

RAPPORT FRA MEGAVIND
DECEMBER 2010



Danmark som leverandør af konkurrencedygtig havvindkraft

Megavind strategi for forskning, udvikling og demonstration af havvindkraft

MEGAVIND

Hovedrapporten udgives på
engelsk i elektronisk form og
kan hentes på Megavinds hjemmeside:
www.windpower.org/da/forskning/megavind.html

Forord

Regeringen fremlagde i maj 2006 en redegørelse om fremme af miljøeffektiv teknologi og etablerede derved en række partnerskaber for innovation, der skal styrke offentlig-privat samarbejde mellem staten, virksomheder, videninstitutioner og venturekapital for at accelerere innovationsprocesser inden for en række teknologiområder. Partnerskabet for vindkraft har fået navnet Megavind.

Megavinds overordnede vision er, at Danmark fortsat skal være det førende kompetencecentrum i verden inden for vindkraft. Følgende partnere deltager som repræsentanter for branchen:

- Vestas Wind Systems A/S
- Siemens Wind Power A/S
- DONG Energy
- Grontmij I Carl Bro
- DTU
- Risø DTU
- Aalborg Universitet
- Energinet.dk (observatør)
- Energistyrelsen (observatør)

Nærværende rapport er Megavinds strategi for havvindkraft og er udarbejdet med det sigte at vurdere de udfordringer, vindkraftbranchen står over for på havmølleområdet, hvis teknologien for alvor skal gøres billigere og være konkurrencedygtig med andre energiteknologier.

Strategien indeholder syv tematiske prioriteringer inden for forskning, udvikling, demonstration og afprøvning inden for havvindkraft.

Strategiens anbefalinger bygger på input fra en række centrale aktører på havmølleområdet, som har bidraget til rapportens indhold igennem høringsprocesser, samt en faglig workshop om emnet i august 2010.

Hovedrapporten udgives på engelsk. Den indeholder en uddybende beskrivelse af temaerne og de underliggende prioriteringer, internationale sammenhænge og ikke mindst EUs plan for strategisk energiteknologi (SET-planen). Den engelske hovedrapport findes i elektronisk form og kan hentes på Megavinds hjemmeside <http://www.windpower.org/da/forskning/megavind.html>

Brancheforeningen Vindmølleindustrien er sekretariat for partnerskabet Megavind, og Risø DTU har bistået i udarbejdelsen af denne strategi.

Megavinds vision og målsætning for havvindkraft

Megavinds overordnede vision er, at Danmark fortsat skal være verdens førende kompetencecentrum for vindkraft. Det gælder naturligvis også for de specifikke kompetencer at bygge og drive havmølleparker.

Megavinds målsætning for havvindkraft er at sænke produktionsomkostningerne på elektricitet (*CoE*)¹ fra havmølleparker og gøre havvindkraft fuldt ud konkurrencedygtig med bl.a. kulproduceret elektricitet inden 2020.

Megavind arbejder derfor med en målsætning om at halvere *CoE* fra havmølleparker inden 2020. En reduktion af *CoE* på 50% på sammenlignelige havmølleplaceringer inden 2020 vil sandsynligvis også føre til, at havvindkraft bliver konkurrencedygtig med alle andre typer nybyggede kraftværker undtagen landmøller.

Denne ambitiøse målsætning kan kun nås ved en fælles fokuseret indsats fra industri, forskningsinstitutioner og myndigheder.

Tre afgørende delmål skal nås mellem 2010 og 2020. For det første skal havmølleparkernes produktionen optimeres med 25% pr. installeret MW, dernæst skal omkostningerne pr. installeret MW (CAPEX)² reduceres med ca. 40%, og endelig skal drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne (OPEX)³ reduceres til ca. det halve.

Omkostningsreduktioner af dette omfang er nødvendige for at fastholde offentligt og politisk støtte til en storskala satsning på havmøller i Europa og resten af verden og samtidig fastholde konkurrenceevne for de danske aktører.

Regering og myndigheder har en meget stor indflydelse på at gøre havvindkraft konkurrencedygtig. Tre vigtige forudsætninger må opfyldes af myndighederne for at høste alle gevinster af strategiens forsknings-, udviklings- og demonstrationsaktiviteter.

For det første er stordrift og industrialisering nøgleområder for at opnå en reduktion på 50%. Reduktionsmålet forudsætter en politisk sikkerhed for en jævnt stigende installationsrate frem mod 2020, så industrien har et stabilt grundlag for at foretage de nødvendige investeringer i en industrialisering af sektoren.

For det andet skal planlægningsprocessen optimeres, så der udpeges billigere og mere fleksible placeringer. Den europæiske pipeline af fremtidige havmølleparker er af politiske grunde planlagt længere fra land og på dybere vand, end det har været tilfældet før 2010. Dette vil alt andet lige give højere omkostninger og dermed modarbejde denne strategis målsætning.

For det tredje bør myndighederne stille de nødvendige midler til rådighed til forskning, udvikling og demonstration, som beskrevet i denne strategi.

Både vision og målsætning anses for opnåelige af et bredt udsnit af den danske branche.

¹ CoE er en forkortelse af den engelske betegnelse Cost of Energy, der er valgt som udgangspunkt for strategiens prioriteringer inden for forskning, udvikling og demonstration.

² CAPEX er en forkortelse af den engelske betegnelse Capital Expenditure, som dækker over kapitalomkostninger, herunder bl.a. mølle, fundament, transformestation og installation af disse.

³ OPEX er en forkortelse af den engelske betegnelse Operational Expenditure, som dækker over drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne af parken i hele dens levetid.

Danmark har et officielt mål om fortsat at være førende i grønne energiteknologier herunder havvindkraft. Samtidig satser regeringer i vores nabolande stærkt på at tiltrække disse industrier ved at tilbyde forskellige former for støtte.

Regeringerne omkring os har alle en dagsorden om gennem deres støtteprogrammer at tiltrække private investeringer i forskning, udvikling og demonstration (FU&D), og i landene omkring Nordsøen er der for øjeblikket meget store satsninger på især havmølleområdet. Der er derfor et øget behov for at målrette danske offentlige programmer for at sikre optimal effekt.

Syv tematiske prioriteringer

Strategien beskriver syv tematiske prioriteringer og udspecificerer herunder særlige FU&D indsats. Områderne er udpeget af Megavind, fordi de har potentiale til at bidrage til målsætningen om at halvere produktionsomkostningerne pr. kWh, i denne strategi benævnt *CoE*. Flere af de FU&D prioriteter, som er beskrevet i denne strategi, skal understøtte stordrift og industrialisering. Offentlig støtte til disse prioriteter vil bidrage til at nedbringe *CoE* fra havmøller og vil samtidig øge konkurrenceevnen for de involverede aktører.

Den nuværende danske model med årlige finanslovsforhandlinger, som fastsætter beløbsrammen for de offentlige FU&D programmer bør gentænkes. En årlig budgetlægning er for usikker i forhold til at sikre, at virksomheder vælger at placere F&U aktiviteter i Danmark. Støtten under de offentlige programmer kunne med fordel bevilges som en rullende rammebevilling over 3 år med en årlig opfølgning og justering.

Aktører/ investeringer

De offentlige midler afsat til FU&D aktiviteter i vindkraft må i sin helhed betragtes som relativt beskedne sammenlignet med de private investeringer. Analyser viser, at vindkraftindustrien globalt set har en forskningsintensitet på 2,6-3% af den årlige omsætning. Den danske industri omsatte i 2009 for 51 mia. kroner, hvilket svarer til 1,3-1,5 mia. kroner i FU&D. Branchefolk vurderer, at dette tal er for lavt sat i forhold til danske aktører. Der findes ikke præcise opgørelser for den danske branche, men alene i Danmark vurderer de centrale aktører bag denne strategi, at der investeres væsentligt mere end 1 mia. kroner årligt i FU&D inden for havvindkraft.

I 2009 udgjorde den samlede offentlige støtte til FU&D i energiteknologi godt 1 mia. kroner, hvoraf kun 131 mio. kroner blev bevilget til vindkraftprojekter. Det svarer til 8-10% af den private investering på området. EUs målsætning for forholdet mellem privat og offentlig investering i FU&D i strategisk energiteknologi er 50/50.

De private investeringer i FU&D vil fremadrettet fortsat være den primære investeringskilde for teknologiudvikling inden for vindkraft på havet. Megavinds generelle anbefaling er, at den offentlige støtte til FU&D inden for energi gradvist øges fra det nuværende niveau omkring 1 mia. kroner årligt til 4 mia. kroner årligt i 2020.

For yderligere at udvikle de danske kompetencer både for industri, forskning og offentlige instanser anbefaler Megavind følgende:

- Alle offentlige midler til energiforskning skal tildeles aktiviteter, som har et velbeskrevet potentiale til at reducere CoE og til at bidrage væsentligt til den danske eksport af energiteknologi. Megavind strategien kan bruges som guideline for FU&D prioriteringer inden for havvindkraft.
- En væsentlig andel af den havmøllekapacitet, som installeres i Danmark mellem 2010 og 2020 bør reserveres til demonstrationsprojekter, herunder 10 x 50 MW mindre parker fortrinsvist på nærkyst placeringer tæt på en havn. Nye og innovative løsninger vil først blive implementeret i kommercielle projekter, når de er blevet demonstreret i fuldskala. Der bør findes rammevilkår, som kan iværksætte og medfinansiere disse demonstrationsprojekter.
- Kriegers Flak anbefales på grund af demonstrationsværdien som den næste store havmøllepark i Danmark. Dette projekt vil udvikle og demonstrere de nye og innovative løsninger, som er nødvendige for at realisere visionen om det nye havbaserede elnet i Østersøen og Nordsøen.
- Der bør være særlig fokus på at sikre finansiering til fuldskala testfaciliteter for store naceller og kritiske komponenter.
- Havmøllehandlingsplanen bør opdateres, herunder beskrive potentielle nærkyst områder for placering af demonstrationsprojekter. Planen tager allerede højde for at udvælge placeringer med den laveste mulige CoE , men et mere omfattende datagrundlag om vindressourcer, bølgehøjder og bundforhold er dog nødvendigt for at kunne sikre udbygning med faldende omkostninger.

Denne strategis prioriteter bør også følges af de danske uddannelsesinstitutioner med henblik på at sikre relevante kompetencer blandt fremtidige kandidater

Opfyldelse af målsætning



FOTO: VINDMØLLEINDUSTRIEN

De syv tematiske prioriteringer

Megavind har identificeret syv sammenhængende tematiske prioriteringer og herunder en række specifikke forsknings-, udviklings- og demonstrations- (FU&D) prioriteter. Disse indeholder hver især et betydeligt potentiale for at nedbringe *CoE* over de næste 10 år og samtidig styrke de danske kompetencer på området.

1. Planlægning og placeringer
2. Havmølleparker
3. Havmøller
4. Fundamenter
5. Elektrisk infrastruktur
6. Konstruktion og installation
7. Drift og vedligehold

1. Planlægning og placeringer: Havvindkraftværkernes tidlige planlægning og siting har væsentlig indflydelse på den totale økonomi. Der kan ske væsentlige samfundsøkonomiske omkostningsforbedringer ved at have øget fokus på optimerede offentlige planlægningsprocesser. Dette gælder f.eks. krav til forundersøgelser, timing af tilladelsesprocesser og koncessioner, placeringsmæssig afstand til nærmeste tilslutningspunkt på elnet, afstand til installationshavn, parkadgangsforhold og afstande til servicehavn, havdybder, bølgehøjder, og bundforhold.

2. Havmølleparker: Fremtidens havmølleparker vil skulle øge energiproduktionen pr. installeret MW (højere kapacitetsfaktor på møllen og bedre parkvirkningsgrad). Der er desuden store uudnyttede potentialer i at øge værdien af kraftværket i energiforsyningen, ved at udvikle tekniske egenskaber og regulatoriske forhold, således at havvindkraftværket kan levere både kWh og systemydelser til elnettet.

3. Havmøller: Havmøllerne i dag er næsten identiske med de møller, som står på land. Havmøllerne vil over de næste 10 år blive både større og mere kosteffektive. Større møller åbner samtidig op for reducerede omkostninger til fundamenter og til elektrisk infrastruktur.

4. Fundamenter: Fundamenter til havmøller og transformestationer er stadig en relativ umoden teknologi i forhold til selve vindmøllen. Større møller er en måde til at nedbringe omkostningen pr. installeret MW (større møller betyder færre fundamenter). Der er herudover et stort potentiale i at gøre fundamenter både bedre og billigere gennem forbedret evt. integreret design af fundament og tårn, ny materialeteknologi og mere effektive produktionsprocesser med øget brug af automation og robotteknologi.

5. Elektrisk infrastruktur: Den elektriske infrastruktur mellem møllerne og til parkens transformestation, og fra park til forbruger, er et område, hvor nyt design og ny teknologi kan bidrage væsentligt til at nedbringe de samlede omkostninger og til at øge parkens samlede rådighed og værdi i energiforsyningen. Særligt gælder, at der er store perspektiver i at udvikle et offshore transmissionsnet. Dette vurderes at have et meget stort potentiale for at bidrage til den samlede målsætning, idet ledningsnettet derved udnyttes som et aktiv i energiforsyningen og ikke som en udgift for den enkelte havmøllepark.

6. Konstruktion og installation: Der er behov for at udvikle mere effektive konstruktions- og installationsmetoder, med højere grad af standardisering, modularisering og stordriftsfordele. Konstruktions- og installationsfasen kan yderligere effektiviseres ved bedre projektløse, ligesom der forventes gevinster ved et forventet større udbud af installationsfartøjer.

7. Drift og vedligehold: Havmøllerne skal modstå meget barske forhold på havet. Adgangen til møllerne skal forbedres, så antallet af mulige servicedage øges, og perioderne med møllestop minimeres. Flere af de store moderne parker har efterhånden 5-10 års drift bag sig, og erfaringerne og lærepenge herfra kan bruges i fremadrettet tilpasning, som vil øge pålideligheden og hermed nedbringe omkostningerne til vedligehold på fremtidens parker.

Temaerne er udvalgt ud fra deres potentiale til at reducere CoE, og de byder hver især på forskellige udfordringer. Hvordan disse interagerer er vist i figur 3 på side 12.

1. Planlægning og placeringer

2. Havmølleparker

3. Havmøller

4. Fundamenter

5. Elektrisk infrastruktur

6. Konstruktion og installation

7. Drift og vedligehold

CoE fremskrivninger



Det primære mål med denne strategi er at nedbringe *CoE* for havvindkraft. Formlen i figur 1 nedenfor beskriver, hvordan man udregner *CoE*.

$$CoE = \frac{\text{Annualiseret CAPEX} + \text{annualiseret OPEX}}{\text{Årlig energiproduktion}}$$

De tre centrale faktorer for at fastsætte *CoE* er, som vist ovenfor, forholdet mellem CAPEX, OPEX og energiproduktion.

Tre afgørende mål skal nås for at nedbringe omkostningerne for *CoE* med 50% inden 2020. For det første skal produktionen fra havmølleparkerne optimeres med 25% pr. installeret MW, dernæst skal omkostningerne pr. installeret MW (CAPEX) reduceres med ca. 40%, og endelig skal drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne (OPEX) reduceres til ca. det halve.

I figur 2 nedenfor er *CoE* beregnet for flere teknologier baseret på data fra Energistyrelsens Teknologikatalog. Disse er sammenlignet med Megavinds målsætning for havvindkraft (den stiplede linje). Megavind har anvendt samme beregningsmetode som Energistyrelsen. Dog er Megavinds mål betydeligt mere ambitiøst end den hidtidige fremskrivning for omkostninger ved havvindkraft.

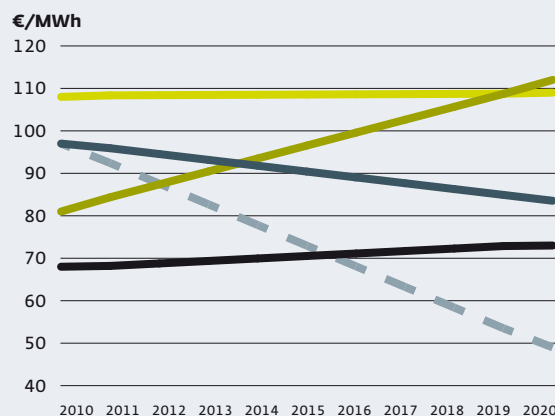
Figur 1

CoE er lig med omkostninger divideret med produktion

Figur 2

Fremskrivninger for *CoE* for nybyggede kraftværker

KILDE: Energistyrelsen 2010, Nielsen et al 2010 og egne beregninger. *CoE* er defineret som den gennemsnitlige omkostning ved produktion af elektricitet målt i €/MWh over hele levetiden for en el-produktionsenhed. Beregninger for *CoE* for havvindkraft og kulkraft indbefatter: Konstruktionsomkostninger, 10% diskonteringsrate, 20 års levetid, drifts- og vedligeholdelsesomkostninger, brændselsomkostninger (kul, gas og træpiller), pris for CO₂ udledningskvoter, NO_x, SO_x og andre udledningsafgifter.



SIGNATURFORKLARING:

- Gas
- BiomassE
- Havvindkraft
- - - Havvindkraft - Megavind målsætning
- Kul



FOTO: SIEMENS WIND POWER A/S

Temaet ”planlægning og placeringer” hænger sammen med alle de andre områder og fastsætter de ydre rammer for, hvad der er opnåeligt i forhold til en reduktion af *CoE*. Et andet tema omhandler optimering af havmølleparkernes produktion. 4 temaer hører under omkostningerne pr. installeret MW (CAPEX), og det sidste tema er direkte relateret til driftsomkostninger (OPEX).

TEMATISK PRIORITERING 1:

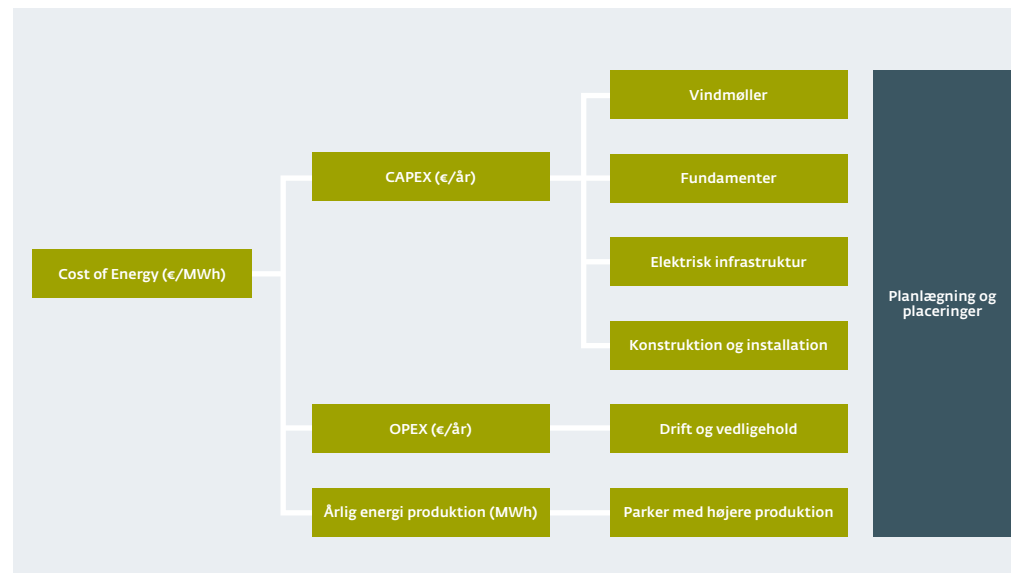
Planlægning og placeringer fortjener særligt fokus

Megavinds målsætning er at halvere *CoE* pr. MWh på sammenlignelige placeringer. En placering, som i dag koster 100 €/MWh, skal i 2020 nedbringes til 50 €/MWh.

En havmølleparks placering afgør hvilken vindressource, der er til rådighed (den årlige energiproduktion) og har en direkte indflydelse på omkostningerne pr. installeret MW (CAPEX) og drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne (OPEX). De hidtidige erfaringer viser en bety-

Figur 3

Tematiske prioriteringer og deres sammenhæng med *CoE*

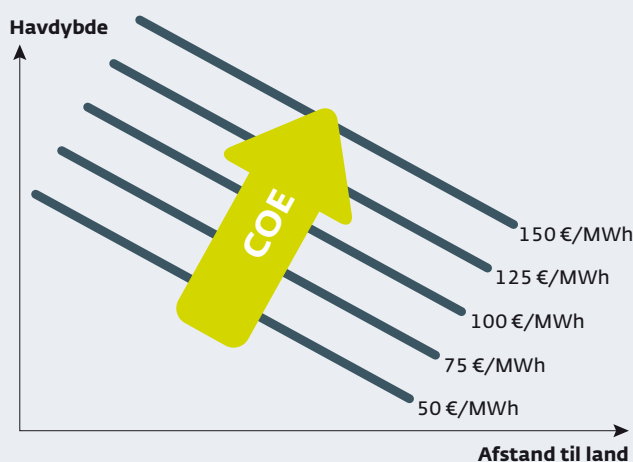




delig sammenhæng mellem havdybde/afstand til land og *CoE*. Andre havmiljødata herunder vindforhold, bølgehøjder, strømforhold og havbund er også med til at fastsætte omkostningerne for de udvalgte placeringer. Dette område er primært underlagt de offentlige myndigheder, men forskning og erfaringsopsamling fra demonstrationsprojekter kan hjælpe til at forbedre det fremtidige beslutningsgrundlag.

Hvis den offentlige planlægning resulterer i havmølleparker på mindre gunstige placeringer vil, det være vanskeligt at nå reduktionsmålsætningen på 50%. Modsat kan bedre og mere fleksible placeringer være en genvej til at nedbringe omkostningerne yderligere og dermed bidrage til at nå målet for 2020.

Figur 4 nedenfor viser sammenhængen mellem havdybde/afstand til land og betydningen af disse for *CoE*. Figuren er illustrativ og ikke baseret på konkrete data. Dog indikerer data fra eksisterende havmølleparker (installeret før 2010), at *CoE* øges med 30%, hvis man går fra 10 m vand og 10 km fra land til 20 m vand og 20 km fra land. Derudover er der mange andre faktorer, som har indflydelse på omkostningerne på en specifik placering.



Figur 4

Sammenhæng imellem afstand, vanddybde og *CoE*



FOTO: VINDMØLLEINDUSTRIEN

TEMATISKE PRIORITERINGER 2-7:

Forbedring af produktion og nedbringelse af omkostninger

Produktionsoptimering og en højere indtjening for havmølleparker vil nedbringe *CoE*. Forbedringerne kan opnås dels ved designoptimering (større rotor), dels ved at optimere parkens drift og dels ved at udnytte de balanceringsydelser, som parken kan levere, herunder regulering og stabilisering af elnettet. De centrale aktører vil være energiselskaber, møllefabrikanter og de systemansvarlige. Det skønnes, at parkproduktionen kan øges med 25% per installeret MW over de næste 10 år.

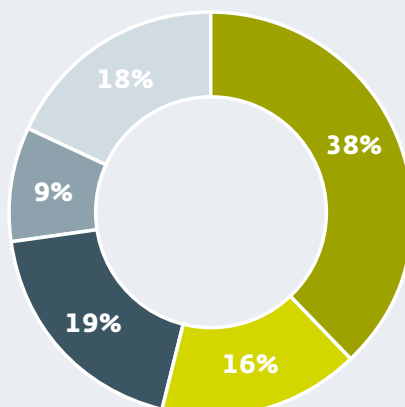
FU&D aktiviteter til at nedbringe omkostningerne pr. installeret MW (CAPEX) er indbefattet under 4 temaer "havmøller", "fundamenter", "elektrisk infrastruktur" og "konstruktion og installation". Her forventes hver prioritet at kunne bidrage væsentligt til reducere *CoE* per installeret MW. Målet er overordnet at opnå en reduktion af disse på ca. 40% i forhold til i dag. Den syvende tematiske prioritering "drift og vedligehold" forventes at kunne halveres pr. produceret kWh.

Figur 5

CAPEX og OPEX andele af *CoE*

SIGNATURFORKLARING:

- Vindmøller
- Fundamenter
- Elektrisk infrastruktur
- Konstruktion, installation og projektudvikling
- Drift og vedligehold



KILDE: Egne tilpasninger. Data fra Energistyrelsen 2010, Nielsen et al 2010 og egne beregninger. *CoE* er defineret som den gennemsnitlige omkostning ved produktion af elektricitet mål i €/MWh over hele levetiden for en el-produktionsenhed. Levetid 20 år. Diskonteringsraten er 10%.



Hovedrapporten er skrevet på engelsk, heri er de enkelte temaer og prioriteringer yderligere beskrevet i detaljer. Overskrifterne for disse kan ses i figur 6 nedenfor. Hovedrapporten er udgivet i elektronisk form og kan hentes på Megavinds hjemmeside www.windpower.org/da/forskning/megavind.html

PLANLÆGNING OG PLACERINGER	<ul style="list-style-type: none"> • Metoder til fysisk planlægning • Modeller for planlægning og vurderinger af placeringer • Omkostningsintegration og værktøjer til at vurdere placeringer • Designmodeller og værktøjer til præcise forudsigelser af vindressourcer
HAVMØLLEPARKER	<ul style="list-style-type: none"> • Layout og styring af havmølleparker • Systemydelse fra havmølleparker • Balanceringsydelse fra havmølleparker • Kort tid vindforudsigelser
HAVMØLLER	<ul style="list-style-type: none"> • Accelererede fuldskala test af mølle og komponenter • Designmetoder for pålidelige og multifunktionelle møller i parker • Basisdesign for store havmøller integrerede i parker • Nye rotorkoncepter
FUNDAMENTER	<ul style="list-style-type: none"> • Optimerede produktionsprocesser • Optimerede kosteffektive fundamenter (gravitation, monopile) • Nye konkurrencedygtige fundamenter (jackets, tripod, bøttefundamenter) • Designmetoder for bundforhold
ELEKTRISK INFRASTRUKTUR	<ul style="list-style-type: none"> • Spændingsniveau og mølleeffekt • Sammenkobling af eksisterende undersøiske netforbindelser med kabler fra havmølleparker • Mølleparkeres indpasning i elsystemet
KONSTRUKTION OG INSTALLATION	<ul style="list-style-type: none"> • Præsamlings af standardiserede, stablingsegne komponenter på havnen • Modularisering og standardisering af transformatorplatforme og netkoblinger • Kabelinstallation på havbunden, kvalitet og beskyttelse af kabler mellem møllerne • Optimerede installationsmetoder og planlægning
DRIFT OG VEDLIGEHOLD	<ul style="list-style-type: none"> • Risikobaseret, omkostningsoptimeret planlægning for drift og vedligehold • Omkostningsoptimeret vejrbuste transportmuligheder

Figur 6

Temaer og
FU&D prioriteringer



MEGAVIND

Sekretariat: Vindmølleindustrien

Rosenørns Allé 9, 5. sal

DK-1970 Frederiksberg C

Phone: +45 3373 0330

Fax: +45 3373 0333

E-mail: danish@windpower.org

www.windpower.org/da/forskning/megavind.html

Omslagsfoto: Vestas Wind Systems A/S