være et stort udviklingspotentiale i teknologien for Region Midtjylland.

### Kilder:

- *Danmarks JordbrugsForskning 2007. Energi fra biomasse – teknologier vurderet i et regionalt perspektiv (under udarbejdelse)*
- *Energistyrelsen 2006. Energistatistik 2004*
- *Teknologirådet 2004. Energikatalog*
- *Jørgensen et al. 2004 Energien leveres fra landbruget. Momentum 4.*

# Energi fra vind, sol og bølger samt varmepumper og brintteknologi

Energi fra vind, vand og sol har været udnyttet i århundreder, men mistede i Danmark sin betydning med udviklingen af damp-, el- og forbrændingsmotorer. Udviklingen af vedvarende energi (VE) teknologier fik fornyet interesse i forbindelse med energikriserne i 1970'erne. Især vindkraft-industrien har siden undergået en rivende teknologisk og kommerciel udvikling, mens udviklingen for f.eks. bølgeenergi er gået væsentligt langsommere.

Fælles for vind-, sol- og bølge-energiteknologierne, dog med undtagelse af solvarme, er at de producerer el. Produktionen er samtidig meget svingende, da den afhænger af, hvor meget det blæser og af solindstrålingen.

Brint er ikke en energikilde, men en energibærer. Brint forventes i fremtiden at kunne anvendes som et lagrings- og transportmedie for f.eks. VE-el. Teknologien er dog endnu på et forholdvist tidligt udviklingsstadium.

## Særlige regionale perspektiver

Region Midtjylland har med tilstedeværelsen af de to altdominerende vindmølleproducenter i Danmark og en lang række følgeerhverv en absolut styrkeposition inden for vindenergi. Selve vindkraftindustrien er imidlertid i dag en moden og fuldt kommercielt bæredygtig industri, hvor den fortsatte forskning og udvikling drives af industrien selv i samarbejde med vidensinstitutioner, som primært ligger uden for regionen.

På grund af den meget kraftige vækst i markedet har vindmølle-industrien især fokuseret på udvikling af selve vindmøllerne og i mindre grad på udvikling af »grænsefladeteknologier«. I takt med at andelen af produceret på grundlag af vindmøller stiger, bliver bl.a. de ustabile strømleverancer et stigende problem for elnettet. Udvikling af effektive metoder til at udligne den svingende elproduktion fra vindmøller er derfor et eksempel på en grænsefladeteknologi, hvor der fortsat er behov for et offentligt-privat samarbejde

om udvikling af teknologier. Lagring af el vha. af avancerede batteriteknologier, brint, kulde- og varmelagre, og udvikling af intelligente styringssystemer, som sikrer et bedre samspil mellem produktion og forbrug af VE-el, er blandt mulighederne.

For Region Midtjylland er et særligt interessant udviklingsperspektiv derfor, at viden om optimal udnyttelse af VE-el opbygges her i regionen. Det vil kunne bidrage til at sikre fortsat vækst i vindkraftindustrien og skabe jobs i nye følgeerhverv. På dette felt vurderes regionen at have gode forudsætninger for at udvikle en særlig styrke, da løsningsmulighederne skal findes i et kompliceret samspil mellem en række teknologier, som allerede er repræsenteret i regionen, herunder f.eks. brintteknologi og varmepumper.

Bølgeenergi er endnu på et meget tidligt udviklingsstadium, og regionen har kun få virksomheder og vidensinstitutioner, der beskæftiger sig med området. En række af de kompetencer, der findes i regionen

inden for vindkraftsektoren, vil imidlertid kunne udnyttes inden for udvikling af bølgeenergi. Tilsvarende vil der kunne være grundlag for etablering af kombinerede anlæg til vind- og bølgeenergi.

De traditionelle solvarme- og solcelle-teknologier er generelt modne og kommercialiserede teknologier, og der er i regionen kun få virksomheder og vidensinstitutioner der beskæftiger sig med området. Udvikling af 3. generations solceller og integrering af solceller i fremtidens byggematerialer og energisystemer rummer dog fortsat et interessant udviklingsperspektiv, blandt andet fordi regionen har mange virksomheder, som producerer bygningsmaterialer.

Se endvidere beskrivelse af regionale perspektiver under de enkelte teknologier.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

|                 | Teknologisk udviklingsniveau | Produktionspris pr. energienhed | Anvendelse  | Centrale (C)/decentrale (D) anlæg |
|-----------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| Vindmøller      | ***                          | *                               | El          | C                                 |
| Solvarmeanlæg   | ***                          | **                              | Varme       | D / C                             |
| Solcelleanlæg   | **                           | ***                             | El          | D / C                             |
| Bølgekraftanlæg | *                            | ***                             | El          | C                                 |
| Varmepumper     | **                           | *                               | Varme       | D/C                               |
| Brintteknologi  | *                            | -                               | El og varme | D / C                             |

\* = lavt niveau    \*\* = mellemniveau    \*\*\* = højt niveau    --Brintteknologi producerer ikke energi

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Overstående tabel sammenfatter kommercielt udviklingsniveau m.m. Se en mere detaljeret beskrivelse under de enkelte teknologier.

## Energibidrag

|             | 1980 | 1990 | 2000 | 2004 |
|-------------|------|------|------|------|
| Vindkraft   | 0,04 | 2,2  | 15,3 | 23,7 |
| Varmepumper | 0,31 | 2,47 | 3,59 | 3,79 |
| Solenergi   | 0,05 | 0,10 | 0,35 | 0,39 |

## Potentielt energibidrag

Ovenstående tabel viser udviklingen i den danske produktion af vedvarende energi fra vind og sol. Energiproduktionen fra bølgekraft er endnu så lav, at det ikke fremgår af statistikkerne.

Til sammenligning var det samlede danske energiforbrug 836 PJ i 2004. Heraf udgjorde elforbruget 119 PJ, svarende til 14%.

Vind, sol og bølger indeholder så meget energi, at det i princippet uden problemer kunne dække hele Danmarks energiforbrug. I praksis vil det derfor være omkostningerne med at producere og mulighederne for at udnytte energien, der bliver afgørende for omfanget. Ovenstående eksempler giver et indtryk af potentialet i de enkelte teknologier.

Se en mere detaljeret beskrivelse af potentielt energibidrag under de enkelte teknologier.

## Potentielt energibidrag

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Vindmøller</b>      | 5300 vindmøller leverer i dag ca. 20% af det samlede danske elforbrug. Hvis alle ældre og forholdsvis små møller blev udskiftet med 1200 store moderne møller, ville de kunne producere 50% af det nuværende danske elforbrug. Det svarer til ca. 7% af det samlede energiforbrug. |
| <b>Solvarmeanlæg</b>   | En solfanger på 4-5 m <sup>2</sup> kan dække ca. 30% af en husstands forbrug af varme. Hvis alle enfamilieshuse i Danmark fik en solfanger, ville det svare til ca. 4% af det nuværende samlede danske energiforbrug.  |
| <b>Solcelleanlæg</b>   | Hvis der blev etableret 50 km <sup>2</sup> solcelleanlæg, svarende til ca. 7000 fodboldbaner, ville det kunne dække ca. 20% af det nuværende danske elforbrug. Det svarer til ca. 3% af det samlede energiforbrug  |
| <b>Bølgekraftanlæg</b> | Hvis der blev etableret en strækning med 150 km bølgekraftanlæg i Nordsøen, vurderes det at kunne dække ca. 15% af det nuværende danske elforbrug. Det svarer til ca. 2% af det samlede energiforbrug  |
| <b>Varmepumper</b>     | Varmepumper står i dag for ca. 6% af den danske VE-produktion. Der er betydelige muligheder for et yderligere bidrag fra varmepumper, da pumperne foruden at producere energi kan regulere et evt. eloverløb fra vindmøller.   |

### Miljøeffekter

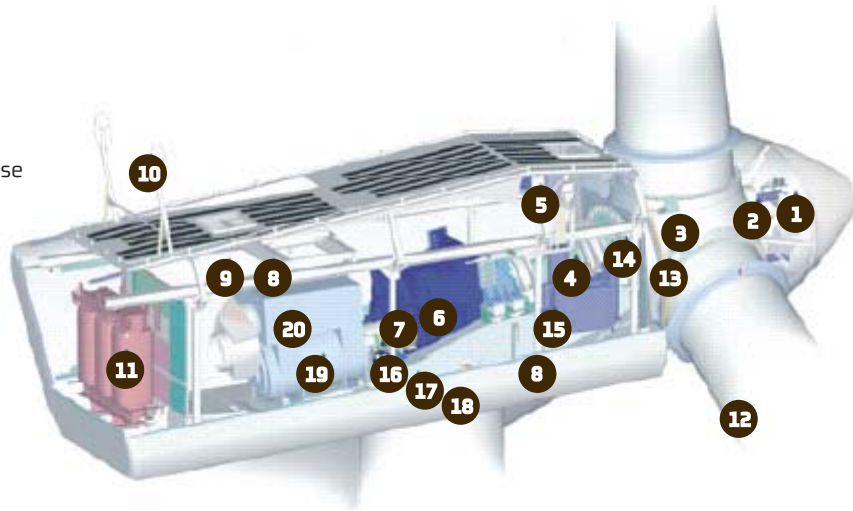
Vedvarende energi er CO<sub>2</sub>-neutral. Udnyttelsen af den medfører ikke udledning af drivhusgassen CO<sub>2</sub> til atmosfæren, — i modsætning til brug af de fossile energikilder (kul, olie og naturgas). Med i den samlede miljøvurdering skal dog indregnes den energi, der bruges til produktion og drift af anlægget samt andre påvirkninger af miljø og landskab.

Miljøeffekter er detaljeret beskrevet under de enkelte teknologier.

### Virksomheder, vidensinstitutioner, organisationer og eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter

Er beskrevet under de enkelte teknologier.

- 1) Navstyring
- 2) Pitchregulering
- 3) Vingenav
- 4) Hovedaksel
- 5) Oliekøler
- 6) Gearkasse
- 7) Mekanisk skivebremse
- 8) Servicekran
- 9) Topstyring med konverter
- 10) Vindsensorer
- 11) Højspændings-transformer
- 12) Vinge
- 13) Vingeleje
- 14) Rotorlåsesystem
- 15) Hydraulikenhed
- 16) Maskinfundament
- 17) Krøjegegar
- 18) Kompositkobling
- 19) Generator
- 20) Luftkøler



Teknisk princip i en vindmølle (www.vestas.com)

# Vindenergi

Vindenergi er en primær energikilde, som har været anvendt som trækraft gennem århundrede.

Princippet i moderne vindkraft er, at vindens energi-indhold opfanges og omsættes til elektricitet. Udnyttelsen af vindens kræfter har været en udfordring gennem århundreder, men oliekrisen i 1970'erne og mulighederne i ny teknologi satte fart på udviklingen af effektive vindmøller til elproduktion. Udviklingen tog afsæt i kendt teknologi, og de første små møller blev fremstillet af private, håndværkere og mindre virksomheder. De nuværende store vindmølleproducenter i Danmark har alle baggrund i disse pionerer. Kommercialiseringen blev styrket af statsligt tilskud til vindkraftproduceret el, og i begyndelsen også af

anlægstilskud. Tilskuddet til vindmølleindustrien har således overvejende været indirekte ved at styrke efterspørgselssiden.

## Kort beskrivelse af principper i teknologien

Princippet i en moderne vindmølle er, at en trebladet rotor opfanger vindens energi. Gennem en gearkasse overføres energien til en generator, som omdanner energien til elektricitet. Systemet opretholdes af elektronisk styring, hydraulikanlæg og en krøjeme-kanisme som holder rotoren op mod vinden. Endelig sørger udførlige sikkerhedssystemer, herunder et

dobbelt bremsesystem, for at beskytte møllen og dens omgivelser.

Tilslutning af især mindre enkeltmøller til elnettet sker efter samme princip som almindelige større el-installationer. Populært sagt løber strømmen blot den anden vej. Tilslutning af vindmølleparker, ikke mindst offshore, er mere kompliceret på grund af den store effekt og de ofte længere afstande og lader sig bedre sammenligne med tilslutning af andre kraftværker.

## Råvaregrundlag

Danmarks lange kyststrækninger og flade terræn giver gode placeringsmuligheder for vindmøller. Det havde især stor betydning for teknologiens udvikling i 1980'erne og 1990'erne, ikke mindst placeringer langs den jyske vestkyst.

Vind er i princippet en udtømmelig ressource, og målet for vindmølleudviklingen er derfor ikke umiddelbart en høj virkningsgrad i sig selv. Det afgørende for industrien er at reducere prisen pr. produceret kWh i møllens levetid, hvilket driver udviklingen i retning af større møller. En høj virkningsgrad har dog den positive effekt, at møllernes landskabspåvirkning reduceres.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Danmark indtager en meget betydelig position på verdensmarkedet for vindmøller. De danske fabrikanter stod således i 2004 for ca. 40% af den installerede vindmølleeffekt på verdensplan. De sidste ti år er de danske vindmøllefabrikanter omsat mere end ti-doblet til ca. 20 mia. kr. med en eksportandel på over 90%.

De store producenter Vestas og Siemens har begge hovedsæder og en betydelig beskæftigelsesandel i Region Midtjylland. Ud over de ca. 7.000, som er beskæftiget hos vindmølleproducenterne, anslår branchen, at yderligere ca. 13.000 er beskæftiget hos underleverandører i Danmark. En betydelig andel af de beskæftigelsesintensive underleverandører er lokaliseret i Region Midtjylland.

Danmark har en stor koncentration af fabrikanter, underleverandører, rådgivende virksomheder, energiselskaber og forsknings- og uddannelsesinstitutioner, og Region Midtjylland står for en forholdsmeget

betydelig andel heraf. Udenlandske virksomheder tiltrækkes heraf og flere har etableret sig i Region Midtjylland, f.eks. Gamesa og Suzlon. Kommercielt vurderes der et stort potentiale i offshore vindmøller, hvor danske virksomheder har et betydeligt forspring. Vindmøllemarkedet har imidlertid nået en størrelse og vindmølleindustrien en modenhed, som gør det interessant for store udenlandske koncerner. Den danske styrkeposition må derfor forventes at komme under yderligere internationalt pres. Endvidere er produktionen af vindmøller, ligesom andre produktionsindustrier, udfordret af pres fra lavtlønslande.

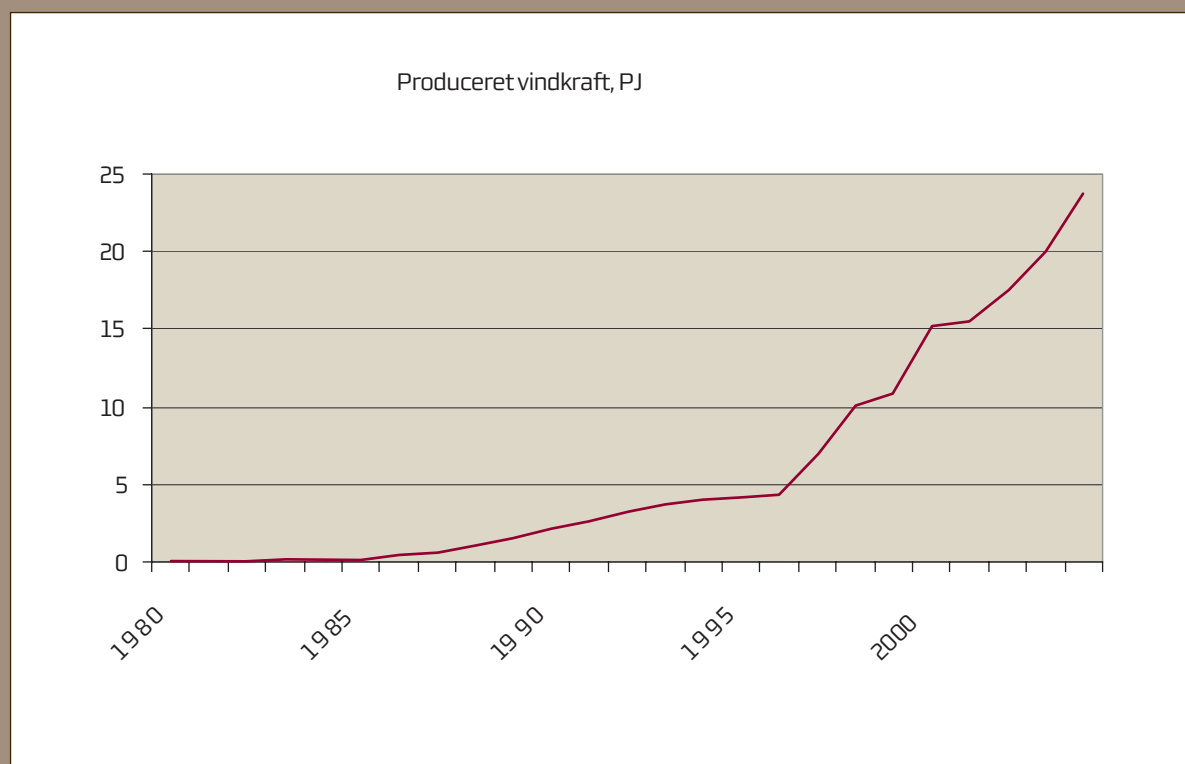
En konkret udfordring for den fortsatte udvikling er, at vind er en ujævn ressource, som ikke umiddelbart kan oplagres. Det har mindre betydning når kun en lille del af energiproduktionen kommer fra vind, men en stadig stigende andel (pt. ca. 20 % i Danmark) udfordrer spillet mellem vindenergidraget og elsystemet.

Mens selve vindmøllerne i dag er moden teknologi, er der betydelige teknologiske udfordringer forbundet med lagring af energi fra perioder med kraftig blæst til vindstille perioder.

Blandt lagringsmulighederne er fremstilling af brint ved elektrolyse i perioder med overskudsproduktion, og efterfølgende produktion af elektricitet ved hjælp af brændselsceller i perioder med energiunderskud. Se mere herom i afsnittet om brint-teknologi. Avancerede batteriteknologier, og kulde- og varmelagre er ligeledes muligheder for lagring af overskuds-el.

Alternativer til lagring af energi er udvikling af nye metoder til regulering af spillet mellem vindkraft og elnettet. Herunder for eksempel spillet med vandkraften i Norge og Sverige. Her vil en udfordring være de store krav til distributionsforbindelserne. Også varmeproduktion af overskuds-el med varmepumper kan være et alternativ til eksport af overskuds-el til meget lave priser. Endelig kan der reguleres på efterspørgselssiden, f.eks. gennem differentiering af el-prisen, så efterspørgslen stiger når der produceres meget vindenergi.

En anden udfordring er hensynet til landskabsbilledet i det åbne land og nabohensyn som begge udfordres af de stadig større møller. Afsides placering i parker (ikke mindst offshore) er en mulighed, som imidlertid medfører teknologiske udfordringer, større anlægsomkostninger, også til el-distributionen, og højere omkostninger til tilsyn og vedligeholdelse.



Produceret vindkraft 1980-2004 (Energistyrelsen)

Energistyrelsen har i 2004 sammen med branchen oplystet en række forskningsområder, der er afgørende for den fortsatte udvikling af vindkraften:

- Offshore vindenergiproduktion
- Generel omkostningsreduktion
- Drift og vedligehold
- Forudsigelse af vindenergiproduktion
- Indpasning af vindenergiproduktion i elsystemet — herunder reduktion af miljøpåvirkninger og integration/samspil med elsystemet
- Indpasning af vindenergiproduktion i el- og energimarkederne — herunder markedsforhold, offentlig regulering og vindmølle-økonomi

## Potentielt energibidrag

I 2004 udgjorde den samlede elproduktion fra vindmøller 23,7 PJ, svarende til knap 20% af den danske

elproduktion. Stærkt medvirkende hertil er etablering af vindmølleparker. Det er dog ikke ensbetydende med, at 20% af elforbruget i Danmark blev dækket af vindkraft, idet overskudsproduktion på vinddage eksporteres (til lavere priser). Andelen af vindkraftproduceret el forventes af branchen at stige til 25% i 2008.

## Miljøeffekter

Nettoenergiudbyttet og CO<sub>2</sub>-fortrængningen ved vindenergi er højt. Langt størstedelen af den producerede energi fortrænger CO<sub>2</sub>, da energiforbruget til driften begrænser sig til vedligehold og overvågning. Ifølge Vindmølleindustrien har den mængde vindenergi der blev produceret i 2004 reduceret udledningen af CO<sub>2</sub> med 5,2 mio. tons.

En livscyklusanalyse (input/output-model) gennemført af Vindmølleindustrien viser, at en moderne

## Fordele og ulemper ved vindenergi

### Fordele

- Stort nettoenergiudbytte
- Meget få restprodukter i form af affald, slagge ol.
- Høj el-andel (100%), som bl.a. gør energien let at distribuere.
- Meget stor kommerciel betydning for regionen og for landet
- Stor videnskonsentration i regionen og i landet

### Ulemper

- Store udsving i el-produktion afhængigt af vindhastighed
- Placeringen af møller på land kan konflikte med andre miljøhensyn, herunder specielt de landskabelige

vindmølle i løbet af 2-3 måneder har produceret en energimængde, der svarer til det totale energiforbrug til fremstilling, installation, vedligehold og skrotning af møllen. Vindmøller designes typisk til en forventet levetid på 20 år.

Til miljøeffekter hører som nævnt hensynet til landskabsbilledet. Der er i dag opstillet ca. 5000 vindmøller på land. Af disse møller er størstedelen mindre møller på under 80 meters højde. I takt med, at vindmøllerne bliver stadig større, må antallet af vindmøller på land forventes at falde betydeligt. Den nuværende el-produktion vil med dagens teknologi kunne produceres af mindre end 1000 vindmøller på op mod 150 meters højde.

De nye og større vindmøller har et lavere omdrejnings-tal end de gamle. I hvilket omfang vindmøller konflikter med miljøhensyn, afhænger af den konkrete lokalisering og den subjektive oplevelse.

## Virksomheder

Erhvervsfremmestyrelsen har udpeget vindkraftindustrien som en af Danmarks mest betydelige erhvervs-klynger. Erhvervsklyngen består af tre dele:

### Vindmølle- og vingefabrikanter

Vindmøllefabrikanterne Vestas Wind Systems A/S og Siemens Wind Power A/S er begge lokaliseret i regionen og dækker tilsammen omkring 40% af verdensmarkedet. Spanske Gamesa Wind Engineering Aps og indiske Suzlon Energy A/S har indenfor de seneste år etableret sig i regionen i henholdsvis Silkeborg og Århus.

### Større komponentleverandører

Region Midtjylland har en række mellemstore producenter af stålkomponenter, elektronik, vinger osv., der primært fungerer som underleverandører til vindmølleproducenterne.

### Mindre underleverandører

Regionen har ligeledes en styrkeposition inden for metal og produktionsteknologi og en lang række service- og videnvirksomheder, der har specialiseret sig på vindområdet. Eksempelvis rådgivende ingeniører, konsulentvirksomheder, advokater og andre rådgivere.

### Følgeerhverv

Vindindustrien giver en betydelig omsætning inden for transport, logistik, byggeri mv. enten specialiseret til vindområdet eller i form af målrettede generelle ydelser.

## Vidensinstitutioner

Dansk forskning i vindenergi må betegnes som verdensførende. Omdrejningspunktet er Forskningscenter Risø, DTU, Aalborg Universitet og DHI-institut for Vand og Miljø.

I Region Midtjylland har følgende institutioner aktiviteter på området:

### Teknologisk Institut, Århus ([www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk))

Kompetencer inden for beskyttelsessystemer mod lyn, transformere, effektelektronik og køling af effektelektronik, støbegods, overfladebehandling af vindmøllevinger samt drift og vedligehold af vindmølleparker.

### Ingeniørhøjskolen (HIH) i Herning ([www.hih.dk](http://www.hih.dk))

Diplomingeniør-uddannelse i Global management and manufacturing med specialisering inden for blandt andet vindmøller. Huser endvidere det nationale center for vindfaglig kompetenceudvikling (HIH-vind).

### Ingeniørhøjskolen i Århus

Har i samarbejde med vindmølleindustrien udviklet et diplomingeniørspciale i vindmølleteknologi.

### Blade Test Center, Viborg

Testcenter for møllevinger. Ejet af Risø, Det Norske Veritas AS og FORCE Technology.

## Organisationer

### Vindmølleindustrien ([www.windpower.dk](http://www.windpower.dk))

Brancheorganisation for vindmølleproducenter og underleverandører.

### Dansk Selskab for Vindenergi ([www.vindselskab.dk](http://www.vindselskab.dk))

Faglig og videnskabelig forening af en række centrale aktører inden for vindkraftsektoren.

### Danmarks Vindmølleforening ([www.dkvind.dk](http://www.dkvind.dk))

Forening af danske vindmølleejere.

### Danish Wind Energy Group – DWEG. - En sektion i Dansk Eksportforening

Et netværk af underleverandører, logistik-leverandører, rådgivere, konsulenter mv., der har til formål at optimere de enkelte medlemmers eksport.

## Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter i Region Midtjylland

### Høvsøre prøvestation

Risø har etableret en national prøvestation for store vindmøller ved Høvsøre ved Lemvig.

### Attraktive placeringsmuligheder

Region Midtjylland tilbyder attraktive placeringsmuligheder for store vindmøller, som er vigtige for branchens fuldskala-demonstration, og er førende i Danmark på området.

## Vestas etablerer forskningsenhed i Århus

Vestas besluttede i 2005 at samle og udvide sin forskningsaktivitet i en ny enhed i Århus med potentielt 500 højteknologiske arbejdspladser.

## Særlige regionale perspektiver

Tilstedeværelsen af de to altdominerende vindmølleproducenter i Danmark og en meget betydelig andel af de beskæftigelsestunge underleverandører, giver regionen en absolut særstilling i den danske styrkeposition. En position, som er bekræftet og styrket af to udenlandske etableringer i regionen.

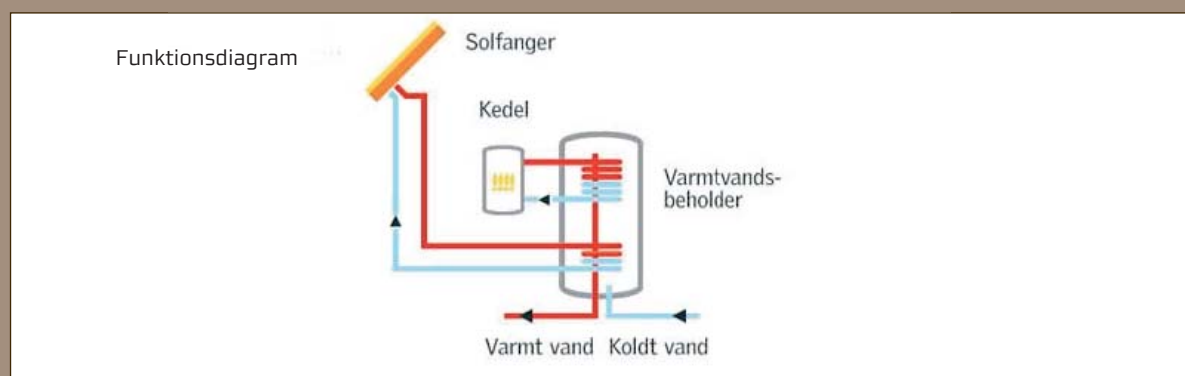
En række af de store underleverandører er koncentreret i Region Midtjylland. Af Vindmølleindustriens 123 medlemmer er de 44 lokaliseret i Region Midtjylland, og stor del af de ca. 13.000 underleverandørjobs er lokaliseret i regionen. Dertil kommer, at regionen har mange beskæftigede inden for følge- og serviceerhverv, eksempelvis rådgivnings- og konsulentvirksomhed. Selve vindkraftindustrien er i dag en moden og fuldt kommercielt bæredygtig industri, hvor den fortsatte forskning og udvikling drives af industrien selv i samarbejde med vidensinstitutioner, som primært ligger uden for regionen.

På grund af den meget kraftige vækst i markedet har vindmølleindustrien især fokuseret på udvikling af selve vindmøllerne og i mindre grad på udvikling af »grænsefladeteknologier«. I takt med, at andelen af el produceret på grundlag af vindmøller stiger, bliver bl.a. de ustabile strømleverancer et stigende problem for elnettet. Udvikling af effektive metoder til at udligne den svingende elproduktion fra vindmøller er derfor et eksempel på en grænsefladeteknologi, hvor der fortsat er behov for et offentligt-privat samarbejde om udvikling af teknologier. Lagring af el vha. af avancerede batteriteknologier, brint, kulde- og varmelagre samt udvikling af intelligente styringsystemer, som sikrer et bedre samspil mellem produktion og forbrug af VE-el, er blandt mulighederne.

I et regionalt perspektiv er det interessant, hvis viden på netop dette område opbygges her i regionen, da det vil kunne bidrage til at sikre fortsat vækst i vindkraftindustrien og samtidig skabe jobs i nye følgeerhverv. På dette felt vurderes regionen at have gode forudsætninger for at udvikle en særlig styrke, da løsningsmulighederne skal findes i et kompliceret samspil mellem en række teknologier, som allerede er repræsenteret i regionen, herunder f.eks. brintteknologi.

### Kilder

- *Energistyrelsen 2006. Energistatistik 2004.*
- *Vindmølleindustrien 2006. [www.windpower.dk](http://www.windpower.dk)*
- *Energistyrelsen 2004. Strategi for dansk vindenergiforskning.*
- *Erhvervsfremmestyrelsen 2001. Kompetenceklynger i dansk erhvervsliv*



Princippet i et solvarmeanlæg (www.velux.dk)

# Solvarmeanlæg

Solenergi er en primær energikilde, som kan bruges til produktion af varme og el. Dette afsnit beskriver to teknologier – solceller og solvarmeanlæg – som har det til fælles, at de aktivt udnytter solens energi. Derudover bidrager solen ligeledes med energi i form af passiv solvarme, som f.eks. solindfald gennem vinduer.

## Kort beskrivelse af principper i teknologien

Solvarmeanlæg omsætter solens strålingsenergi til varme i et enkelt lukket kredsløb. Solfangeren består af en sort plade der opfanger solens energi og opvarmer en blanding af vand og frostvæske. Væsken pumpes til en særlig varmtvandsbeholder inde i huset, hvor det afgiver sin varme og løber tilbage til solfangeren. Der findes også systemer baseret på luft, men de er ikke så udbredte.

Solvarmeanlæg anvendes primært til opvarmning af varmt brugsvand, men kan også være en del af kombinerede anlæg til opvarmning af både brugsvand og vand til rumvarme. Mest almindelige er solvarmeanlæg på 4-5 m<sup>2</sup> til énfamiliehuse installeret på husets tag. Derudover kan solvarmeanlæg bruges til opvarmning af vand til større fællesanlæg, f.eks. svømmehaller og fjernvarmesystemer. Ry Fjernvarme har som eksempelvis etableret et 3.000 m<sup>2</sup> stort centralt anlæg

i tilknytning til fjernvarmeværket. Solvarmeanlæg kan med fordel kombineres med biobrændselsanlæg, som ofte brænder dårligt og har lav virkningsgrad og dårlig varmeøkonomi i perioder med lavt varmeforbrug. På den måde er det muligt at slukke for biobrændselsanlægget om sommeren.

## Råvaregrundlag

Med gennemsnitligt 1.800 solskinstimer årligt har Danmark næsten samme solindstråling som landene i centraleuropa. Også i overskyet vejr trænger der store mængder solenergi ned til jorden. Energimængden ved indstråling er ca. 1.000 kWh/m<sup>2</sup>/år, der svarer til godt 100 liter fyringsolie.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Teknologien er i dag fuldt udviklet og moden. Dog vil der fortsat kunne ske effektivitetsforbedringer via den løbende udvikling.

Solvarme har hidtil været dyrere end fossil energi, og fjernelse af statstilskud til etablering af solvarmeanlæg har i 2002 har derfor reduceret antallet af opførte anlæg betydeligt.

## Fordele og ulemper ved solvarmeanlæg

### Fordele

- Enkel og veludviklet teknologi
- Særdeles miljøvenlig
- Særdeles velegnet som supplement til biobrændselsanlæg
- Solkøling giver nye interessante udviklingsmuligheder

### Ulemper

- Et solvarmeanlæg kan ikke stå alene, men skal suppleres med en anden energiform
- Vand/kølevæske er energibærere. Solfangeren skal derfor være placeret tæt på forbrugsstedet for at undgå store tab
- Skæmmer efter nogens opfattelse bygninger
- Dårlig økonomi ved lavt vandforbrug

Et solvarmeanlæg har en gennemsnitlig levetid på over 20 år og vil typisk være betalt tilbage på 5-10 år, alt efter forbrugsmønster og hvilken type energi, der fortrænges.

Solkøling er en ny og lovende udnyttelse af solenergi under udvikling. Ved at koble en solfanger med en absorptionskøler, er det muligt at lave køling, som det kendes fra airconditionanlæg. Da der i verden - og også nogle nye glashuse i Danmark -, bruges mere energi på nedkøling end opvarmning, åbner det nye interessante udviklingsperspektiver. Men det kræver høje temperaturer på afgangens af solfangeren for at effektiviteten af absorptionsanlægget bliver acceptabel, og absorptionsanlæg er meget dyre. Forbedret integrering af solfanger i bygningsmaterialer, tagflader o. lign., så de skæmmer bygninger mindre, er et andet interessant udviklingsområde.

### Potentielt energibidrag

Hvis man beregner 1-1½ m<sup>2</sup> solfangerareal pr. husstandsmedlem, kan solvarmen til varmt brugsvand næsten dække behovet 100% i sommermånederne og typisk 60-70% af det samlede årlige forbrug. Solvarme kombineret til rumvarme og brugsvand kan med et stort solfangerareal typisk dække op til 30-40% af det årlige forbrug.

Samlet set udgjorde solenergi (solfangere og solvarme) i 2004 kun ca. 0,3% af den samlede VE-produktion, men solvarmeanlæg bidrager globalt set mere end vindmøller.

### Miljøeffekter

Et solvarmeanlæg er stort set forureningsfrit, idet der kun benyttes strøm svarende til en elpære til at drive anlægget. Den energi, der anvendes til at producere et solvarmeanlæg, svarer til den energi, der produceres af anlægget i løbet af 9 mdr. drift.

I samdrift med biobrændselsanlæg vil der endvidere kunne opnås en ekstra miljøgevinst, idet det er muligt at slukke biobrændselsanlægget i perioder med lavt varmeforbrug, hvor forureningen er forholdsvist størst.

## Virksomheder

Der er i Danmark nogle få større producenter af solfangere, hvoraf formentlig kun en enkelt er beliggende i Region Midtjylland. Der er imidlertid også virksomheder som f.eks. Grundfos, der leverer komponenter til solfangeranlæg. Velux er et eksempel på en virksomhed, som har valgt at indbygge solfangere i deres produkter (ovenlysvinduer).

## Vidensinstitutioner

### **Teknologisk Institut, Århus** **([www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk))**

Afprøvning og certificering af solfangere. Huser endvidere solenergicenteret, der udfører forskning og rådgivning indenfor solenergi.

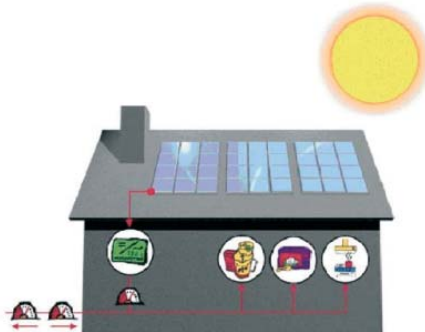
## Organisationer

### **Dansk Solvarmeforening** **([www.dansksolvarmeforening.dk](http://www.dansksolvarmeforening.dk))**

Interesseorganisation under Håndværksrådet for solfanger fabrikanter og andre professionelle aktører.

## Særlig regionale perspektiver

Region Midtjylland har kun få virksomheder og få vidensinstitutioner der beskæftiger sig med området. Da det samtidig er en moden og kommercialiseret teknologi, er udvikling af solvarme derfor ikke et oplagt udviklingsområde for regionen.



Princippet i et solcelleanlæg. Solcelleanlægget producerer jævnstrøm, som efterfølgende omsættes til vekselstrøm i en vekselretter (grøn boks). Hvis der produceres mere solelektricitet end der forbruges i huset, kan overskuddet sendes ud på nettet. I princippet svarer det til, at elmåleren kører baglæns ([www.sol1000.dk](http://www.sol1000.dk)).

# Solceller

## Kort beskrivelse af principper i teknologien

En solcelle er en halvleder, som omsætter lys direkte til elektricitet ved hjælp af den såkaldte fotoelektriske effekt. Solceller producerer el uden bevægelige dele, pumper m.m. Der er derfor tale om en meget robust og driftssikker teknologi.

Solcelleanlæg er karakteriseret ved deres modulære opbygning, idet de består af et antal solcellemoduler, som kobles sammen til den ønskede strømstyrke og spænding.

Solcelleanlæg er hidtil blevet anvendt til elforsyning i områder med dårlig forsyning fra det offentlige for-

syningsnet, evt. koblet sammen med et batterilager. Denne type anlæg er solgt gennem mange år, og f.eks. i Norge anslår man, at der er over 100.000 små solcelleanlæg til afsides beliggende hytter. Derudover bruges anlæg med batterilager også til drift af telekommunikation, lysbøjer, vejbelysning og decentral elforsyning af enkelt huse og mindre landsbyer.

De solceller, der er på markedet i dag, er næsten alle baseret på silicium i mono- eller polykrystallinsk eller amorf (ikke-krystallinsk) tilstand. De enkelte moduler er påført et metalgitter som kontaktet og er monteret mellem et glas- og et plastlag. Virkningsgraden for polykrystallinske solceller er lidt ringre end for mono-, men dette opvejes i nogen grad af det forhold, at modulerne kan pakkes tættere pga. formen.

Solceller baseret på ikke-krystallinsk silicium er konstrueret helt anderledes end ovennævnte. Her er de aktive lag dampet direkte på glasfladen, og herefter opdelt i enkelte cellestrimler. Der er ingen metalliske kontakter på forsiden, da lederen er en transparent oxid-film. De aktive lag er meget tynde og materialeforbruget beskedent. Disse såkaldte tyndfilms-celler kan også indkapsles i plast i stedet for glas, hvilket gør dem fleksible. Virkningsgraden er typisk under det halve i forhold til de krystallinske celler. Denne type solceller anvendes mest i lommeregner, ure og andre små apparater, men potentialet er også til større moduler, primært pga. den lave fremstillingspris.

Der arbejdes endvidere på udvikling af såkaldte fotoelektro-kemiske solceller (PEC-celler), der betegnes som tredjegerationssolceller. Disse vil kunne indbygges i vinduesglas og andre bygningsmaterialer. Solceller integreres i stigende grad i bygningsmaterialer og udstyr. Grundfos har eksempelvis udviklet en solcelledrevet pumpe. Dette har særlige perspektiver afsides beliggende egne adgang til elektricitet i f.eks. udviklingslande. Solceller kan med fordel kobles med kraftvarmeanlæg. Sådanne anlæg kører ofte relativt uøkonomisk i sommerperioden, da der ikke er afsætning for al den producerede varme.

## Råvaregrundlag

Med gennemsnitligt 1.800 solskinstimer årligt har Danmark næsten samme solindstråling som landene i Centraleuropa. Også i overskyet vejr trænger der store mængder solenergi ned til jorden. Energimængden ved indstråling er ca. 1.000 kWh/m<sup>2</sup>/år, der svarer til godt 100 liter fyringsolie.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Solceller er i dag en moden teknologi, og teknologien er væsentlig bedre dokumenteret og gennemprøvet end de fleste andre industriprodukter. Det skyldes, at teknologien oprindeligt blev udviklet til rumfart og militære formål.

De høje fremstillingsomkostninger har hidtil været en hæmsko for solcelleteknologiens udbredelse. Selv om effektiviteten er øget, og prisen på solceller siden 80'erne er blevet ca. halveret for hvert 10. år, skal prisen stadig længere ned for at være et reelt alternativ til elproduktion baseret på fossile brændsler. Folketinget har indført den såkaldte nettomålingsordning,

der betyder, at overskydende strøm fra solceller kan leveres til elnettet og tages tilbage uden beregning — måleren løber i princippet baglæns. Ordningen repræsenterer dermed en reel afgiftsfritagelse.

PEC-solceller rummer interessante udviklingsperspektiver, idet det giver helt nye muligheder for solcelleteknologien, men er endnu på et tidligt udviklingsstadium.

## Potentielt energibidrag

De anlæg, som er på markedet, kan typisk omsætte 10% af lysets energiindhold til brugbar el. Det svarer til ca. 100 kWh/m<sup>2</sup>/år. Danmarks nuværende årlige elforbrug kan produceres med et solcelleareal på ca. 250 km<sup>2</sup> svarende til 0,6% af Danmarks areal. Realistisk set vurderes solceller potentielt at kunne dække 20% af elforbruget. Et typisk anlæg til et enfamiliehus, som ønsker at være selvforsynende med, el er på 20-50 m<sup>2</sup> afhængigt af typen.

## Miljøeffekter

Solceller giver ingen miljøpåvirkning under drift, og energiforbruget til fremstilling af solcellerne udgør den største miljøbelastning. Den energi, der anvendes til at producere solcellerne, svarer ca. til fem års produktion. Levetiden for en solcelle er 25 år eller mere.

## Virksomheder

Der produceres ikke solceller i Danmark, men to virksomheder samler solcellemoduler ud fra importerede solceller. Der er kun få virksomheder i Region Midtjylland beskæftiget sig med solceller. Et eksempel er energiforsyningselskabet Energi Midt i Silkeborg, der har været blandt pionererne i Danmark inden for rådgivning og salg af solceller.

## Vidensinstitutioner

Forskningen i Danmark retter sig mest mod 3. generations solceller og er primært koncentreret omkring Teknologisk Institut og Risø. I Region Midtjylland har følgende institutioner aktiviteter på området:

### Teknologisk Institut, Århus ([www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk))

Forskning, udvikling, rådgivning og kontrol. Huser endvidere solenergicenteret ([www.solenergi.dk](http://www.solenergi.dk)), der er en

## Fordele og ulemper ved solceller

### Fordele

- Enkel, robust, driftssikker og stort set vedligeholdelsesfri teknologi
- Miljøvenlig
- Stor fleksibilitet mht. placering da el er let at transportere
- Kan ligeledes fungere som lokal strømforsyning i områder uden elnet i f.eks. i udviklingslande
- Velegnet som supplement til kraftvarmeanlæg

### Ulemper

- Et solfang kan ikke stå alene, men skal suppleres med en anden energiform
- Svingende elproduktion
- Skæmmer efter nogens opfattelse bygninger
- Prisen er fortsat relativ høj

kvalitetssikringsordning for solcellekomponenter og -systemer.

### Arkitektskolen i Århus ([www.aarch.dk](http://www.aarch.dk))

Forskning og udvikling vedr. design og integrering af solceller i bygningsmaterialer

## Organisationer

### Scandinavian Photovoltaic Industry Association ([www.solcell.nu](http://www.solcell.nu))

Ny brancheorganisation for den skandinaviske solcelleindustri.

### Eksempler på igangværende udviklingsprojekter på solcelleområdet Sol1000 ([www.sol1000.dk](http://www.sol1000.dk))

Landsdækkende storskala solcelleprojekt, hvor der er opsat 700 solcelleanlæg. Energi Midt i Silkeborg er projektleder.

### PEC solcelle projektet ([www.solarcell.dk](http://www.solarcell.dk))

Samarbejdsprojektet mellem blandt andre Teknologisk Institut, Risø, Arkitektskolen i Århus, Roskilde Universitet og Ängström Solarcenter i Sverige om udvikling og design af solceller

## Særlige regionale perspektiver i solcelleteknologien

Den traditionelle solcelleteknologi er en moden og kommercialiseret teknologi. Da Region Midtjylland samtidig har få virksomheder der beskæftiger sig med området, vurderes den traditionelle solcelleteknologi ikke at have et særligt stort udviklingspotentiale for regionen.

Udvikling af 3. generations solceller og integrering af solceller i fremtidens byggematerialer og energisystemer rummer dog fortsat et interessant udviklingsperspektiv. Blandt andet fordi regionen har mange virksomheder, som producerer bygningsmaterialer, f.eks. vinduer, og fordi der er forskning på området i regionen.

#### Kilder:

- *Energistyrelsens 2006.* [www.ens.dk](http://www.ens.dk)
- *Teknologirådet 2004.* *Energikatalog*
- *Energistyrelsens storskala-solcelleprojekt 2006,* [www.sol1000.dk](http://www.sol1000.dk)

# Bølgekraftenergi

Der er ingen tvivl om, at der er store kræfter i bølgerne. Udfordringen har derfor været – og er stadig – at finde ud af, hvordan energien fra bølgerne kan udnyttes.

Siden energikrisen i 1970'erne har enkelte personer i Danmark arbejdet med udviklingen af bølgekraft, men det har været spredte tiltag. Først med bølgekraftprogrammet 1997-2001 og en bevilling på 40 mio. kr. kom der et sammenhængende udviklingsprogram i gang under ledelse af Bølgekraftudvalget under Energistyrelsen. Den statslige støtte ophørte imidlertid med finansloven for 2002.

Bølgekraftprogrammets struktur var baseret på tre udviklingsfaser. Fase 1, som omfattede indledende afprøvning af nye koncepter. Fase 2, som omfattede videregående udvikling og afprøvning af udvalgte koncepter. Og endelig fase 3, som omfattede egentlige pilotprojekter i havet som sidste skridt inden en kommercialisering. I alt fik ca. 40 projekter støtte til fase 1, 15 projekter støtte til fase 2, mens kun en enkelt nåede at få fase 3 støtte, før programmet blev lukket.

## Kort beskrivelse af principper i teknologien

Der eksisterer flere forskellige principper for udnyttelse af bølgeenergi. Fælles for alle bølgeenergi projekter

er indtil nu, at energien fra bølgerne skal omdannes til elektricitet. I det følgende beskrives fire forskellige principper, som dog ikke kan betragtes som en udtømmende oversigt.

Bølger dannes af blæst ved, at vinden overfører energi til vandet. Bølgernes størrelse afhænger af vindhastigheden, men også af bølgelængden og vanddybden. Jo større bølger, jo mere energi. Derfor har de forskellige forsøgsmodeller i mindre skalaer også været placeret i fjorde o.l., mens det er mest optimalt at placere et fuldskalaanlæg på havet.

## Point Absorberen

Dette princip er baseret på en maskine, som har en række såkaldte flydere, der bliver presset op af bølgerne. Point absorberen virker ved, at bølgerne skubber en cylinder op og ned omkring et stillestående stempel. Derved pumpes en væske gennem en hydraulikmotor, som driver en el-generator.

## Line absorberen

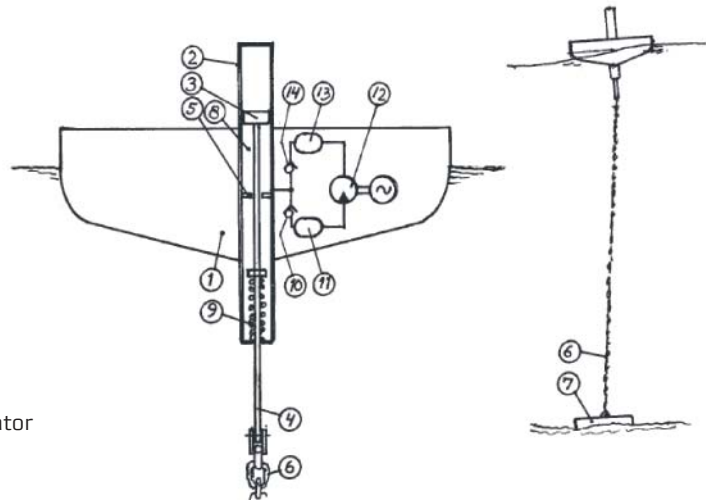
I en line absorber optages bølgernes energi i en række flydelegemer, der gennem vandpumpecylindre pumper havvand til en fælles vandturbine.

## Point Absorberen

Kim Nielsens point Absorber

Principskitse ikke skalatro

1. Flydelegeme
2. Oliehydraulikcylinder
3. Stempel
4. Stempelstang
5. Nedre cylinderbund
6. Forankringskæde
7. Anker
8. Fortrængerrum
9. Fjeder
10. Trykcontraventil
11. Højtryksakkumulator
12. Hydraulikmotor med elgenerator
13. Lavtryksakkumulator
14. Sugekontraventil



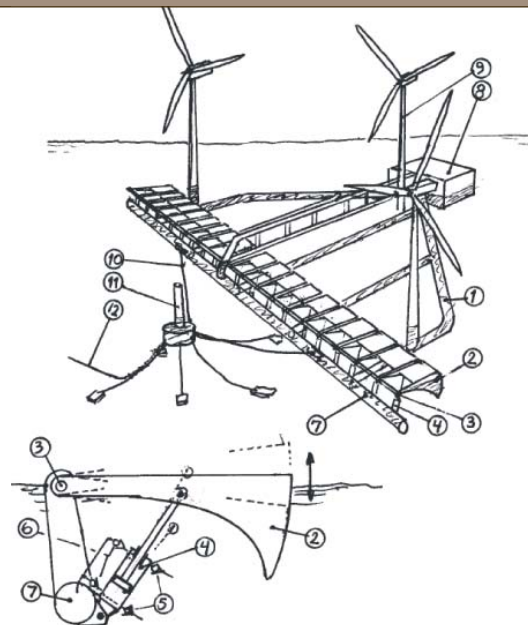
Princippet i et point absorber-anlæg (Energicenter Danmark 2002)

## Line absorberen

H. Marius Pedersens »Poseidon's orgel«

Principskitse ikke skalatro

1. Ramme af rør
2. Flydelegeme
3. Hængsel
4. Vandpumpecylinder
5. Sugekontraventil
6. Trykcontraventil
7. Tryk-samlør
8. Vandturbineelgeneratorsæt
9. Vindmølle
10. Forankringskæde
11. Bøje
12. Elkabel

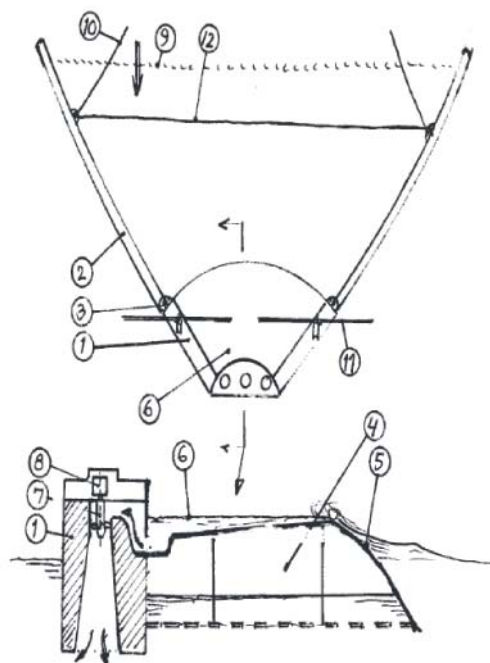


Princippet i et line absorbere-anlæg (Energicenter Danmark 2002)

Erik Friis -Madsen  
overskylningsanlæg  
- Wave Dragon

Principskitse ikke skalatro

1. Centralt flydelegeme
2. Bølgereflektor
3. Vertikalt hængsel
4. Opdriftsrum
5. Opskylningsrampe
6. Overskylningsrampe
7. Vandturbiner
8. Elgenerator
9. Bølgefront
10. Fortøjningsystem
11. Vindmølle
12. Støttewire



Princippet i et overskyldningsanlæg (Energicenter Danmark 2002)

## Overskylningsanlæg

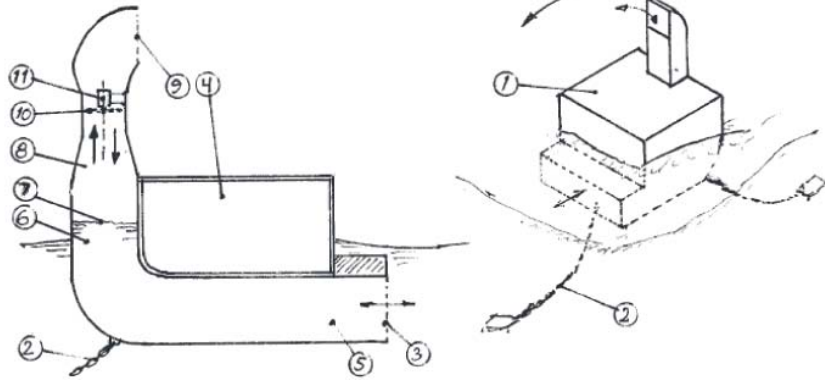
Et overskylningsanlæg opsamler bølgerne i et reservoir, hvorfra vandet ledes gennem vandturbiner, der er tilkoblet en el-generator.

## Oscillerende vandsøjle (OWC-anlæg)

Ralph Mogensen  
OWC - SWAN DK 3

Principskitse ikke skalatro

1. Flydelegeme (skrog)
2. Fortøjningssystem
3. Vandinstrømningssport
4. Opdriftsrum
5. Vandtunnel, horisontalt
6. Vandskakt vertikalt
7. Overflade af vand
8. Luftrum
9. Luftindstrømning/ Udstrømningssport
10. Turbine med konstant rotationsretning
11. Elgenerator



Princippet i et OWC-anlæg (Energicenter Danmark 2002)

## Oscillerende vandsøjle (OWC-anlæg)

Et OWC-anlæg virker ved, at bølgerne sætter en svingende vandsøjle i gang i en cylinder. Ved hver svingning presses luften ovenover vandsøjlen frem og tilbage gennem en luftturbine over cylinderen. Luftturbinen er forbundet med en el-generator.

## Fordele og ulemper ved bølgeenergi

### Fordele

- Stort energipotentiale ikke mindst i Danmark, som er omgivet af hav
- Miljøvenlig el-produktion
- Kompetencer fra vindkraft-industrien kan anvendes i udviklingen
- Forsinket elproduktion i forhold til vind

### Ulemper

- Teknologien er endnu på udviklingsstadiet
- Besværligt og dyrt med anlæg på havet
- Svingende el-produktion, men dog mere stabil end fra vindmøller
- Risiko for, at de fysiske anlæg har negative påvirkninger for plante- og dyreliv, samt for skibstransporten

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Den mest kritiske parameter for den fortsatte udvikling af bølgekraftanlæg er prisniveauet på den producerede strøm. Dette bestemmes af omkostningerne til etablering, drift og vedligehold af anlæggene set i forhold til anlæggets levetid og elproduktion. Der er generelt store omkostninger forbundet med at etablere og drive anlæg på havet. En anden teknisk udfordring er driftssikkerheden. Hidtil har det eksempelvis været et stort problem at få anlæggene til at overleve bølgerne under en storm.

Styrken ved bølgeenergi er, at den på flere punkter passer godt til danske erhvervsmæssige kompetencer, herunder især offshore og værftsindustrien. Desuden vil mange af de kompetencer, der er opnået indenfor vindkraftsektoren, kunne bruges indenfor bølgeenergi.

Mindst to bølgekraftanlæg er i dag i Danmark udviklet så langt, at den kommercielle udnyttelse er tæt på. Det drejer sig om Wave Dragon og Wave Star. Wave Dragon baserer sig på overskylningsystemet, mens Wave Star fungerer ved hjælp af point absorber-systemet. Desuden er lande som England, Norge og Portugal også kommet langt i udviklingen af bølgekraftanlæg. I flere af disse lande, har man valgt indirekte at støtte udviklingen via gunstige afregningspriser for den producerede el.

En række andre anlæg befinder sig endnu i tidlige udviklingsfaser. Det er klart, at mange af disse ikke vil blive udviklet til kommercielle anlæg, men det er

meget sandsynligt, at nogle få af dem vil vise sig velegnet til videre satsning og udvikling.

## Potentielt energibidrag

Energistyrelsen kortlagde i 1999 bølgeforholdene i den danske del af Nordsøen og har beregnet energindholdet til ca. 30 TWh pr. år. Til sammenligning kan nævnes at det samlede danske elforbrug i øjeblikket er på omkring 33 TWh om året. Hvor stor en del af dette potentiale, det vil blive teknisk og økonomisk muligt at udnytte, er straks sværere at vurdere, da det afhænger af, hvor mange bølgekraftanlæg, der bygges, hvor de placeres og hvor stor en andel af bølgernes energi, de kan udnytte.

Bølgernes energiindhold er ca. tre gange så stort i vinterhalvåret som i sommermånederne, hvilket passer godt sammen med det danske energiforbrug. Bølgeenergi og vindenergi kan supplere hinanden godt, idet energiproduktion fra bølger er forskudt ca. seks timer i forhold til energiproduktion fra vinden.

Det er endnu svært at sætte tal på, hvor stort et bidrag bølgeenergien vil kunne give til det samlede energiforbrug. Energistyrelsens rådgivende bølgekraftudvalg har vurderet, at en strækning med 150 km bølgekraftanlæg i Nordsøen vil kunne producere, hvad der svarer til minimum ca. 15% af Danmarks nuværende elforbrug.

## Miljøeffekter

For bølgekraftanlæg er der – ligesom for vindkraft og solenergi – ingen udledninger af forurenende stoffer forbundet med energiproduktionen. Ved konstruktion og udlægning af anlæg, samt ved bortskaffelse af udtjente anlæg vil der være en vis forurening, blandt andet på grund af det energiforbrug, der går til den pågældende aktivitet. Hertil kommer, at bølgekraftanlæg – ligesom andre havanlæg – kan have såvel positive som negative virkninger for plante- og dyreliv i havområdet ved anlægget. Den øvrige anvendelse af søterritoriet (f.eks. fiskeri) og sikkerhedsmæssige aspekter (f.eks. risiko for kollision med skibe) skal også tages i betragtning.

## Virksomheder

Uden for regionen findes to danske virksomheder, der især har markeret sig på området, hhv. Wavestar og Wavedragon. Men som følge af, at begge virksomheder har deres testanlæg i regionen, er midtjyske virksomheder allerede i dag inddraget fremstillingen af bølgekraftanlæg.

## Vidensinstitutioner

Forskning vedr. bølgeenergi foregår i Danmark primært på Ålborg Universitet, DHI vand og DTU. Nordisk Folkecenter for Vedvarende Energi hus til en række småskalaforsøg med bølgeenergi.

## Organisationer

### Foreningen til Fremme af Bølgekraft ([www.waveenergy.dk](http://www.waveenergy.dk))

Netværk for bølgekraftinteresserede med ca. 90 medlemmer, Sdr. Ydby i Sydthy.

## Eksempler på igangværende udviklingsprojekter i Region Midtjylland

### Wave Dragon ([www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net))

Har deres overskylningsanlæg i skala 1:4,5 (kapacitet 20 kilowatt) liggende nord for Oddesund i Nisum Bredning. Wave Dragon har dannet et konsortium med 12 partnere fra ind- og udland, som har nøglekompetencer inden for industri og videnskab. De arbejder på at skaffe finansiering til et fuldskalaanlæg ved Horns Rev ved Esbjerg.

### Wave Star ([www.wavestarenergy.com](http://www.wavestarenergy.com))

Har deres multi point-absorber anlæg i skala 1:10 liggende ved Nordisk Folkecenter for Vedvarende Energis prøvestation ved Helligsø. Danfoss er gået ind i projektet, og planen er at installere det første 200 kW-anlæg i et indre dansk farvand.

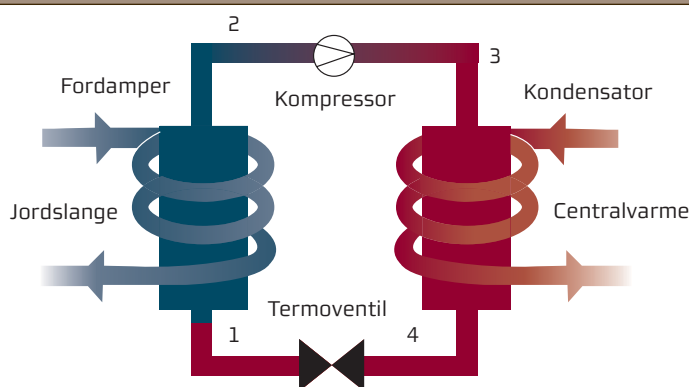
## Særlige regionale perspektiver

Region Midtjylland har kun få virksomheder og vidensinstitutioner, der beskæftiger sig med bølgeenergi. En række af de kompetencer, der findes i regionen inden for vindkraftsektoren, vil imidlertid kunne udnyttes inden for udvikling af bølgekraft. Tilsvarende vil der kunne være grundlag for etablering af kombinerede anlæg til vind- og bølgekraft.

På samme måde som det er sket indenfor vindkraft sektoren, vil bølgekraft potentielt kunne skabe nye udviklingsmuligheder for regionens mange små- og mellemstore fremstillingsvirksomheder inden for blandt andet metalindustrien.

### Kilder:

- *Teknologirådet 2004. Energikatalog*
- *Energistyrelsen 2005. Bølgekraftteknologi – Strategi og forskning og udvikling.*
- *Energicenter Danmark 2002. Fakta om Bølgeenergi – en bog om udnyttelse af bølgekraft*
- *Energistyrelsen 1999. Kortlægning af bølgeenergiforhold i den danske del af Nordsøen.*



Principskitse for en varmepumpe

# Varmepumper

En varmepumpe kan omsætte solvarme lagret i de øverste jordlag eller varme fra luften, ventilationsprocesser mv. til rumopvarmning og opvarmning af brugsvand. Overskudsvarme fra blandt andet industrielle processer og stalde kan også anvendes som varmekilde.

Varmepumper har været anvendt i mindre anlæg i Danmark siden 1950'erne. Teknologien blev dog først udbredt i forbindelse med den første danske energikrise i begyndelsen af 1970'erne.

I dag er der herhjemme installeret ca. 35.000 små varmepumper til rumopvarmning af enkeltboliger og ca. 5.000 større anlæg til opvarmning af boligblokke, landbrug og industri.

## Kort beskrivelse af principper i teknologien

En varmepumpe optager varmeenergi fra omgivelserne ved et lavt temperaturniveau og oparbejder via en kredsløbsproces energien til varmeenergi ved et højere temperaturniveau. Efter temperaturhævningen kan varmen anvendes til opvarmningsformål.

En varmepumpe består af fire hovedkomponenter:

- Fordamper (optager varmen)
- Kondensator (afgiver varmen)

- Kompressor (hæver temperaturen)
- Termoventil (regulerer mængden af kølemiddel)

Varmepumpens komponenter er forbundet i et hermetisk lukket system, som er fyldt op med et kølemiddel, der ved atmosfærisk tryk allerede fordamper (koger) ved  $-40^{\circ}\text{C}$ . Via et varmeoptagende kredsløb opsamlers varmepumpen lavtemperaturenergi, og fører denne videre til en fordamper, der er placeret i selve varmepumpesystemet. Herfra føres energien videre til kompressoren, hvor den omdannes til højtemperaturenergi, inden den til sidst bliver afleveret til centralvarmeanlægget via kondensatoren.

Det energimæssige input til en varmepumpe består af en drivenergi, som kan leveres fra el, gas eller lignende. Den typiske varmepumpe drives af el og kaldes også for en kompressorvarmepumpe.

## Anlægstyper

En varmepumpe karakteriseres ved varmekilden og varmeafgiversystemet. I det følgende gives en kort oversigt over de mest anvendte anlægstyper.

### Jord/vand anlæg

Ved denne anlægstype cirkuleres en frostsikret væske (brine) i rørslanger (jordslanger af plast) nedgravet i de

øverste jordlag. Nedgravningsdybden er normalt omkring 75 cm. Jordslangerne benytter ikke jordens indre varme, men gammel solvarme oplagret i jorden. Temperaturen i jorden varierer med årstiden og vil i sensommeren være 15 grader, mens den er tæt på frysepunktet i det sene forår, såfremt det har været en lang og kold vintersæson. Varmepumpens drift bliver ofte lidt mindre effektivt sidst på sæsonen. Jordvarmeanlæggene hører til blandt de mest effektive anlægstyper.

## Luft/vand anlæg

Denne anlægstype er meget almindelig, specielt i lande med moderate vintertemperaturer. Ved lave vintertemperaturer under  $-12^{\circ}\text{C}$ , hvilket kun forekommer ca. en time om året i Danmark, kan virkningsgraden falde til et niveau, hvor andre opvarmningsformer er at foretrække. I modsætning til jord/vand anlægget skal denne type anlæg afrime den varmeoptagende del. Det gælder specielt i kolde og fugtige perioder af året.

## Luft/luft anlæg

Ved denne anlægstype optages varmen fra udeluften og afgives i en varmeplade, der kan være placeret i et luftbaseret kanalsystem (ventilationssystem) eller direkte i rummet med designet varmeafgiver. Denne anlægstype er, som antydning, begrænset til rumopvarmning med cirkuleret luft evt. kombineret med et ønsket friskluftskifte. Varmekilden kan også være afkastluft fra bygningen, der ønskes opvarmet eller overskud fra industrielle processer. I øvrigt gælder bemærkningerne om luft som varmekilde som anført for luft/vand anlægget.

## Staldvarmepumper

Udnyttelse af den overskudsvarme, der skal bortventileres fra stalde, er en særdeles god varmekilde for varmepumper. Normalt dimensioneres disse anlæg til at levere varme og varmt brugsvand til såvel den erhvervsmæssige drift som til det private forbrug. Man må regne med, at der skal være en besætning på mindst 200 svin eller ca. 25 køer for at et staldvarmepumpeanlæg er økonomisk interessant. Installeret staldvarmepumpen til også at fungere som mælkekøllingsanlæg forbedres driftsøkonomien betydeligt.

Denne anlægskombination bliver mere og mere udbredt i Danmark.

## Varmepumper ved kraftvarmeværker

I disse år arbejdes der fra flere sider på at udvikle varmepumper til brug i kraftvarmeværkerne. Disse varmepumper har en høj vkningsgrad på op mod 4 og kan i modsætning til traditionelle varmepumper levere varme ved høje temperaturer på 90-100 grader. Det betyder, at varmen kan anvendes direkte i fjernvarmeforsyningen. Kølemidlet i disse pumper er  $\text{CO}_2$ .

## Råvaregrundlag

Varmepumper udnytter solvarme i jorden eller i udeluft, jordvarme, industriel procesvarme eller varme fra f.eks. stalde.

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Varmepumpe-teknologien kan i dag betegnes som en moden teknologi. På trods af, at tilskuddet til installation af varmepumper faldt bort i 2001, er der således ikke sket et væsentligt fald i antallet af installerede pumper pr. år. I nybyggeri udenfor den kollektive varmeforsyning anses varmepumper allerede i dag for at være privatøkonomisk attraktivt. Når varmepumper ikke har fundet større anvendelse i Danmark, end tilfældet er, skyldes det bl.a., at Danmark har valgt at satse på en kollektiv forsyning med fjernvarme og naturgas. Den kollektive forsyning og kravet om tilslutningspligt i fjernvarmeområdet har sat en begrænsning på anvendelsen af varmepumper. Meget tyder dog på, at varmepumper kan komme til at spille en væsentlig rolle i varmeforsyningen i de kommende år. Det gælder både for nybyggeri, den eksisterende bygningsmasse samt i forbindelse med kraftvarmeværkerne.

Anvendelsen af varmepumper bliver stadig mere interessant fordi:

- Øget elproduktion fra vindmøller betyder, at behovet for at omdanne el til varme i blæsende vintermåneder stiger
- Kravene til isoleringen af nybyggeri er blevet skærpet i 2006 og må forventes at blive skærpet yderligere i de kommende år. Dette gør, at varmepumper kan opvarme boligerne billigere end f.eks. private olie- og naturgasfyr.
- Høje priser på olie og naturgas øger varmepumpers rentabilitet

## Fordele og ulemper ved varmepumper

### Fordele

- Kan opnå meget høje virkningsgrader på mere end 400%
- Kan udnytte spildvarme fra industriel produktion og fra stalde
- Kan reducere problemer med eloverløb ved at producere varme i perioder, hvor el-produktionen er for stor grundet bunden elproduktion fra kraftvarmeverker og vindmøller
- Kan anvendes både i centrale og decentrale varmeanlæg
- Teknologien er velkendt og markedsmoden
- Kan ved nybyggeri effektivt indgå som en del af et luftkanalsystem til ventilation og varmedistribution.

### Ulemper

- Teknologien kan ikke producere elektricitet
- Anlægsomkostningerne kan for nogle anlægstyper være relativt høj
- Varmepumpens virkningsgrad er bedst i kombination med lavtemperatursystemer som gulvvarme eller luftvarme, mens specielt opvarmningen af brugsvand giver en lavere virkningsgrad.
- Der anvendes i dag HFC-gasser som kølemiddel, hvilket er en kraftig drivhusgas. Det må dog forventes, at HFC-gasserne udskiftes med naturlige kølemidler i en nær fremtid.

## Potentielt energibidrag

Den leverede nettoenergi fra varmepumper (efter fradrag af drivenergien) er ca. 4 PJ årligt svarende til ca. 6% af det samlede bidrag fra vedvarende energi i den danske energiforsyning.

Det er Energistyrelsens vurdering, at der er god mulighed for udnyttelse af individuelle varmepumper til opvarmning af boliger, primært udenfor de fjernvarmeforsynede områder. Markedspotentialet skønnes i disse områder at være ca. 50 PJ/år.

Foruden individuelle varmepumper vil der være gode muligheder for at udnytte teknologien i den eksisterende kraftvarmeproduktion. Specielt i vinterperioden, hvor vi i Danmark har en stor varmebunden elproduktion, samt en stor produktion fra vindmøller, vil varmepumper effektivt og billigt kunne reducere eloverløbet og omsætte merproduktionen til varme.

## Miljøeffekter

De mest effektive varmepumpesystemer til husstandsbrug i dag leverer op til 4 gange den mængde energi de bruger. Man siger, at de har en virkningsgrad på 4. Anlæg der udnytter staldvarme eller anden industriel spilvarme kan allerede i dag nå virkningsgrader, der

nærmer sig 5. Det skyldes, at der i disse systemer er en højere temperatur omkring kølefladen (fordamperfladen). Teknologisk Institut ser ingen umiddelbare tegn på, at udviklingen mod stadig bedre varmepumpeydelse er aftagende, og teoretisk resterer der stadig gode muligheder for forbedringer af teknologien. Eldrevne varmepumpers miljøvenlighed er snævert knyttet til den overordnede elproduktions sammensætning. I et system, hvor elproduktionen stammer fra vedvarende energikilder som eksempelvis vindenergi eller biomasse, vil varmepumper være en særdeles miljøvenlig opvarmningsform. Dertil kommer, at teknologien vil være med til at løse eloverløbsproblemer og dermed understøtte en yderligere udbygning med vedvarende elproduktion.

I det nuværende energisystem, udgør varmepumper et miljøvenligt og økonomisk attraktivt alternativ til individuel opvarmning med el, olie og naturgas. Varmepumper er specielt interessante i nybyggeri, hvor varmemforbruget er lavt.

I varmepumper anvendes som i køleskabe et kølemiddel. Der anvendes i dag typisk HFC gasser, som ikke skader ozonlaget. Gasserne har dog en kraftig drivhuseffekt og Miljøstyrelsen har derfor igangsat en udfasningsplan for disse kølemidler. Producenterne søger i forlængelse af Miljøstyrelsens plan alternative

kølemidler som f.eks. propan og CO<sub>2</sub>. Det er Miljøstyrelsens vurdering, at indførelsen af naturlige kølemidler vil have en positiv effekt på varmepumpernes samlede effektivitet og dermed medføre en yderligere reduktion i miljøbelastningen fra systemerne.

## Virksomheder

Danmark har en stor og markant kølebranche. En række producenter inden for køleteknologi beskæftiger sig ligeledes med varmepumper. De danske fremstillede varmepumper er blandt de absolut bedste og mest effektive på markedet og er internationalt konkurrencedygtige. Desuden fremstiller bl.a. Danfoss en række nøglekomponenter til brug for udenlandske varmepumpefabrikanter. Den samlede årlige eksport af udstyr til varmepumper vurderes at være i størrelsesordenen 100-200 mio. kr.

Flere af de førende virksomheder indenfor produktion af køleanlæg og varmepumper er placeret i Region Midtjylland. Det gælder både for individuelle anlæg og for centrale anlæg etableret på kraftvarmeværker.

## Vidensinstitutioner

Forskningen i Danmark er bl.a. koncentreret omkring Teknologisk Institut, Aalborg Universitet og Danmarks Tekniske Universitet. Teknologisk Institut i Århus spiller her en central rolle.

### Teknologisk Institut, [www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk)

I forbindelse med vedtagelsen af finansloven for 2002 bortfaldt tilskuddet til varmepumper og den hidtidige funktion omkring systemgodkendelse af varmepumpeanlæg på Prøvestationen for Varmepumpeanlæg. I dag forestår Teknologisk Institut ordningen om »Systemgodkendelse af Varmepumpeanlæg«. Denne ordning skal sikre, at importører og producenter af varmepumpeanlæg har mulighed for at få deres produkter godkendt af en uvildig instans. Desuden kan de få rådgivning omkring opbygning, produktionsforhold, energirigtigt design mm. Teknologisk Institut i Århus spiller desuden en central rolle i forhold til udviklingen af store CO<sub>2</sub> varmepumper til brug i kraftvarmeværker.

## Organisationer

### Varmepumpefabrikantforeningen, [www.varmepumpefabrikanterne.dk](http://www.varmepumpefabrikanterne.dk)

Brancheorganisation for varmepumpeproducenter.

### Autoriserede kølefirmaers brancheforening, [www.koeleteknik.dk](http://www.koeleteknik.dk)

Brancheorganisation for køleindustrien. Flere producenter er medlemmer af både Varmepumpefabrikantforeningen og Autoriserede kølefirmaers brancheforening. Desuden har Autoriserede kølefirmaers brancheforening flere medlemmer, der lever produkter eller ydelser til produktionen af varmepumper.

## Eksempler på igangværende udviklingsaktiviteter i Region Midtjylland

### Brug af varmepumper på kraftvarmeværker

Teknologisk Institut, Naturgas Midt/Nord og Foreningen Danske Kraftvarmeværker har siden 2003 arbejdet på udviklingen af en højtemperatur-varmepumpe til brug i de decentrale kraftvarmeværker. Disse parter samt Aalborg Universitet, Energi- og Miljødata og det nystartede firma Advansor i Århus arbejder nu på at få bygget et demonstrationsanlæg i fuld skala. Projektet støttes af bl.a. Energinet.dk

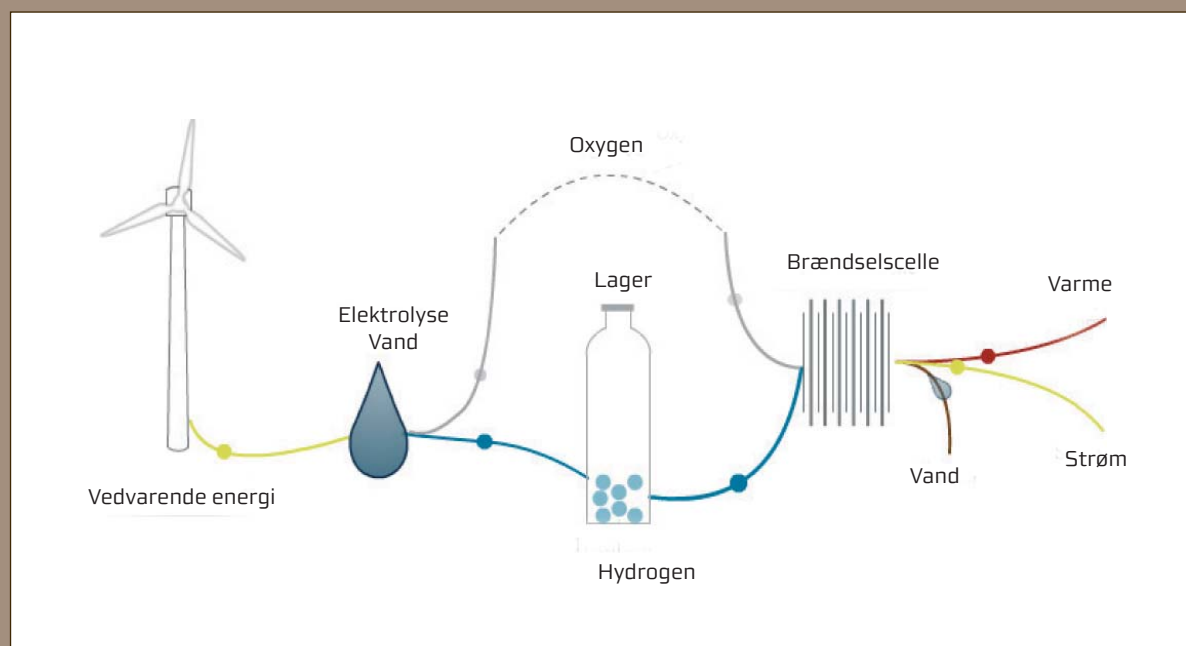
## Særlige regionale perspektiver

Region Midtjylland har en række virksomheder, der beskæftiger sig med varmepumpeteknologi eller teknologier, der knytter sig til området. Der gælder virksomheder, der producerer varmepumper, kompressorer, pumper, elektronisk styring mm. eller fungerer som rådgivere på området.

I dag er installeringen af varmepumper specielt knyttet til nye private boliger placeret udenfor de kollektive forsyningsområder. Teknologien rummer dog store perspektiver og vil med al sandsynlighed blive udbredt i både den kollektive og den private forsyning i de kommende år. Specielt svingende elpriser og behovet for at håndtere en svingende elproduktion fra vindmøller vil fremme brugen af varmepumper. I Region Midtjylland, hvor vindmølleproduktionen er relativt høj, vil varmepumper kunne understøtte en fortsat udbygning med vindmøller, og sikre at den producerede vindenergi bliver anvendt på en miljømæssig og samfundsøkonomisk bæredygtig måde.

Kilder:

- Teknologisk Institut. [www.teknologisk.dk/varmepumpe-info](http://www.teknologisk.dk/varmepumpe-info)
- Teknologirådet 2004. *Energikatalog*
- Energistyrelsen 2005. *Energiteknologier – tekniske og økonomiske udviklingsperspektiver*
- Energistyrelsen 2005. *Sammenfattende baggrundsrapport for Energinet 2025*



Eksempel på brintkæde – fra vind til vand (www.h2pia.dk).

## Brint og brændselsceller

Brint er ikke en energikilde, men en energibærer, der kan anvendes som opbevarings- eller transportmedie for energi. Brintens funktion kan sammenlignes med elektriciteten, men har den fordel, at der er flere lagrings- og distributionsmuligheder, og kan omdannes til elektricitet og varme i en brændselscelle

### Kort beskrivelse af principper i teknologien

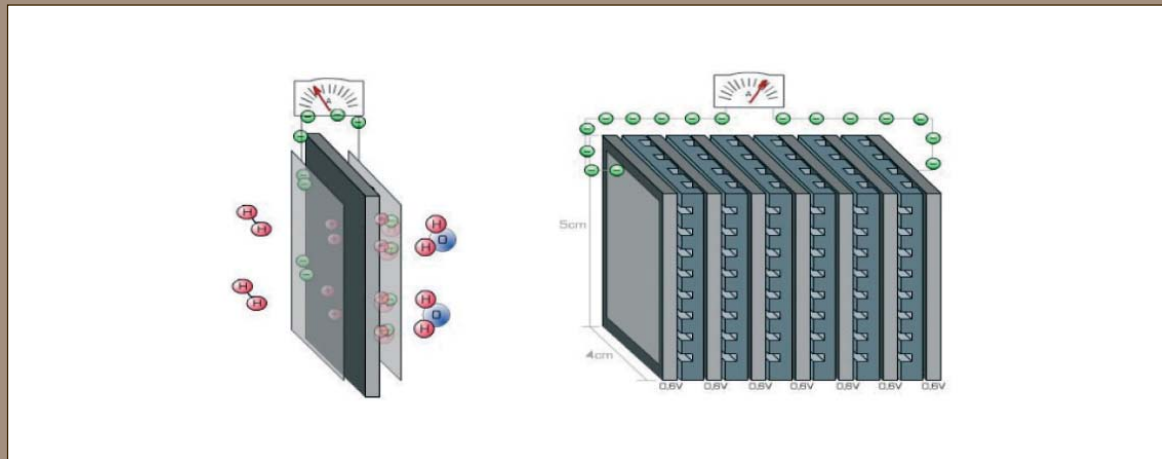
Brintteknologi består af flere teknologier i den såkaldte brintkæde, der omfatter produktion, lagring, distribution og konvertering. I ovenstående figur er vist et eksempel på brintkæden.

En brændselscelle er et elektrokemisk enhed, der kan omsætte f.eks. brint til strøm og varme ved vand

som det eneste udstødningsprodukt. Princippet i en brændselscelle er vist i ovenstående figur. I en PEM-brændselscelle (figuren ovenfor.) omsætter brint og ilt vha. af en platin-katalysator til strøm og vand. Ved at stække cellerne (figuren th.) kan man forøge ydelsen (H2Logic)

Brændselscelle-teknologien har været anvendt inden for rumfartsbranchen i 60'erne, men det er først i 80'erne og 90'erne, at en videreudvikling til anvendelse til almindelige energiformål er igangsat.

Brændselsceller kan i princippet opnå meget høje elvirknings-grader tæt på 100%, men under realistiske forhold er virkningsgraden typisk op til 40-60%. Til sammenligning har en forbrændingsmotor typisk en virkningsgrad på 30-40% og et oliefyr på 90-95%.



I en PEM-brændselscelle (figuren tv.) omsætter brint og ilt vha. af en platin-katalysator til strøm og vand. Ved at stakke cellerne (figuren th.) kan man forøge ydelsen (H2Logic)

Måden brændselscellen er opbygget på, betyder at processen er lydløs og uden bevægelige dele. På grund af brændselscellens stakkeopbygning er den meget fleksibel mht. størrelse, og kan i princippet anvendes i alt fra mobiltelefoner til kraftværker. Der findes forskellige typer af brændselsceller, hvoraf de væsentligste er beskrevet nedenfor:

### PEM Brændselsceller

Den mest udbredte er PEM brændselscellen der anvender ren brint og fungerer ved lave temperaturer (80 grader celsius). PEM brændselscellen kan på grund af den lave driftstemperatur anvendes i de fleste former for udstyr. En af udfordringerne ved PEM er anvendelsen af platin som katalysator. Platin er dyrt og forekommer i begrænsede mængder. Der forskes derfor i alternative katalysatorer. Levetiden af en PEM-brændselscelle er ca. 3-4000 timer.

### HT-PEM Brændselsceller

En ny type høj-temperaturs PEM brændselsceller (op til 200 grader celsius) er under udvikling. Den højere temperatur gør det muligt at køre på mere urent brint, og samtidig kan effektiviteten øges. Desuden kan systemet omkring brændselscellen laves mere simpelt.

### SOFC Brændselsceller

SOFC brændselsceller opererer ved meget høje temperaturer (+600 grader celsius), hvor membranen er keramisk. De høje temperaturer giver en bedre effektivitet, og gør det samtidig muligt at køre på meget forskellige urene brændsler som f.eks. naturgas. Samtidig er levetiden væsentlig højere (ca. 12.000 timer). Grundet de høje temperaturer kan SOFC primært anvendes i større udstyr, hvor driftsmønstret er stabilt, og der ikke kræves for mange hurtige opstart, da cellen kræver opvarmning inden start.

### DMFC Brændselsceller

En anden type brændselsceller er DMFC (direct methanol fuel cell), der kan operere direkte på metanol. Brændselscellen er i opbygning meget lignende PEM brændselscellen, blot at metanol lige før membranen spaltes (reforming) i CO<sub>2</sub> og brint, hvorefter reaktionen forløber som i en PEM. DMFC brændselscellen er grundet reformeringen mindre effektiv end PEM og kræver flere celler og mere platin for at levere samme ydelse, og er derfor dyrere.

| Energi densitet    | Brint | Benzin | Naturgas | Metanol | Li-On-batteri |
|--------------------|-------|--------|----------|---------|---------------|
| Kwh/kg             | 33,3  | 2,47   | 3,59     | 3,79    | 0,125         |
| kWh/m <sup>3</sup> | 2,79  | 8666   | 10,02    | 4420    | 300           |

## Lagring af brint

Brint er det mest energitætte stof hvad angår vægt, mens det modsatte gør sig gældende for energitætheden i forhold til volumen.

Det betyder, at der er store vanskeligheder forbundet med lagring af ren brint, fordi det typisk opbevares ved et tryk på 300-700 bar eller holdes flydende ved en temperatur på minus 240 grader celsius. Det høje tryk eller de lave temperaturer er meget energikrævende og stiller meget store krav til tanke og materialer. Dertil kommer, at det indebærer en risiko at køre rundt med en tryktank. Der arbejdes derfor fortsat på at udvikle forskellige brint lagrings-teknologier. Der arbejdes både med teknologier hvor brint i fri form, bundet i forskellige metalhydrider eller hvor lagringen sker ved kemisk binding til et stof enten i flydende eller fast form.

Metanol er en særdeles simpel lagring af brint i flydende form og giver en forholdsvis god energitæthed. Distributionen af den ligner meget den eksisterende for fossile brændstoffer. Ulempen er at metanol ved anvendelse reformeres til brint (se under DMFC-brændselscelle overfor), hvilket koster energi og giver lavere effektivitet i brændselscellen. Der er endvidere en række produktionsmæssige begrænsninger (se blandt andet dokument om biomasse-energi).

Der findes også en lang række faste stoffer som brint kan bindes til, og hvor der kan opnås tilfredsstillende energitætheder. Eksempelvis arbejdes der på Danmarks Tekniske Universitet med binding af brint til ammoniak i fast form. Omtalt i medierne som »brint-pillen«. Også ved kemisk binding til et fast stof er ulempen, at brint skal frigives ved reformering, og at det koster energi. Samtidig kan problemet med et fast stof være, at den brint, der leveres, ikke er tilstrække-

lig ren og/eller at der er et restprodukt fra processen, som skal distribueres tilbage til centralt hold for igen at kunne anvendes til at lagre brint.

## Råvaregrundlag

Rent brint findes ikke i store mængder i naturen. Derimod findes der en lang række brintbærende stoffer som eksempelvis vand, kul, olie, naturgas og biomasser, som brint kan produceres på grundlag af.

Brint kan således produceres på grundlag af både fossile og vedvarende brændsler. Som det er beskrevet overfor kræver nogle typer brændselsceller rent brint mens andre brændselsceller kan bruge brintbærende stoffer som f.eks. methan (biogas eller naturgas) og methanol som drivmiddel.

Rent teknisk kan brint f.eks. produceres ud fra vand ved hjælp af strøm (elektrolyse) eller på basis af f.eks. naturgas (reformering). I dokumentet om biomasseenergi er beskrevet hvordan såvel brint og brintbærende stoffer kan produceres på grundlag af biomasse.

Brint produceres allerede i dag i store mængder primært til industriel brug. Denne produktion er langt overvejende baseret på naturgas og sker på store centrale anlæg, som er teknologisk modne, og hvor produktionsprisen kan konkurrere med benzin og diesel. Fremstilling af brint ud fra biomasse er endnu langt fra at være konkurrencedygtigt med brint fremstillet ud fra naturgas, men kan konkurrere med brint fremstillet ud fra el (se tabel næste side).

Produktionspriser på brint. Energiindholdet i én liter benzin svarer til 0,28 kg brint (Energistyrelsen 2005)

|  | Naturgas<br>(reforming store<br>anlæg) | El fra nettet<br>(elektrolyse) | Vindkraft<br>(elektrolyse) | Biomasse<br>(gasificering) |
|--|--|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Brintomkostninger<br/>- ekskl. Distribution</b> | 7,5 kr./kg                             | 28 kr./kg                      | 45-60kr./kg                | 22-30 kr./kg               |

## Kommercielt niveau og udviklingspotentialer

Brændselscelleteknologier har nået et teknologisk stade, hvor principperne er kendte, og hvor det er muligt at producere komplette anlæg. De fleste af disse anlæg er dog baseret på rent brint.

Eksempelvis har Dantherm i Skive udviklet et nødstrømsanlæg baseret på brændselsceller som i øjeblikket er på demonstrationsstadiet. Dantherm arbejder ligeledes på udvikling af brændselsceller til kraftvarme. H2 Logic i Hering lancerede i efteråret 2005 Europas første serieproducerede brint-truck. . Desuden kører der for øjeblikket et større demonstrationsprojekt, innovationskonsortiet FC-SPP (Fuel Cell Shaft Power Packs), hvor en række virksomheder samarbejder om at udvikle brændselscelledrevne »Power-packs« til brug i virksomhederens produkter.

Prisniveauet for en brændselscelle er højt, ca. 40-80 gange højere en forbrændingsmotoren. Tilsvarende er levetiden for en brændselscelle kortere. Prisen for brændselsceller er dog i en stærk positiv udvikling, da meget intensivt arbejdes på at udvikle mere holdbare membraner og bedre katalysatormaterialer, som kan mindske forbruget af kostbare materialer, f.eks. platin.

Når der er udviklet teknologier, som kan producere brint på en omkostningseffektiv måde, vurderes brændselsceller at have et enormt potentiale både i transport- og energiforsyningssektoren. Samtidig kan brændselsceller være en vigtig brik i lagring af energi. Udviklingen på området går stærkt, og konkurrencen er hård. En række af verdens største virksomheder og offentlige myndigheder har valgt at lægge en stor strategisk forskningsindsats på området. Danmark

kan dog komme til at spille en vigtig rolle på en række nicheområder, da der blandt virksomheder, universiteter og vidensinstitutioner er en stor viden om brændselsceller.

## Potentielt energibidrag

Brint er en energibærer, og bidrager ikke i sig selv med energi.

## Miljøeffekter

Brint er ikke en energikilde, men en energibærer. Brint er derfor kun så ren, som den produktionsform, der er anvendt til at producere den. Hvis brint produceres på grundlag af eksempelvis naturgas, er der meget små miljøgevinster. Produceres brint derimod på grundlag af el fra f.eks. vindmøller og solceller eller på grundlag af biomasse, vil der kunne opnås en række miljøfordele som beskrevet under disse teknologier. Miljøgevinsterne reduceres dog i takt med det energiforbrug/energitab, som sker i produktionsprocesserne.

En stor fordel ved brændselsceller er, at de er stort set forureningsfri i lokalmiljøet. Der er f.eks. ingen motorstøj fra et køretøj som drives med brændselsceller og »udstødningen« er overvejende rent vand. De forurenende stoffer vil i stedet dannes på de anlæg, hvor brinten eller de brintbærende stoffer produceres. Miljømæssigt vil det oftest være en stor fordel, idet der både teknisk og størrelsesøkonomisk er bedre rensningsmuligheder på store centrale anlæg.

## Fordele og ulemper ved brint og brændselsceller

### Fordele

- Vedvarende energi kan lagres i form af brint
- Kan anvendes som drivmiddel i mange forskellige former for udstyr og transportmidler
- Ingen forurening i lokalområdet både mht. udstødning og støj

### Ulemper

- Prisen på brændselsceller er høj og levetiden endnu for lav
- Energitab ved fremstilling af brint
- Store vanskeligheder forbundet med opbevaring og transport af brint
- Platin til katalysatorer er særdeles dyrt og forekommer kun i begrænsede mængder

## Virksomheder

Der er kun få virksomheder i Danmark med Haldor Topsoe i spidsen, der beskæftiger sig med udvikling og produktion af brændselscelle-teknologien. Ingen af disse er placeret i Region Midtjylland. Der er derimod et mindre antal virksomheder, som på udviklingsniveau beskæftiger sig med at integrere brændselscelleteknologien i f.eks. varme og køleanlæg og mindre køretøjer (f.eks. trucks og handicapkøretøjer).

## Vidensinstitutioner

Forskningen i Danmark er koncentreret omkring Risø, men også Danmarks Tekniske Universitet, Ålborg Universitet og Syddansk Universitet har også en del forskning på området.

I regionen har følgende institutioner aktiviteter på området:

### Teknologisk Institut, Århus ([www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk))

Arbejder med forskning og udvikling af brint-teknologi, herunder specielt lagring, produktion og demonstration.

### HIRC - Hydrogen Innovation & Research Centre, Herning ([www.hirc.dk](http://www.hirc.dk))

Videnscenter for brint-teknologi. Har igangsat og er tovholder i en række brintrelaterede udviklings- og demonstrationsprojekter. Driver endvidere sekretariatet for Danish Hydrogen Association.

### Aarhus Universitet ([www.au.dk](http://www.au.dk))

Forskning i materialer og katalysatorer til bl.a. brint lagring og brændselsceller. Aktiviteterne er primært forankret i Kemisk Institut ([www.chem.au.dk](http://www.chem.au.dk)) og Inano Centeret ([www.inano.dk](http://www.inano.dk))

## Organisationer

### Danish Hydrogen Association ([www.danishhydrogen.dk](http://www.danishhydrogen.dk))

Interesseorganisation, der dækker interessenter inden for hele brintkæden fra forskning til kommerciel udnyttelse. Sekretariatet har til huse hos HIRC i Herning.

## Eksempler på igangværende udviklingsprojekter i Region Midtjylland

### H2 Truck

Demonstrationsprojekt vedr. udvikling og demonstration af brint trucks og mindre tankstationer i et samarbejde mellem blandt andre H2 Logic og A. Flensborg. Seks trucks er pt. sat i drift på hhv. Herning, Holstebro og Skejby sygehus og i Herning Kommune.

### Fuel Cell - Shaft Power Pack (FC-SPP)

Et innovationskonsortium med bestående af fire forskningsinstitutioner og 10 virksomheder har etableret netværk og samarbejder om at integrere brændselsceller i mindre køretøjer og arbejdsredskaber.

## Brinttog

I et forprojekt arbejdes der med mulighederne for at benytte VLTJ banen (Lemvigbanen) som forsøgsområde for anvendelse af brint til togdrift.

## Hydrogen-link

I Nordisk Transportpolitisk Netværk ([www.ntn.dk](http://www.ntn.dk)) er igangsat et forarbejde for etablering af en nordisk »brint-korridor«. Projektets opgave er at sikre nordisk samarbejde, og visionen er at skabe et sammenhængende net af brinttankstationer. I Region Midtjylland planlægges tre tankstationer i Århus, Holstebro og Ringkøbing.

## H2PIA ([www.h2pia.com](http://www.h2pia.com))

Forprojekt hvor der arbejdes med udvikling af vision for etablering af verdens første brint-by i Danmark.

## Kilder

- *Energistyrelsens 2006*. [www.ens.dk](http://www.ens.dk)
- *Energistyrelsen 2005. Brintteknologier – strategi for forskning, udvikling og demonstration i Danmark*
- *Teknologirådet. Energikatalog 2004*

## Særlige regionale perspektiver

Region Midtjylland har forholdsvis få virksomheder og vidensinstitutioner, der beskæftiger sig med brændselscelleteknologi i større omfang. Udvikling af brændselscelleteknologien er derfor ikke et oplagt udviklingspotentiale for regionen, ikke mindst set i lyset af de meget store ressourcer, der bruges på området i udlandet.

I forhold til lagring af vedvarende energi rummer brintteknologien derimod et interessant udviklingsperspektiv. Der er en grænse for, hvor stor en andel el fra vind, sol og bølger kan udgøre i det nuværende forsyningsystem pga. den ustabile forsyningsikkerhed. Udvikling af effektive lagringsmetoder spiller derfor en væsentlig rolle i forhold til at sikre vindmølleindustriens fortsatte udviklingsmuligheder. I denne sammenhæng forventes brintteknologien at kunne spille en væsentlig rolle, f.eks. i forhold til buffering af el-nettet. Eksempelvis i form af decentrale anlæg, hvor el kan lagres som brint og senere omdannes til el eller varme afhængigt af behovet — et såkaldt power-pool-system.

Region Midtjylland har som beskrevet i et tidligere afsnit ligeledes en international styrkeposition på biomasseområdet. Udvikling af teknologier til konvertering af biomasse til brint og brintbærende stoffer, som kan udnyttes i brændselsceller, er et andet oplagt udviklingsområde, hvor der vil kunne forventes en betydelig synergieffekt.

# Energienheder m.m.

| Energienheder  |         |
|--|---------|
| 1 kilojoule [kJ] =                                       | 1000 J  |
| 1 megajoule [MJ] =                                       | 1000 kJ |
| 1 gigajoule [GJ] =                                       | 1000 MJ |
| 1 terajoule [TJ] =                                       | 1000 GJ |
| 1 petajoule [PJ] =                                       | 1000 TJ |
| 1 kilowatt-time [kWh] = 3,6 MJ = 860 kilokalorier [kcal] |         |

| Energienheder                         |         |
|---------------------------------------|---------|
| Samlet dansk energi produktion i 2004 | 1302 PJ |
| Samlet dansk VE-produktion i 2004     | 118 PJ  |
| Samlet dansk energiforbrug i 2004     | 836 PJ  |
| Samlet dansk elforbrug i 2004         | 119 PJ  |

| Typiske nedre brændværdier (GJ/tons) af: |    |
|--|----|
| Træflis, friskt                          | 8  |
| Brænde, lagret                           | 15 |
| Halm                                     | 15 |
| Korn                                     | 15 |
| Træpiller                                | 18 |
| Biogas                                   | 23 |
| Rapsfrø                                  | 25 |
| Ethanol                                  | 26 |
| Kul                                      | 26 |
| Rapsolie                                 | 35 |
| Fossil olie                              | 42 |
| Naturgas                                 | 48 |

Nedre brændværdi er den energi, der udvikles ved forbrænding minus fordampningsvarmen for både det vand, som brændslet indeholder og for det vand, der dannes ved forbrændingen.

## Kuldioxid og drivhusgasser

Kuldioxid, CO<sub>2</sub> er slutproduktet ved enhver forbrænding af materialer som indeholder kulstof. Det gør alle de typer brændsel, der er dannet af ting som engang har været levende. CO<sub>2</sub> har den specielle egenskab, at det kan opsuge varmestråling. Det er netop denne egenskab, der gør at CO<sub>2</sub> virker som drivhusgas.

Fossile brændsler som kul, olie og gas er dannet af levende organismer for millioner af år siden. Når vi i dag afbrænder fossile brændsler, virker det derfor en nettotilførsel af CO<sub>2</sub> til atmosfæren. I modsætning hertil har biologiske brændsler som træ, halm og korn været levende planter kort tid før de bliver brændt af. Når planter vokser, binder de CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, og netto tilføres der derfor ikke CO<sub>2</sub> til atmosfæren, når de afbrændes. De kaldes derfor også CO<sub>2</sub>-neutrale.

Tilsvarende skulle den mængde el der produceres af f.eks. en vindmølle alternativt have været produceret på kraftværker under anvendelse af kul. Man siger derfor også VE-energi er CO<sub>2</sub>-fortrængende.

Også andre gasser som methan, lattergas og CFC-gasser bidrager til drivhuseffekten, men samlet set er CO<sub>2</sub> den væsentligste drivhusgas.

Samlede danske CO<sub>2</sub>-udledning var i 2004 på 51,2 mio. tons.



